

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ЯК ОБ'ЄКТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ**

У статті розглядається розробка математичної моделі установки теплопостачання на базі сонячного колектора. Для автоматизованого управління установкою теплопостачання необхідно знати властивості цієї установки в цілому і окремих її елементів. Для цього розглянуто моделі окремих елементів установки теплопостачання в лінійному наближенні. Сонячний колектор умовно розбитий на дві ланки. Розроблена модель ґрунтового теплообмінника. Також є моделі акумулятора та приміщення споживача. Приведені матриці елементів установки теплопостачання об'єднані в єдину систему матриць. Отримані результати дозволяють попередньо оцінити ефективність їх використанні та економічну привабливість.

Ключові слова: моделювання, теплопостачання, матриця.

HORIASHCHENKO S., KRAVCHIK Yu., PIDGORNYI O.
Khmelnytskyi National University

**MATHEMATICAL MODEL OF HEAT SUPPLY INSTALLATION
AS AN OBJECT OF ECONOMIC EFFICIENCY AND AUTOMATION**

Solar energy is widely used in cases where the inaccessibility of other energy sources in combination with a sufficient amount of solar radiation justifies it economically.

With the help of a system of solar collectors, you can significantly reduce energy costs for hot water supply and heating. In addition, the use of this system helps reduce CO2 emissions.

The potential of solar energy in Ukraine is quite high. According to the climatic conditions of our region, solar activity is slightly lower than in the southern regions, so the use of flat solar collectors, which use both direct and scattered solar radiation, is effective for our region.

The use of heat collectors in the home for water supply and heating of small areas is economically feasible, as it does not require significant costs.

Heat supply plants using non-traditional energy sources are promising in terms of fuel savings and reduction of harmful effects on the environment. To increase the service life, economical use of heat and fuel, efficient operation of the installation requires the use of automation.

The article considers the development of a mathematical model of a heat supply installation based on a solar collector. For automated control of the heat supply installation it is necessary to know the properties of this installation as a whole and its individual elements. For this purpose, models of individual elements of the heat supply installation in a linear approximation are considered. The solar collector is conditionally divided into two parts. The model of the ground heat exchanger is developed. Also a battery models and consumer premises. The given matrices of elements of installation of heat supply are united in uniform system of matrices. The obtained results allow to estimate in advance efficiency of their use and economic attractiveness.

Key words: modeling, heat supply, matrix.

Вступ. На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно. За допомогою системи сонячних колекторів можна значно скоротити витрати енергії на гаряче водопостачання й опалення. Крім того, при використанні цієї системи сприяє зниженню викидів CO₂ в атмосферу. Переваги:

- зниження витрат на гаряче водопостачання і опалювання;
- економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу);
- відсутність викидів двоокису вуглецю;
- підвищення якості і ринкової вартості об'єктів нерухомості;
- загальнодоступність і невичерпність джерела енергії;
- теоретично, повна безпека для навколишнього середовища.

Потенціал сонячної енергії в Україні є досить високим. За кліматичними умовами нашого регіону сонячна активність є дещо меншою ніж у південних регіонах, тому для нашого регіону ефективним є застосування плоских сонячних колекторів, які використовують як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію.

Застосування теплових колекторів у побуті для водопостачання та для опалення невеликих за площею приміщень економічно можливе, так як не потребує значних затрат

Установки теплопостачання, що використовують нетрадиційні джерела енергії є перспективними з точки зору економії ресурсів палива і зниження шкідливої дії на довкілля. Для збільшення терміну експлуатації, економічного використання тепла і палива, ефективної роботи установки необхідне використання засобів автоматизації.

Основна частина. Для автоматизованого управління установкою теплопостачання необхідно знати властивості цієї установки в цілому і окремих її елементів. Для цього необхідно розглянути моделі окремих елементів установки теплопостачання в лінійному наближенні.

Установка теплопостачання складається з наступних елементів: сонячний колектор; акумулятор тепла; грантовий теплообмінник; приміщення споживача; додаткове джерело тепла; машина теплофікації.

