

І.А. Шедловський, В.В. Гнатушенко, Я.І. Шедловська, В.М. Горев

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАСКОГО ПОВІТРЯНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Анотація. Системи опалення, що використовують сонячні теплові колектори регулюють температуру підігрітого в сонячному колекторі повітря тільки зміною швидкості повітря, яке проходить через нього. Використання інформаційно управляючої системи керування (зокрема в складі IoT) для поточного керування та прогнозних обчислень потребує використовувати узагальнюючу імітаційну модель. Проведені дослідження по казали що модель, яка описує залежність температури повітря на виході з повітряного колектора від швидкості його потоку – нелінійна. Динаміка нагріву повітря визначається динамічною ланкою першого порядку. При розробці комп'ютерної системи керування необхідно враховувати використання датчиків температури повітря на вході і на виході сонячного колектора. Також потрібно використовувати дані з датчика поточної потужності сонячного випромінювання.

Ключові слова: повітряний сонячний колектор, імітаційна модель, комп'ютерна система, керування, нелінійний, динаміка.

Постановка завдання. Повітряний сонячний колектор використовується в системах опалення приміщень (житлових та виробничих). Враховуючи періодичність потоку сонячної енергії, сонячні колектори розглядаються як допоміжні джерела теплової енергії, які використовуються виключно в комплексі з основною системою опалення приміщень [1]. Робота двох систем опалення в обов'язковому порядку обладнується комп'ютерною інформаційно-управляючою системою автоматичного керування, яка дозволяє максимально використовувати сонячну енергію завдяки чому економія енергоносіїв може досягати досить значних величин. До основних функцій використовуваних систем керування входять алгоритми підтримки необхідних температурних параметрів у опалюваному приміщенні, контроль витрат енергоносіїв, також регулювання теплової потужності основної системи опалення в залежності від теплової потужності яку може забезпечити сонячний колектор. Регулювання роботи сонячного колектора повинно в обов'язковому порядку враховувати показники потужності сонячного випромінювання, температурних умов зовніш-

нього середовища, особливості опалюваного приміщення, інерційність об'єктів що використовуються у системі опалення [2]. Особливості систем, що використовують сонячні теплові колектори, є в тому, що регулювання температури підігрітого в сонячному колекторі повітря можливе тільки зміною швидкості повітря, яке проходить через колектор. Для цього використовуються вентилятори. При управлінні процесом переносу тепла від сонячного повітряного колектора до опалюваного приміщення необхідно мати математичну модель сонячного колектора як об'єкта управління.

Актуальним є також те, що при використанні інформаційно-управляючої системи керування (наприклад в складі IoT) для поточного керування та прогнозних обчислень потрібна узагальнююча імітаційна модель, до складу якої обов'язково повинна входити модель повітряного сонячного колектора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теплові процеси у повітряних сонячних колекторах на теперішній час є досить глибоко дослідженою темою. Зазвичай використовуються рівняння теплового балансу системи [3]. Відповідно до конструкції сонячних колекторів розроблені узагальнюючі залежності, визначені значення основних параметрів колектора, що надає можливість досить просто визначити можливу ефективність системи сонячного опалення ще на етапі попереднього етапу проектування [4].

Системи, де використовуються теплові сонячні колектори зазвичай обладнуються досить простими системами керування. Ці системи характеризуються тим, що в них використані статичні математичні моделі і управління процесами роботи виконується періодичними включеннями та відключеннями виконуючих пристроїв. З точки зору використання більш ефективних, безперервних, локальних систем управління сонячний колектор є досить складним об'єктом. По перше, керування можливе тільки за рахунок регулювання продуктивності вентилятора, що забезпечує циркуляцію теплоносія. По друге, забезпечення температури теплоносія на вході в опалюване приміщення також забезпечується регулюванням продуктивності вентилятора. В реальних умовах надходження сонячної енергії до колектора – процес, що визначається багатьма випадковими факторами. Тому робота системи керування повинна забезпечувати відповідне реагування на такі зміни [5]. Методи, які дозволяють розробити відповідну математичну модель об'єкта та системи керування, визначити її параметри, досить детально розроблені теорією автоматичного керування. Відповідно до цього перед розробкою математичної моделі та визначенням її

характеристик та параметрів обов'язково потрібно визначитися з принципами організації автоматичного керування роботою сонячного колектора [6].

