

1. Розроблено метод визначення розмірів і форми пластичної зони біля вершини тріщини. Задачу розв'язували кінцево-елементним методом початкових напружень. Під час рішення застосовували восьмивузлові чотирикутні ізопараметричні елементи.
2. Застосування восьмивузлових елементів із зміщеними на чверть довжини сторони середніми вузлами дає змогу за правильного розбиття на кінцеві елементи отримати позитивні результати. Застосуванню такого сингулярного елемента у поєднанні із використанням методу рухомих елементів надають перевагу під час дослідження задачі за умови швидкого руйнування.

Дослідження критерію росту тріщин і визначення розмірів пластичної зони дають змогу істотно просунутись у вирішенні задачі оцінювання довговічності деталей машин і транспортних засобів.

Література

1. Черепанов Г.П. О распространении трещин в сплошной среде / Г.П. Черепанов. – М.: Изд-во "Мир", 1979. – 232 с.
2. Борисов В.С. Решение задачи о маломасштабном пластическом течении в вершине трещины методом конечных элементов / В.С. Борисов, С.А. Айвазян // Теоретические основы инженерных расчетов. – М.: Изд-во "Мир", – 1986. – № 2. – 58 с.
3. Чжань Лу. Моделирование процесса распространения трещины при динамическом нагружении с помощью метода конечных элементов / Лу Чжань // Конструирование и технология машиностроения. – М.: Изд-во "Мир", 1983. – № 2. – 63 с.
4. Von Mises R. Mechanik der plastischen Formänderung der Krystallen. Z. Angew. Math. Mech, 1948. – Vol. 8. – Pp. 151-185.
5. Chan K.W. The Study of Dynamic Fracture Problems Using Finite Element Method / K.W. Chan. Ph. D. dissertation, Clarkson College of Technology, Potsdov. – N. Y., May 1982.
6. Панасюк В.В. Разрушение элементов конструкций с несквозными трещинами / В.В. Панасюк, А.И. Сушинский, К.Б. Кацов. – К.: Изд-во "Наук. думка", 1991. – 172 с.
7. Мизес Р. Механика твердых тел в пластически деформированном состоянии / Р. Мизес // В кн.: Теория пластичности. – М.: Изд-во "Иностранная литература", 1958. – С. 48-56.

Куличенко А.Я., Миланч А.Р. Исследование упругопластических разрушений методом конечных элементов

Описаны методы исследования задачи упругопластического разрушения, основанные на использовании специальных приемов конечно-элементного анализа; рассмотрена процедура формирования матрицы жесткости в случаях использования восьмиузловых четырехугольных изопараметрических элементов.

Kulichenko A.Ya., Milyanich A.R. Research elastoplastic destruction finite element

Described methods elastoplastic fracture problem, based on the use of special methods of finite-element analysis is considered the procedure of forming the matrix stiffness in cases of eighth-knots isoparametric quadrangular elements.

УДК 620.97

Аспір. Б.І. Пізнак; доц. В.М. Желих, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПОЛІМЕРНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Наведено результати теоретичних досліджень теплових процесів полімерного сонячного колектора. Проаналізовано вплив інтенсивності сонячного випромінювання та визначено витрати теплоносія на теплову потужність сонячного колектора.

Ключові слова: сонячний колектор, полімерні матеріали, стільникова полікарбонатна плита.

Вступ. Останнім часом вимоги до кількості енергоресурсів збільшилися в безпрецедентній мірі і людство шукає їхні додаткові джерела. Є дві основні причини збільшення споживання енергії – це постійне зростання населення і прагнення до розвитку та більшого комфорту. Але зростаюче використання традиційних енергоресурсів забруднює атмосферу, саме це і стимулює дослідження спрямовані на розвиток прогресивних екологічно безпечних енергоресурсів. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є заміна принаймні частини традиційних джерел енергії на сонячну енергію.