Структурна схема установки теплопостачання представлена на рис. 1.

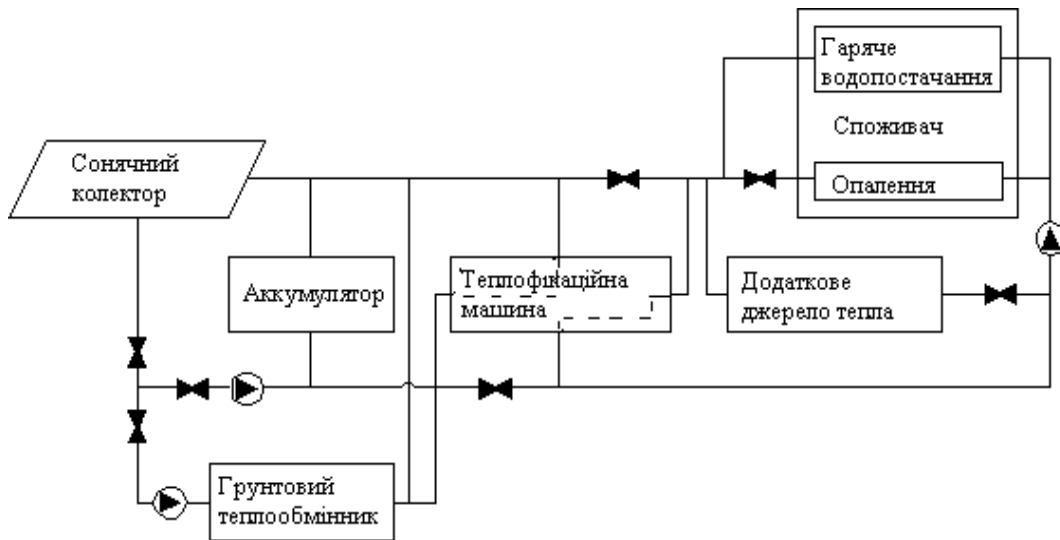


Рис. 1. Структурна схема установки теплостачання

Основним елементом даної установки є плоский сонячний колектор. Структурна схема сонячного колектора представлена на рис. 2.

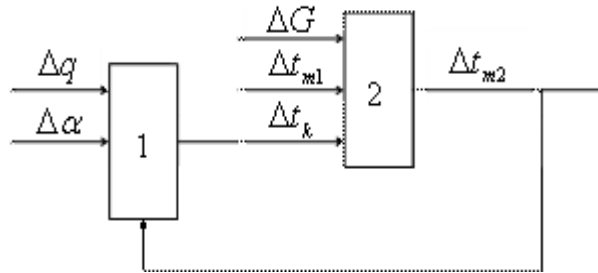


Рис. 2 Структурна схема сонячного колектора

Сонячний колектор умовно розбитий на дві ланки.

Ланка 1 – відображає зв'язок між питомим тепловим потоком сонячної інсоляції q , коефіцієнтом тепловіддачі від стінки сонячного колектора до теплоносія α , який є функцією швидкості теплоносія, температурою теплоносія на виході сонячного колектора t_{m2} і температурою стінки сонячного колектора t_k .

Ланка 2 – відображає зв'язок між витратою теплоносія через сонячний колектор G_m , температурами теплоносія на вході сонячного колектора t_{m1} , стінки сонячного колектора t_k і температурою теплоносія на виході сонячного колектора t_{m2} .