Мета дослідження. Розробити методику побудови математичної (імітаційної) моделі динаміки роботи повітряного сонячного колектора. Визначити параметри та особливості моделі з урахуванням експлуатаційних характеристик сонячного колектора.

Виклад основного матеріалу. Функція сонячного колектора – нагрів повітря. Як відомо перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію супроводжується тепловими втратами через корпус сонячного колектора, які залежать від різниці температур абсорбера і навколишнього середовища. Втратами потужності випромінювання сонця при проходженні через прозоре покриття. Втратами пов'язаними зі значенням коефіцієнта поглинання абсорбера. Втратами тепла через ізоляцію повітроводів. Це основні види теплових втрат.

Максимально можлива температура на виході сонячного колектора (T_{\max}) залежить від потужності сонячного випромінювання ($P_{\text{сон}}$), сумарної потужності теплових втрат ($P_{\text{випр}}$), початкової температури повітря, що є теплоносієм (T_{\min}), часу нагріву (t).

$$T_{\max} = f(P_{\text{сон}}, P_{\text{випр}}, T_{\min}, t) . \quad (1)$$

Якщо припустити, що $P_{\text{сон}} = \text{Const}$, T_{\min} – визначається властивостями приміщення яке обігривається, час t – можемо регулювати, $P_{\text{випр}}$ – для кожного елемента сонячного колектора визначається різницею температур абсорбера і навколишнього повітря.

В цілому, за допомогою сучасних датчиків досить складно визначити $P_{\text{випр}}$, $P_{\text{сон}}$ – можна визначити за показаннями спеціалізованих датчиків, але вони в теперішній час досить коштовні.

Приміщення що опалюється також характеризується великою кількістю особливостей і чинників, які впливають на значення T_{\min} .

Енергію сонячного випромінювання, яка перетворюється в теплову визначається наступним чином:

$$P_{\text{еф}} = P_{\text{сон}} - P_{\text{випр}} . \quad (2)$$

Далі в розрахунках будемо використовувати значення теплової потужності $P_{\text{еф}}$. Робота системи опалення в режимі максимальної ефективності визначається наступним чином:

$$P_{ef} = P_{прим} , \quad (3)$$

де $P_{прим}$ - теплова потужність, яка споживається приміщенням, яке обігривається.

Теплова потужність, яка витрачається на обігрів приміщення визначається формулою:

$$P_{прим} = \frac{c \cdot m \cdot (T_{макс} - T_{мін})}{t} , \quad (4)$$

де c – теплоємність повітря, Дж/кг·К; m - маса повітря, кг; t – час, с; $T_{макс}$ - $T_{мін}$ – різниця температур (ΔT , К).

Нагрівання повітря в сонячному колекторі описується аналогічним рівнянням [3]:

$$P_{ef} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{t} . \quad (5)$$

Необхідно зазначити, що ефективна теплова потужність сонячного колектора P_{ef} визначається різницею між тепловою потужністю сонячного випромінювання і тепловою потужністю втрат, а $P_{прим}$ теплова потужність що враховує усі теплові втрати приміщення. З позиції використання сонячного повітряного колектора для того щоб забезпечити в приміщенні потрібну температуру це дозволяє значно спростити математичні вирази.

У рівнянні (5) виходячи з значення потужності P_{ef} ми повинні створити умови роботи, при яких вся енергія яка надходить в сонячний колектор передавалася в опалюване приміщення. Ці умови можуть скластися за рахунок зміни швидкості проходження повітря через канали абсорбера колектора, при цьому температура на виході колектора:

$$T_{макс} = T_{мін} + \Delta T . \quad (6)$$

Кількість тепла (Q), яке надходить в приміщення від сонячного колектора дорівнює:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T . \quad (7)$$

В процесі прогріву приміщення температура $T_{мін}$ буде підвищуватися і в якийсь період передача тепла буде здійснюватися за рахунок потоку повітря, що має досить високу температуру і невелику швидкість, у разі коли нема системи, яка регулює швидкість потоку повітря і як наслідок його температуру.