Сонячна енергія є первинним джерелом майже для всіх паливних копалин і відновлюваних видів енергоресурсів. Найбільш розвиненим і популярним способом використання сонячної енергії є використання її передусім для потреб гарячого водопостачання, за допомогою плоских сонячних колекторів. Перехід до полімерних матеріалів у конструкції сонячних колекторів (СК) забезпечує зниження їх ваги та зменшення вартості СК і геліосистеми загалом завдяки відмові від використання кольорових металів для виготовлення таких конструкцій.

Запропонована конструкція сонячного колектора. Питання про можливість використання полімерних матеріалів у конструкції сонячного колектора розглядають світові дослідницькі центри та фірми-виробники. У роботі Нільсена [2] представлено сонячний колектор, зібраний у вигляді сендвіча з декількох прозорих коробок із полімерних матеріалів. У Норвегії [3] розроблено сонячні системи, із застосуванням нового типу сонячних колекторів із конструкційних пластмас. У Голдені, Феніксі й Майамі протягом року на відкритих майданчиках вивчали полімерні матеріали для використання як прозорого покриття в сонячних колекторах.

Враховуючи досвід іноземних фірм виробників, як матеріал для виготовлення запропонованого сонячного колектора було обрано полікарбонат, оскільки він має необхідні фізичні характеристики: світлопропускну здатність до 85 %, низьку питому масу, може експлуатуватися за температури від -40 до +120 °С і є досить дешевим матеріалом.

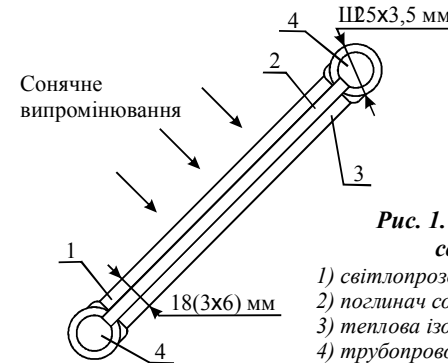


Рис. 1. Конструкція полімерного сонячного колектора:

- 1) світлопрозоре захисне покриття;
- 2) поглинач сонячної енергії;
- 3) теплова ізоляція;
- 4) трубопроводи для підведення і відведення теплоносія

Сонячний колектор (рис. 1) виконаний з тришарової полікарбонатної плити, верхній шар якої 1 виконує роль світлопрозорого захисного покриття,

середній шар 2 є поглиначем сонячної енергії, по якому циркулює теплоносій, нижній шар служить за теплову ізоляцію 3. Для забезпечення рівномірної циркуляції теплоносія в окремих стільниках полікарбонатної плити, поглинач сонячної енергії 2 під'єднаний до трубопроводів для підведення і відведення теплоносія 4.

Мета та задачі досліджень. Робота спрямована на теоретичне дослідження закономірностей зміни теплової потужності полімерного сонячного колектора за різних витрат теплоносія та інтенсивності сонячного випромінювання.

Моделювання теплових процесів у полімерному сонячному колекторі (теоретичні дослідження).

Запропонована модель є рівнянням балансу теплової енергії в полімерному сонячному колекторі:

$$A_c \cdot S = Q_U + Q_L, \quad (1)$$

де: A_c – площа сонячного колектора, м²; S – енергія сонячного випромінювання, поглиненого одиницею поверхні сонячного колектора, Вт/м²; Q_U – тепловий потік, переданий теплоносієві в сонячному колекторі, Вт; Q_L – сумарні тепловтрати сонячного колектора у навколишнє середовище, Вт.

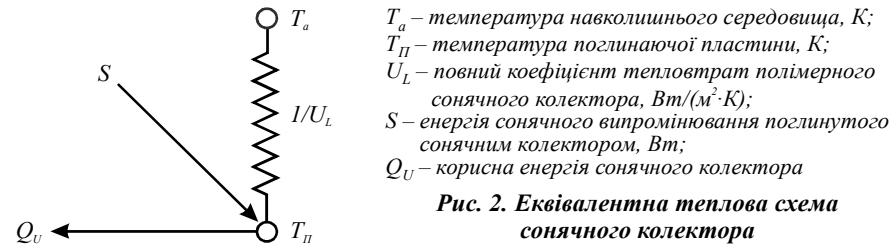


Рис. 2. Еквівалентна теплова схема сонячного колектора

Енергію сонячного випромінювання, поглинутого сонячним колектором, розраховують за формулою [5]

$$S = [I_b \cdot P_b(\tau\alpha) + I_d \cdot P_d(\tau\alpha)], \quad (2)$$

де: I_b – інтенсивність прямої сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²; I_d – інтенсивність розсіяної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²; P_b, P_d – коефіцієнти положення сонячного колектора для прямої та розсіяної радіації відповідно.