Виходячи з приведеної структурної схеми і теплового балансу для даного елемента установки, була отримана система диференціальних рівнянь, яка встановлює зв'язок між вказаними параметрами:

$$\begin{cases} \frac{dt_k}{d\tau} = -\frac{\alpha F_k}{m_k c_{pk}} \Delta t_k + \frac{F_k}{m_k c_{pk}} \Delta q + \frac{F_k (t_k - t_{m2})}{m_k c_{pk}} \Delta \alpha + \frac{\alpha F_k}{m_k c_{pk}} \Delta t_{m2} \\ \frac{dt_{m2}}{d\tau} = -\frac{(G_m c_{pm} + \alpha F_k)}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m2} + \frac{c_{pm} (t_{m1} - t_{m2})}{m_m c_{pm}} \Delta G_m + \frac{G_m c_{pm}}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m1} + \frac{\alpha F_k}{m_m c_{pm}} \Delta t_k \end{cases}, \quad (1)$$

де F_k, F_m – площі теплообміну з боку теплового потоку від сонця і стінки сонячного колектора, відповідно;

m_k, m_m – маси сонячного колектора і теплоносія, відповідно;

c_k, c_m – питомі теплоємності стінки сонячного колектора і теплоносія, відповідно;

Δ – зміна відповідної величини.

Переходячи до опису властивостей сонячного колектору в матричній формі запису динамічних систем, були отримані наступні матриці:

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \\
 B &= \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{21} & B_{22} \end{pmatrix}, \\
 C &= (0 \quad 1) \\
 D &= (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Наступним елементом установки є акумулятор тепла. Для даної установки тепlopостачання вибраний акумулятор теплоти ємнісного типу для короткострокової акумуляції. Параметрична схема бака-акумулятора тепла представлена на рис.3.

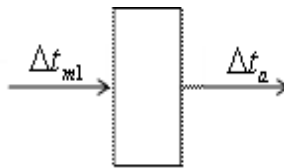


Рис. 3. Параметрична схема бака-акумулятора тепла

Температура в акумуляторі t_a залежить від температури теплоносія на вході в акумулятор t_{m1} . На основі даної схеми і теплового балансу для бака-акумулятора отримано диференціальне рівняння:

$$\frac{dt_a}{d\tau} = -\frac{G_m}{m_a} \Delta t_a + \frac{G_m}{m_a} \Delta t_{m1}, \tag{3}$$

де G_m – витрата теплоносія, що проходить через акумулятор; m_a – маса конструкції акумулятора.

Для опису властивостей даного акумулятора в матричній формі запису динамічних систем були отримані наступні матриці:

$$\begin{aligned}
 A &= (A_{11}) \\
 B &= (B_{11}) \\
 C &= (1) \\
 D &= (0)
 \end{aligned} \tag{4}$$

де $A_{11} = -\frac{G_m}{m_a}$, $B_{11} = \frac{G_m}{m_a}$.

Наступним елементом установки тепlopостачання є ґрунтовий теплообмінник. Поле ґрунтових теплообмінників є джерелом теплової енергії або акумулятором теплової енергії залежно від температур теплоносія і ґрунту. Поле ґрунтових теплообмінників – набір трубок Фільда, розташованих в ґрунті на деякій відстані один від одного. Ґрунтовий теплообмінник-акумулятор є трубкою Фільда зануреною в ґрунт. Розрахункова схема теплообмінника приведена на рис. 1.4). Теплообмінник можна представити у вигляді циліндра діаметром d_2 і заввишки h_2 . Структурна схема ґрунтового теплообмінника представлена на рис. 4, б.

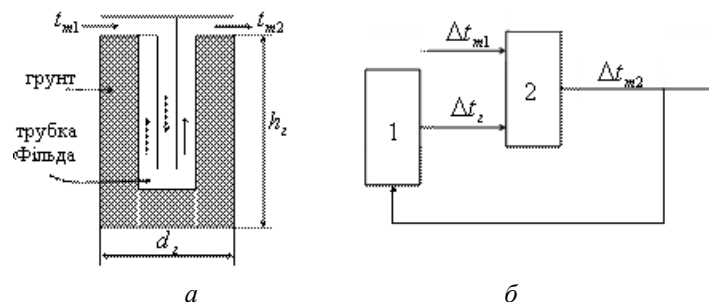


Рис. 4. Розрахункова (а) і структурна (б) схеми ґрунтового теплообмінника

Ґрунтовий теплообмінник умовно розбитий на дві ланки.

Ланка 1 – відображає зв'язок між температурою теплоносія на виході ґрунтового теплообмінника t_{m2} і температурою ґрунту t_z .