Враховуючи, що робота сонячного колектора можлива тільки вдень і при ясному сонці, то виникає необхідність регулювання для забезпечення найбільшої швидкості прогріву приміщення, стабілізації температури в приміщенні,
ISSN 1562-9945 (Print) 123
ISSN 2707-7977 (Online)

режиму провітрювання (примішування до нагрітого повітря з приміщення частини зовнішнього повітря) та інші можливі варіанти роботи [7].

Маса повітря, яка проходить через сонячний колектор визначиться:

$$\frac{m}{t} = S_{абс} \cdot v_{абс} \cdot \rho, \quad (8)$$

де $S_{абс}$ - площа каналів колектора, m^2 , $v_{абс}$ - швидкість потоку повітря в колекторі м/с; ρ - об'ємна щільність повітря (кг).

$$S_{абс} \cdot v_{абс} \cdot \rho = S_{нов} \cdot v_{нов} \cdot \rho. \quad (9)$$

Швидкість руху повітря в каналах абсорбера висловимо через значення швидкості потоку повітря в повітропроводі ($v_{нов}$) і площі перетину повітропровода ($S_{нов}$):

$$v_{абс} = \frac{S_{нов}}{S_{абс}} \cdot v_{нов} \quad (10)$$

Час, за який елементарний об'єм повітря переміщується від входу до виходу абсорбера:

$$t = \frac{v_{абс}}{l_{абс}} = \frac{S_{нов} \cdot v_{абс}}{S_{абс} \cdot l_{абс}}. \quad (11)$$

Час перебування елементарного об'єму повітря в абсорбері сонячного колектора (t) це параметр, значенням якого ми можемо керувати, задаючи за допомогою вентилятора швидкість руху повітря $v_{абс}$. При цьому температура, до якої нагріється повітря на виході колектора буде залежати від t . Для створення ефективної системи управління необхідно визначити критерій, за яким слід організувати роботу системи.

Найбільша потреба в додатковому джерелі опалення виникає в холодну пору року. При цьому, у зв'язку зі зростаючими тепловими втратами температура, до якої максимально може бути розігріте повітря не може бути дуже високою, в порівнянні з температурою, яку можуть забезпечити електрокалорифери. Тому система автоматичного управління сонячним опаленням повинна забезпечувати задану температуру що подається в приміщення. Для визначення значення температури на виході колектора, запропонована схема, представлена на рис.1. На сонячному колекторі розташовуються два датчика температури. T_{min} - температура вхідного повітря; T_{max} - температура підігрітого повітря.

Сонячні повітряні колектори, особливо в зимовий час, коли сонце знаходиться низько над горизонтом встановлюються або вертикально, або з невеликим відхиленням від вертикального положення. Внаслідок нагрівання елементарного об'єму повітря, в процесі його руху від входу до виходу сонячного колектора, його температура підвищується.

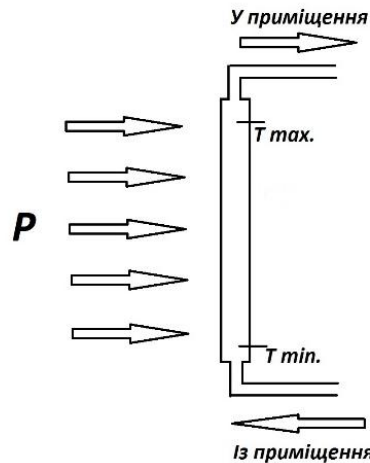


Рисунок 1 – Схема розташування датчиків температури на сонячному колекторі

Управління здійснюється за допомогою зміни швидкості потоку повітря в сонячному колекторі. Але при цьому необхідно враховувати інерційність колектора, вентилятора і аеродинамічного опору системи [8,9]. Для визначення виду математичної моделі повітряного сонячного колектора з управлінням швидкістю потоку повітря приймемо припущення, що модель повинна бути адаптована до використання узагальненої структурної схеми системи управління з урахуванням головного від'ємного зворотного зв'язку [6].