$$P_d = \cos^2 \frac{b}{2}, \quad (3)$$

де b – кут нахилу колектора.

Коефіцієнт P_b для Львова при куті встановлення сонячного колектора 45 ° становить 0,98 [4]. $\tau\alpha=0,77$ – приведена поглинаюча здатність 6 мм стільникового полікарбонату.

Корисну енергію сонячного колектора розраховують за формулою

$$Q_U = G \cdot c_p(T_{out} - T_{in}), \quad (4)$$

де: G – масова витрата теплоносія через сонячний колектор, кг/с; c_p – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); T_{in}, T_{out} – відповідно, температура теплоносія на вході і виході з колектора, К.

Корисна енергія сонячного колектора також може бути визначена за формулою

$$Q_U = A_c \cdot F_R [S - U_L(T_{in} - T_a)], \quad (5)$$

де: F_R – коефіцієнт відводу тепла від колектора; U_L – повний коефіцієнт тепловтрат полімерного сонячного колектора, Вт/(м²·К); T_a – температура навколишнього середовища, К.

Коефіцієнт відводу тепла від колектора визначають за формулою

$$F_R = \frac{G \cdot c_p}{U_L} \left(1 - e^{-U_L \cdot F' / G \cdot c_p} \right), \quad (6)$$

де: F' – коефіцієнт ефективності абсорбера сонячного колектора; G – витрата води на одиницю площі сонячного колектора, кг/(с·м²).

Коефіцієнт ефективності абсорбера розраховується за формулою:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{\pi D \alpha} \right]}, \quad (7)$$

де: W – відстань між центрами сусідніх каналів полікарбонатної плити, м; D – еквівалентний діаметр каналу, м; F – ефективність ребра прямокутного профілю (приймаємо $F=1$); α – коефіцієнт тепловіддачі від стінки каналу до теплоносія. Повний коефіцієнт теплових втрат полімерного сонячного колектора розраховують за формулою

$$U_L = U_l + U_b, \quad (8)$$

де: U_l – коефіцієнт тепловтрат через верхню поверхню колектора, Вт/(м²·К); U_b – коефіцієнт тепловтрат через шар теплоізоляції сонячного колектора, Вт/(м²·К). Коефіцієнт тепловтрат через шар теплоізоляції визначають за формулою

$$U_b = \frac{1}{R_b}, \quad (9)$$

де $R_b=3,6$, (м²·К)/Вт – термічний опір 6 мм стільникового полікарбонату.

Коефіцієнт тепловтрат через верхню поверхню колектора:

$$U_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ПЗ}^k + \alpha_{ПЗ}^p} + \frac{1}{\alpha_{3A}^k + \alpha_{3A}^p}}, \quad (10)$$

де: $\alpha_{ПЗ}^k, \alpha_{3A}^k$ – коефіцієнти конвективної тепловіддачі від поглинаючої пластини до прозорого захищення і відповідно від прозорого захищення до атмосфери, Вт/(м²·К).