Ланка 2 – відображає зв'язок між температурами об'єму ґрунту теплообмінника t_z , теплоносія на вході теплообмінника t_{m1} і температурою теплоносія виході t_{m2} .

Система диференціальних рівнянь, отримана із структурно-параметричної схеми і теплового балансу для даного елемента установки, встановлює зв'язок між вказаними параметрами:

$$\begin{cases} \frac{dt_{m2}}{d\tau} = -\frac{(G_m c_{pm} + \alpha F)}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m2} + \frac{G_m}{m_m} \Delta t_{m1} + \frac{\alpha F}{m_m c_{pm}} \Delta t_z \\ \frac{dt_z}{d\tau} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}} \Delta t_z + \frac{\alpha F}{m_z c_{pz}} \Delta t_{m2} \end{cases}, \quad (5)$$

де G_m – витрата теплоносія;

m_m, m_z – маси теплоносія, що проходить через теплообмінник, і об'єму ґрунту теплообмінника, відповідно;

c_{pm}, c_{pz} – питомі теплоємності теплоносія і ґрунту теплообмінника, відповідно;

F – площа теплообміну з боку теплоносія.

Переходячи до опису властивостей ґрунтового теплообмінника в матричній формі запису динамічних систем, були отримані наступні матриці:

$$\begin{aligned} A &= \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \\ B &= \begin{pmatrix} B_{11} \\ 0 \end{pmatrix}, \\ C &= (0 \quad 1) \\ D &= (0) \end{aligned}, \quad (6)$$

$$\text{де } A_{11} = -\frac{(G_m c_{pm} + \alpha F)}{m_m c_{pm}}, A_{12} = \frac{\alpha F}{m_m c_{pm}}, A_{21} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}}, A_{22} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}}, B_{11} = \frac{G_m}{m_m}.$$

Наступним елементом установки тепlopостачання розглянемо приміщення споживача. Для даної установки тепlopостачання розглядається приміщення житлового будинку. Параметрична схема приміщення представлена на рис. 5.

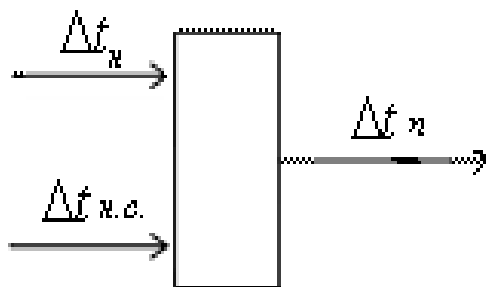


Рис. 5. Параметрична схема приміщення споживача

Приміщення є прямокутною кімнатою з вікном площею $F_{вік}$, стінами загальною площею F_c і встановленим нагрівачем з площею теплообміну F_n . Дана схема відображає зв'язок між температурами навколишнього середовища $t_{н.с.}$, поверхні нагрівача t_n і повітря в приміщенні t_n .

Приведена схема і тепловий баланс для приміщення споживача є основою для отриманого диференціального рівняння, яке встановлює зв'язок між вказаними параметрами:

$$\frac{dt_n}{d\tau} = -\frac{(\alpha_n F_n + k_c F_c + k_{\text{вік}} F_{\text{вік}})}{m_n c_{pn}} \Delta t_n + \frac{\alpha_n F_n}{m_n c_{pn}} \Delta t_n + \frac{k_c F_c + k_{\text{вік}} F_{\text{вік}}}{m_n c_{pn}} \Delta t_{\text{н.с.}}, \quad (7)$$

де m_n – маса повітря в приміщенні;

c_{pn} – питома теплоємність повітря в приміщенні;

$k_c, k_{\text{вік}}$ – коефіцієнти теплопередачі через стіну та вікна приміщення, відповідно,

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від нагрівача повітря в приміщенні.