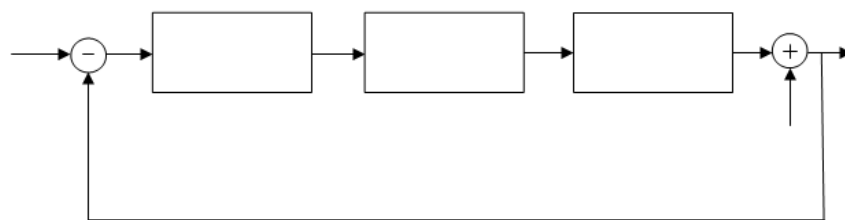


Рисунок 2 – Структура системи управління

Як об'єкт управління розглянемо наступні елементи:

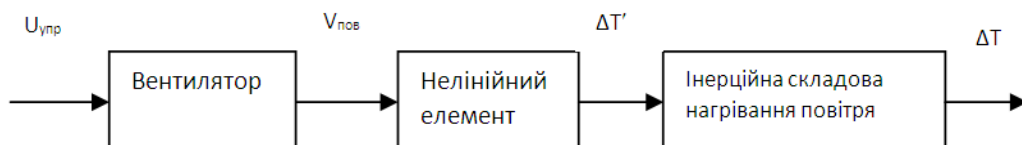


Рисунок 3 – Узагальнена структура об'єкта управління

Вентилятор з регулятором потужності можемо розглядати як без інерційну підсилювальну ланку [6]. Це припущення базується на попередньому порівнянні інерційності колекторів у цілому і інерційності вентиляторів порівняно невеликої потужності. Передавальний коефіцієнт вентилятора $K_{вент}$ визначить-ся зі співвідношення:

$$K_{вент} = \frac{v_{нов}}{U_{упр}}, \frac{M / c}{B}. \quad (12)$$

Передавальний коефіцієнт сонячного колектора є величиною не постійною і нелінійною. Тому в структурній схемі об'єкта керування не лінійність виділена окремим блоком. Покажемо співвідношення, що визначають нелінійну залежність температури $\Delta T'$ від швидкості $v_{нов}$:

$$\Delta T' = \frac{P_{эф}}{c \cdot \frac{m}{t}}. \quad (13)$$

Як зазначалося раніше $P_{эф}$ – це потужність випромінювання, яка перетворюється безпосередньо в теплову енергію. Але з підвищенням температури абсорбера зростають втрати. При цьому $\Delta T'$ стабілізується.

$$\frac{m}{t} = v_{абс} \cdot S_{абс} \cdot \rho, \quad (14)$$

де ρ - об'ємна вага повітря ($кг/м^3$), m/t - масова швидкість повітря в абсорбері.

Тоді:

$$\Delta T' = \frac{P_{эф}}{c \cdot v_{абс} \cdot S_{абс} \cdot \rho} \quad (15)$$

Так як швидкість потоку повітря буде вимірюватися в повітроводі, необхідно враховувати (9):

$$\Delta T' = \frac{P_{эф}}{c \cdot v_{нов} \cdot S_{нов} \cdot \rho} \quad (16)$$

Вираз (16) дозволяє визначити область зміни коефіцієнта передачі сонячного колектора в залежності від значення потужності $P_{эф}$ і швидкості потоку повітря в системі (рис.4).

Коефіцієнт пропорційності:

$$K_{np} = \Delta T/v \quad (17)$$

Коефіцієнт пропорційності може змінюватися в дуже широких межах від 1 до 140.