Значення наданих коефіцієнтів розраховують за залежностями:

$$\alpha_{ПЗ}^k = 1,14 \cdot \frac{(T_{П} - T_3)^{0,31}}{\delta_{ПЗ}^{0,07}} \times \left[1 - 0,0018 \left(\frac{T_{П} + T_3}{2} - 10 \right) \right] \cdot [1 - (\beta - 45)(0,00259 - 0,00144\varepsilon_3)], \quad (11)$$

$$\alpha_{ПЗ}^p = \sigma \cdot \frac{(T_{П} + T_3) + (T_{П}^2 + T_3^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{П}} + \frac{1}{\varepsilon_3} - 1 \right)}, \quad (12)$$

$$\alpha_{3A}^k = 5,7 + 3,8 \cdot w, \quad (13)$$

$$\alpha_{3A}^p = \varepsilon_3 \cdot \sigma (T_a + T_3) + (T_a^2 + T_3^2), \quad (14)$$

де: $T_{П}$, T_3 – відповідно температури поглинаючої пластини і прозорого захищення, К; $\delta_{ПЗ}$ – товщина повітряного прошарку між поглинаючою пластиною і прозорим захищенням, см; β – кут нахилу сонячного колектора до горизонту, град; $\varepsilon_{П}$, ε_3 – ступінь чорноти поглинаючої пластини і прозорого захищення, для полікарбонату $\varepsilon=0,93$; σ – постійна Стефана-Больцмана; W – швидкість вітру над прозорим захищенням сонячного колектора, м/с.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки каналу до теплоносія визначають за формулою

$$\alpha = Nu_{Г} \frac{\lambda_{Г}}{D}, \quad (15)$$

де: $\lambda_{Г}$ – коефіцієнт теплопровідності теплоносія за відповідної температури, Вт/(м·К); $Nu_{Г}$ – безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі, його значення розраховуються за відомими залежностями, які надані в роботі [8].

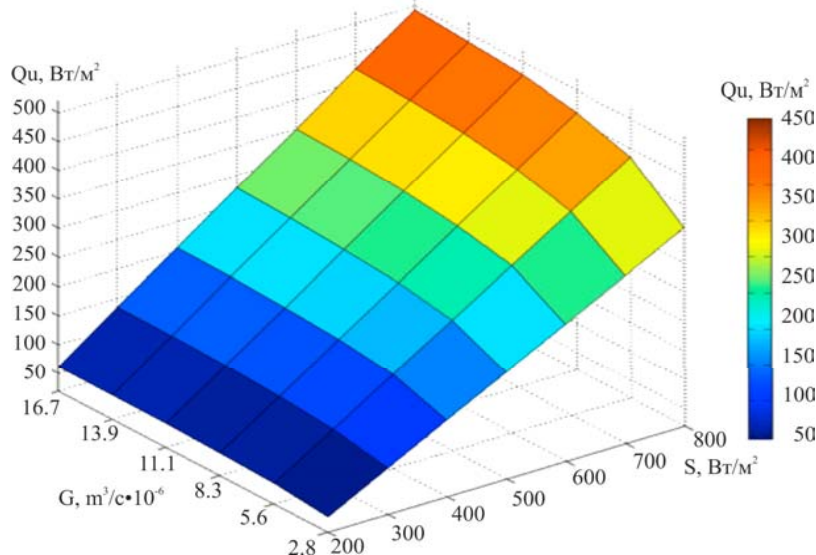


Рис. 3. Залежність теплової потужності полімерного сонячного колектора від інтенсивності сонячного випромінювання і витрати теплоносія

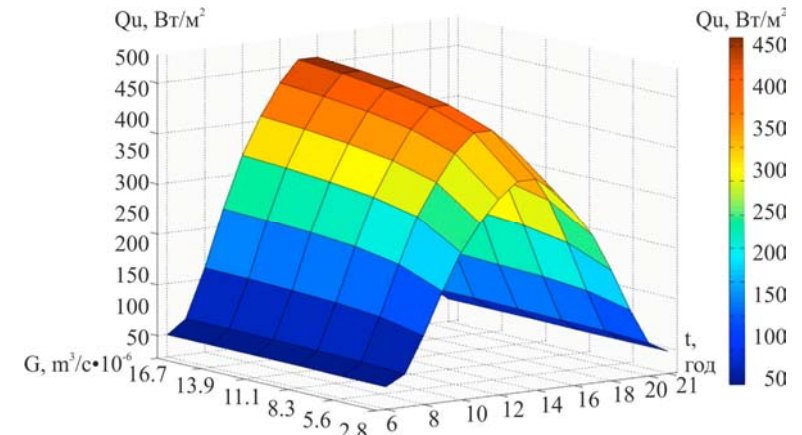


Рис. 4. Теплова потужність полімерного сонячного колектора протягом доби у липні у Львові