Матриці, отримані при переході до опису властивостей сонячного колектору в матричній формі запису динамічних систем, мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} A &= (A_{11}) \\ B &= (B_{11} \quad B_{12}) \\ C &= (1) \\ D &= (0 \quad 0) \end{aligned}, \quad (8)$$

$$\text{де } A_{11} = -\frac{(\alpha_i F_i + k_c F_c + k_{\text{вік}} F_{\text{вік}})}{m_i c_{\text{дт}}}, \quad B_{11} = \frac{\alpha_i F_i}{m_i c_{\text{дт}}}, \quad B_{12} = \frac{k_c F_c + k_{\text{вік}} F_{\text{вік}}}{m_i \tilde{n}_{\text{дт}}}.$$

Наведені матриці елементів установки тепlopостачання можна об'єднати в єдину систему матриць. Проте, структура отриманої системи є змінною і залежить від режиму роботи установки тепlopостачання.

Висновки. Розглянуті моделі дозволяють скласти узагальнену модель установки тепlopостачання при різних видах взаємозв'язків між даними елементами, що дозволить синтезувати систему оптимального управління установкою тепlopостачання. Для більш чіткого контролю споживання та оцінки енергоефективності пропонується піраміда оцінки показників енергоефективності, на якій визначені такі критерії як: ефективність впроваджених процесів з енергозбереження, якість обладнання та інтенсивність споживання енергії, структура та завантаження тепломережі, енергоефективність на окремих ділянках, економія коштів (рис. 6).



Рис. 6. Піраміда показників ефективності використання енергії

Критерії дозволяють оцінити математичні розрахунки об'єктів тепlopостачання та їх ефективність.

Література

1. Выбор экономической схемы регенерации тепла когенерационной энергетической установки/ Ю.К. Тодорцев, О.С. Тарахтий, А.Н. Бундюк//Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015, 2 (8), с. 17-22
2. Оптимізація систем тепlopостачання із використанням економікоматематичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – 209 с.
3. Теплогенеруючі установки та їх математичне моделювання : навчальний посібник / В. Ф. Іродов, В. В. Ткачова, Г. Я. Чорноморець. – Дніпропетровськ : Будинок друку, 2015. – 80 с. : ілюстр. ISBN 978-966-323-139-6
4. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла [Текст]: моногр. / М.М. Табаченко, В.І. Самуся, Р.О. Дичковський та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 247 с
5. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137.

6. Methodology of Measuring Spraying the Droplet Flow of Polymers from Nozzle Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Janusz Musial /MECHANIKA, 2020 Vol 26 No 1 (2020) ISSN: 1392-1207 p.82-86 <http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/23169>

References

1. Vybory ekonomichnoi skhemy reheneratsyy tepla koheneratsyonnoi enerhetycheskoi ustanovky/ Yu.K. Todortsev, O.S. Tarakhtyi, A.N. Bundiuk//Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy, 2015, 2 (8), s. 17-22
2. Optyimizatsiia system teplopostachannia iz vykorystanniam ekonomikomatematychnoho modeliuvannia: monohrafiia / za zah. red. O. M. Havrysia – Kh.: NTU "KhPI", 2015. – 209 s.
3. Teploheneruiuchi ustanovky ta yikh matematychno modeliuvannia : navchalnyi posibnyk / V. F. Irodov, V. V. Tkachova, H. Ya. Chornomorets. – Dnipropetrovsk : Budynok druku, 2015. – 80 s. : iliustr. ISBN 978-966-323-139-6
4. Novitni pryntsyipy teplonosnykh ta koheneratsiinykh tekhnolohii vykorystannia vykydnoho tepla [Tekst]: monohr. / M.M. Tabachenko, V.I. Samusia, R.O. Dychkovskyi ta in. – D.: Natsionalnyi hirnychiy universytet, 2012. – 247 s
5. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137.
6. Methodology of Measuring Spraying the Droplet Flow of Polymers from Nozzle Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Janusz Musial /MECHANIKA, 2020 Vol 26 No 1 (2020) ISSN: 1392-1207 p.82-86 <http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/23169>

Надійшла / Paper received: 19.10.2020
Надрукована / Paper Printed : 03.11.2020