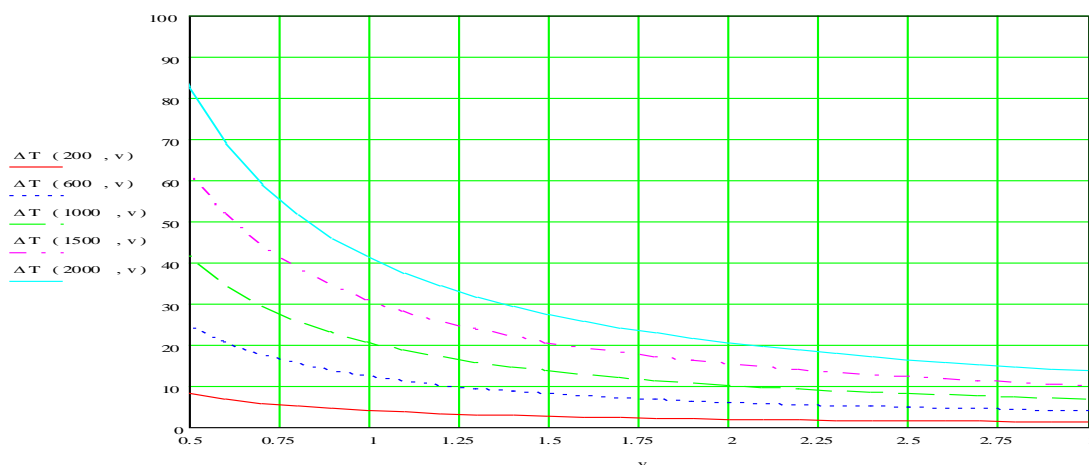


Рисунок 4 – Залежність ΔT від швидкості повітря в повітропроводі v , при значенні ефективної теплової потужності від 200 до 2000 ват

Сонячний колектор є інерційним об'єктом. Нагрівання поверхні абсорбера, потім передавання теплової енергії теплоносію – повітрю проходить досить повільно. Розглядаючи елементарні залежності (3.14) швидкості нагріву від маси тіла можемо вважати, що найбільша постійна часу сонячного колектора буде визначатися процесом нагрівання абсорбера та інших конструкційних елементів колектора. Передача тепла від абсорбера до повітря в його каналах буде в стільки разів швидшою, в скільки разів маса повітря менша за масу абсорбера. Зважаючи на метал і повітря, конструктивні особливості повітряних колекторів вага повітря що нагрівається приблизно на 2 порядки менша ніж вага абсорбера. Тому в першому наближенні можемо припустити, що модель інерційності колектора – це передаточна функція першого порядку [9].

Але в цілому перехідна характеристика може бути апроксимована як динамічна ланка першого порядку.

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} \quad (18)$$

Подальше використання математичної моделі об'єкта управління для синтезу локальної системи автоматичного управління та вибору типу регулятора та визначення його параметрів потребує характеризувати сам об'єкт.