За формулами, наведеними вище, було пораховано теплову потужність СК за різних витрат теплоносія і інтенсивності сонячного випромінювання. У програмному комплексі MATLAB було побудовано графік зміни теплової потужності СК (рис. 3) залежно від інтенсивності сонячного випромінювання і витрати теплоносія. Апроксимовані результати теоретичних досліджень, наведених на рис. 3, описуються аналітичною залежністю

$$Q_U = -48 - 1,24 \cdot G + 0,012 \cdot G^2 + (0,43 + 0,011 \cdot G - 0,0001 \cdot G^2) \cdot S, \quad (16)$$

де: Q_U – теплова потужність 1 м² полімерного СК, Вт/м²; G – витрата теплоносія, кг/год; S – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м².

З рис. 3 видно, що зміна інтенсивності сонячного випромінювання впливає на теплову потужність СК значно більше, ніж зміна витрати теплоносія. Також можна побачити, що зростання теплової потужності від зростання витрати теплоносія не є пропорційним, враховуючи затрати енергії на перекачування теплоносія рекомендована витрата знаходиться в межах $8 \cdot 10^{-6} - 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

На другому етапі, взявши погодинні інтенсивності сонячного випромінювання для місяця липня у Львові, було побудовано графік зміни теплової потужності полімерного сонячного колектора протягом доби (рис. 4). Як ми бачимо на рис. 4 потужність СК протягом дня зростає і спадає за параболічною залежністю: різко підвищується і знижується протягом ранкових та вечірніх годин, а в обідній час змінюється більш плавно, досягаючи максимуму 500 Вт/м² між 13⁰⁰ і 14⁰⁰ годинами.

Висновки. Розроблено математичну модель теплопередачі полімерного сонячного колектора, наведено розрахунок основних теплових характеристик теплого сонячного колектора запропонованої конструкції.

Література

1. Durability of polymeric glazing materials for solar applications / Michael Kohl [etс.] // Solar Energy. – 2005. – № 79. – P. 618-623.

2. Nielsen, J.E. Solar Collectors in plastic materials / J.E. Nielsen, E. Bezzel. – Solar Energy Laboratory, Danish Technological Institute, Duct Plate, 1996.
3. Rekstad, J. Solar Collectors in plastic materials from Norway / J. Rekstad // SolarNor AS and General Electric Plastics, 1997.
4. ВСН 52-86 "Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования".
5. Даффи Д. Бекман У. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М. : Изд-во "Мир", 1977. – С. 354.
6. Дорошенко О.В. Соляні плоскі металополімерні колектори / О.В. Дорошенко, С.С. Титар // Вісник Вінницького політехнічного інституту : наук. журнал. – Вінниця : Вид-во ВНТУ. – 2010. – № 4.
7. Возняк О.Т. Основи наукових досліджень у будівництві / О.Т. Возняк, В.М. Желих. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003. – 173 с.
8. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – М. : Изд-во "Энергия", 1980. – 288 с.

Пизнак Б.И., Желых В.М. Моделирование тепловых процессов в полимерных солнечных коллекторах

Приведены результаты теоретических исследований тепловых процессов в полимерном солнечном коллекторе. Определен анализ влияния интенсивности солнечного излучения и расхода теплоносителя на тепловую мощность солнечного коллектора.

Ключевые слова: солнечный коллектор, полимерные материалы, сотовая поликарбонатная плита.

Piznak B.I., Zhelykh V.M. Design of thermal processes in polymer solar collectors

The results of theoretical investigations of thermal processes in polymer solar collector. The analysis of the impact of intensity of solar radiation and coolant flow for thermal power of solar collector.

Keywords: solar collector, polymeric materials, cellular polycarbonate plate.