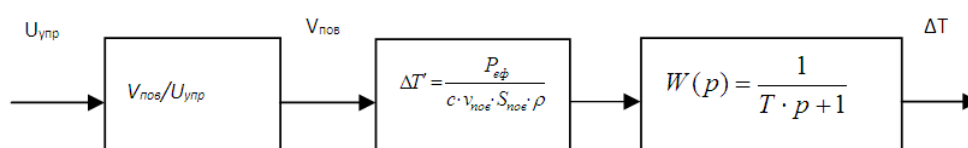


Рисунок 5 – Структура математичної моделі об'єкта управління

Головна особливість об'єкта управління в тому, що це нелінійний об'єкт. Загальний коефіцієнт пропорційності може приймати значення в межах від 0.2 до 30. Визначення числового значення постійної часу T інерційної ланки першого порядку можливо здійснити тільки за умови стабілізації швидкості потоку повітря через колектор і з урахуванням значення $\Delta T'$, яке можна розрахувати. Для цього також необхідно визначитися з значенням P_{ef} , для чого необхідний вимірювальний пристрій потужності сонячного випромінювання та дані виробника з значеннями відповідних коефіцієнтів втрат тепла. При зазначених умовах виконаний експеримент та подальша ідентифікація параметрів динамічної ланки дозволить використовувати отримані параметри для практичного використання.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Повітряні сонячні колектори використовуються в комплексних системах обігріву, одночасна робота кількох різних систем ефективна тільки під керуванням комп'ютерної інформаційно-управляючої системи. Математична модель повітряного сонячного колектора повинна відображати не тільки пропорційні залежності а і динаміку нагрівання повітря. В роботі побудовано імітаційну модель сонячного колектора з урахуванням його використання у складі сучасних комп'ютерних інформаційних та керуючих систем. Проведені дослідження показали, що модель, яка описує залежність температури повітря на виході з повітряного колектора від швидкості його потоку – нелінійна. Динаміку нагріву повітря можна описувати динамічною ланкою першого порядку. Для роботи комп'ютерної системи керування необхідно використовувати датчики температури повітря на вході і на виході сонячного колектора. Також потрібно використовувати дані з датчика поточної потужності сонячного випромінювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського – К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
2. Кузнецов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнецов. — Київ: ІВЕ, 2022. — 142 с.
3. John A. Duffie, William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. 2013 John Wiley & Sons, Inc. 2013. DOI:10.1002/9781118671603.
4. Пасічник П.О. Проблеми застосування повітряних геліосистем / П.О. Пасічник, О.В. Приймак// Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. – К.: КНУБА, 2014 р. – С. 322 - 327.

5. Бабак В.П. Автоматизація і контроль регулювання теплоспоживання з використанням сонячних колекторів та акумуляції тепла / В.П. Бабак, А.О. Назаренко // Неруйнівний контроль і технічна діагностика: наук конф., 20 – 23 листопада 2012 р.: тези доп. – К., 2012. – С. 229-231.
6. Шаруда В. Г. Практикум з теорії автоматичного управління [Текст] : навч. посібник / В. Г. Шаруда. - Д. : НГУ, 2002. - 414 с.: - ISBN 966-7476-74-X
7. Дорошенко О.В. Сонячні плоскі металополімерні колектори / О.В. Дорошенко, С.С. Титар, Б.Є. Молчанський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №4. – С.32-35.
8. Назаренко А.О. Система управління теплоспоживанням з сонячними колекторами / А.О. Назаренко // Метрологія та прилади. – 2013. – №2 (40). – С. 151-158.
9. Назаренко А.О. Система керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії. – *Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. – Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, 2016.*

REFERENCES

1. Energy efficiency and renewable energy sources / Under general ed. A.K. Shidlovsky - K.: Ukrainian encyclopedic knowledge, 2007. - 560 p.
2. Kuznetsov M.P. Peculiarities of combined energy systems with renewable energy sources: monograph / M.P. Kuznetsov. — Kyiv: IVE, 2022. — 142 p.
- John A. Duffie, William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. 2013 John Wiley & Sons, Inc. 2013. DOI:10.1002/9781118671603.
4. Beekeeper P.O. Problems of using air solar systems/ P.O. Pasichnik, O.V. Pryimak// Scientific and technical collection "Energy efficiency in construction and architecture". Issue 6. - K.: KNUBA, 2014 - pp. 322 - 327.
5. Babak V.P. Automation and control of regulation of heat consumption using solar collectors and heat accumulation / V.P. Babak, A.O. Nazarenko // Non-destructive testing and technical diagnostics: science conference, November 20-23, 2012: abstracts - K., 2012. - P. 229-231.
6. Sharuda V. G. Workshop on the theory of automatic control [Text]: training manual / V. G. Sharuda. - D.: NSU, 2002. - 414 p.: fig. - ISBN 966-7476-74-X
7. Doroshenko O.V. Solar flat metal-polymer collectors / O.V. Doroshenko, S.S. Tytar, B.E. Molchansky // Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. – 2010. – No. 4. - P.32-35.

8. Nazarenko A.O. Heat consumption control system with solar collectors / A.O. Nazarenko // Metrology and devices. – 2013. – No. 2 (40). – P. 151-158

9. Nazarenko A.O. A system for controlling the heat consumption of buildings with combined heat supply and the use of solar energy. – Manuscript. Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.14.01 - Energy systems and complexes. – Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

Received 17.10.2023.
Accepted 23.10.2023.

Simulation model of a flat plate air solar collector

Analysis of recent research and publications. According to the design of solar collectors, generalizing dependencies are known, the values of the main parameters of the collector are determined, which makes it possible to determine the possible efficiency of the solar heating system quite simply at the stage of the preliminary design stage. Systems where thermal solar collectors are used are usually equipped with fairly simple control systems. These systems are characterized by the fact that they use static mathematical models and the management of work processes is performed by periodic switching on and off of the executing devices. Thus using more effective, continuous, local control systems, the solar collector is a rather complex object. Firstly, the control is possible only by adjusting the efficiency of the fan, which provides the circulation of the coolant. Secondly, the temperature of the coolant at the entrance to the heated room is also adjusted by the regulation of the fan. Considering that in real conditions, the arriving of the solar energy to the collector is a process determined by many random factors, the operation of the control system must provide an appropriate response to such changes.

Problem formulation. The operation of two heating systems is necessarily equipped with a computer information-control system of automatic control, which allows the maximum usage of solar energy. As a result of that the energy savings can reach quite significant values. The main functions of the used control systems include: the algorithms for maintaining the necessary temperature parameters in the heated room, the energy consumption control, the regulation of the thermal power of the main heating system depending on the thermal power that the solar collector can provide. Regulation of the solar collector work must necessarily takes into account the indicators of solar radiation power, the temperature conditions of the external environment, the features of the heated room, the inertia of the objects used in the heating system.

Main material. To build a simulation model of a solar collector for heating a room where air is used as a heat carrier, known dependencies which describe thermal processes

were considered. It is shown that the effective thermal power of the solar collector is determined by the difference between the thermal power of solar radiation and the thermal power of losses. Taking into account that the operation of the solar collector is possible only during the day and when the sun is clear, there regulation is necessary to provide the highest rate of the room heating, stabilization of the room temperature, ventilation mode (mixing of the heated air from the room with the part of the outside air) and other possible work options.

As a control object, we will consider the following elements: a circulation fan, the dependence of the air temperature at the outlet of the collector (on the power of the solar radiation, the heat losses, the flow rate of the heat carrier), the inertial component of the heat transfer process to the heat carrier.

We can consider a fan with a power regulator as a non-inertial element. This assumption is based on a preliminary comparison of the collectors inertia in common and the inertia of fans of relatively low power. The transmission coefficient of the solar collector is a non-constant and non-linear value. Therefore, in the structure of the collector as a control object, non-linearity is highlighted by a separate block. The heat transfer from the absorber to the air in its channels will be as faster as the mass of the air is smaller than the mass of the absorber. Considering the mass of metal and air, design features of air collectors, the weight of heated air is approximately 10^2 times less than the weight of the absorber. Therefore, in the first approximation, we can assume that the inertia model of the collector is a transfer function of the first order. Further use of the mathematical model of the control object for the local automatic control system synthesis and selection of the regulator type and its parameters determination requires of the object characterizing. The main feature of the control object is that it is a non-linear object. The general proportionality coefficient can take values in the range from 0.2 to 30.

Conclusions and further research. The mathematical model of an air solar collector should display not only proportional relationships but also the dynamics of air heating. It is shown that the model that describes the dependence of the air temperature at the outlet of the air collector on the speed of its flow is non-linear. The dynamics of air heating can be described by a dynamic element of the first order. For the computer control system operation, it is necessary to use air temperature sensors at the inlet and outlet of the solar collector. It is also necessary to use data from the sensor of the current power of solar radiation.

Шедловський Ігор Анатолійович - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Гнатушенко Володимир Володимирович - д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Шедловська Яна Ігорівна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Горєв Вячеслав Миколайович - завідувач кафедри фізики національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Shedlovsky Igor - candidate of technical sciences, associate professor of department of information technologies and computer engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Hnatushenko Volodymyr - doctor of technical science, professor, head of department of information technologies and computer engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Shedlovska Yana - candidate of technical sciences, associate professor of department of information technologies and computer engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Gorev Vyacheslav - candidate of technical sciences, head of department of Physics, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.