УДК 697.92

Аспір. Ю.В. Фурдас; доц. В.М. Желих, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ОЦІНКА ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПОБУТОВОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Виконано аналіз теплових потоків резервуару метантенка побутової біогазової установки для холодного періоду року та встановлено його теплову потужність з метою підтримання постійного температурного режиму. Результати досліджень представлені графічно та у вигляді емпіричних залежностей.

Ключові слова: біогазова установка, метантенк, біогаз, анаеробне бродіння, температурні режими.

Актуальність роботи. Біогазовий реактор – основа будь-якої біогазової установки, тому до його конструкції висувають досить жорсткі вимоги, найголовнішими з яких є теплотехнічні та економічні. Це пояснюється постійним температурним режимом метаноутворення, який має перебувати у допустимих межах 20...55 °С.

За формою резервуари бувають яйцеподібними; циліндричними; кулеподібними; з конусом доверху, донизу, з обох боків; у вигляді траншей; кубічними; еластичними (рис. 1) [5].

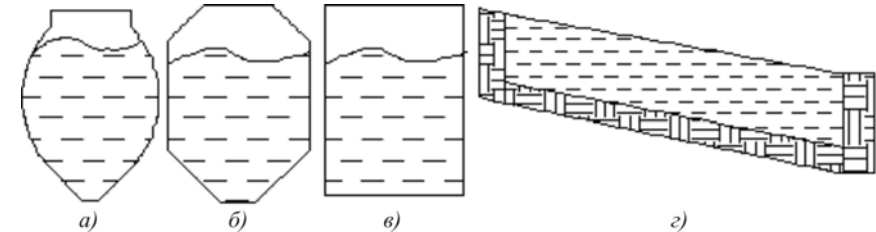


Рис. 1. Основні форми реакторів біогазових установок: а) яйцеподібний; б) з конусами доверху, донизу; в) циліндричний; г) реактор-траншея

Кількість вироблюваного біогазу значною мірою залежить від температури: чим вища температура, тим більші швидкість і ступінь ферментації органічної сировини. Саме тому перші установки для одержання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом. Однак застосування ефективної теплоізоляції та системи підігріву дає змогу застосовувати генератори біогазу в районах, де температура взимку опускається до мінус 25 °С.

Процес бродіння відбувається за трьох основних температурних режимів, а саме: психрофільного – до 20 °С; мезофільного – 32-33 °С; термофільного – 52-54 °С. Будь-які різкі зміни температури впливають негативно на процес бродіння. Для кожного режиму зброджування допустимі коливання температур ±3 °С. Метаболічна активність анаеробних бактерій знаходиться в прямій залежності від температури середовища. За амплітуди коливання температури 15 °С процес бродіння повністю припиняється.

Мета та задачі дослідження. Визначення кількості теплоти, необхідної для підтримання заданого температурного режиму біореактора в холодний період року, за різних його об'ємів.

Експериментальні дослідження та їх аналіз. Оскільки тепловтрати прямо пропорційно залежать від площі зовнішнього захищення, тоді необхідно вибрати форму реактора з мінімальною площею зовнішньої поверхні. Запропоновано метантенк зі зрізаними конусами у верхній та нижній частинах ємності (рис. 2).

Було складено рівняння теплового балансу біогазової установки (БГУ) для холодного періоду року (ХПР), при цьому забезпечувалась рівність надходжень та втрат тепла.

$$Q_{\Pi} + Q_P + Q_{CO} = Q_G + Q_V + Q_D \quad (1)$$

Кількість тепла для підігріву субстрату Q_{Π} , який подається в біореактор визначають із залежності:

$$Q_{\Pi} = G_{\text{біом}} \cdot c \cdot t_{\delta}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

де: $G_{\text{біом}}$, кг – маса завантажувальної сировини; c , Вт/кг °С – питома теплоємність органічної сировини; t_{δ} , °С – температура біомаси до підігрівання; $Q_P = 9 \text{ Вт}$ з одного кілограма органічної сировини [1].

Кількість тепла, що виноситься з біогазом Q_G , дорівнює:

$$Q_G = G_G \cdot c_G \cdot t_G, \text{ Вт}, \quad (3)$$