

Ю. А. Селіхов, к. техн. н., доцент, К. О. Горбунов, к. техн. н., доцент,
Е. Р. Нагорний, аспірант, І. В. Пільник, аспірант, В. Г. Рись, аспірант

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМУВАННЯ У ПРИКЛАДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: традиційні джерела енергії, нетрадиційні джерела енергії, сонячна енергія, сонячні колектори, геліоколектори, геліоустановки, сонячні установки, гаряче водопостачання, опалення будинків, екологічна обстановка регіону, навколишнє середовище, довкілля, низькопотенційна енергія, полімерні матеріали.

Постановка задачі. Корисні копалини та запаси енергії у вигляді вугілля, нафти, природного газу та урану все активніше витрачаються на покриття енергоспоживання, що росте, на нашій планеті. Цей шлях за певної вичерпності запасів палива неминуче веде до дефіциту енергопостачання. Оцінка відомих родовищ нафти та газу показує, що за існуючих обсягів видобутку їх вистачить до наступного періоду: нафти до 2050 року; природного газу до 2065 року. Але оскільки обсяги видобутку зростатимуть, то запаси вичерпаються ще раніше [1].

Зменшення запасів традиційних джерел енергії – вугілля, газу, нафти, урану, які нераціонально використовує людство, та забруднення довкілля штовхає світові держави до пошуку інших джерел енергії – таких як відновлювані джерела енергії. В цьому випадку великі перспективи має сонячна енергія, яку можна використовувати для отримання теплової та електричної енергії для гарячого водопостачання та опалення [2].

Сонячна енергія вважається однією з найбільш ефективних джерел, яка може бути використана для нагріву води. Це не лише екологічно чистий спосіб отримання енергії, але й можливість значної економії на комунальних послугах. Сучасні технології дозволяють використовувати сонячну енергію для нагріву води у приватних домогосподарствах, готелях, басейнах, промислових підприємствах та інших закладах. Одним із варіантів нагріву води є сонячні колектори (геліоколектори) за допомогою яких можна ефективно забезпечити потреби у гарячій воді та опаленні без використання традиційних джерел енергії. Сонячні колектори використовують як для сезонної так і для цілорічної роботи теплоенергетичних установок [3].

Одноконтурні сонячні системи в теплоенергетичних установках використовують сезонно чи на місцевостях, де немає негативних температур протягом усього року.

Сонячні колектори виготовляються з різних матеріалів: звичайний чорний метал, нержавіюча сталь, алюміній, мідь та полімерні матеріали [4–6], які, як правило, призначені для конкретних геліотехнічних установок та відрізняються за технологічними, експлуатаційними та техніко-економічними параметрами.

Використання сонячної енергії для нагріву води – це не лише сучасний та ефективний спосіб, але й крок у напрямку сталого розвитку та збереження навколишнього

середовища. Із зростанням популярності використання сонячної енергії, можна очікувати подальший розвиток цієї галузі та зниження витрат на опалення та гарячу воду.

Тому розвиток та вдосконалення нетрадиційних способів одержання теплової енергії, впровадження сонячних установок для отримання теплової низькопотенційної енергії, яка використовується для гарячого водопостачання та опалення об'єктів різного призначення, а також покращення екологічної обстановки регіону, в якому використовуються сонячні установки, є актуальними завданнями.

Мета статті. Зробивши аналіз роботи окремих теплоенергетичних установок, в яких в якості водонагрівника використовували одноконтурну сонячну систему в теплоенергетичній установці для сезонної роботи, нами був зроблений висновок, що треба зробити порівняльний розрахунок енергетичної ефективності застосування одноконтурних сонячних колекторів в теплоенергетичних установках для гарячого водопостачання та опалення приміщень різного призначення з розрахунками роботи котлоагрегатів, що працюють на природному газі. В якості прототипу ми взяли одноконтурну сонячну систему в якості водонагрівника [7] в теплоенергетичній установці з цілодобовим комп'ютерним керуванням [8]. Одноконтурна сонячна система складається з плоскокапілярних тонкоплівкових гнучких полімерних колекторів безнапірного типу спеціальної конструкції [9], в яких теплоносій рухається зверху вниз під дією сили тяжіння за похилою поверхнею у вигляді плівки рідини [10].

Застосування тонкоплівкових сонячних колекторів безнапірного типу з полімерної плівки дозволяє зменшити ризик втрати теплоносія за рахунок розриву сонячного колектора від надлишкового тиску, як у прототипі. За ефективністю нагрівання теплоносія на вході в колектор і на його виході, сонячний колектор з полімерної плівки поглинає більше сонячного випромінювання ніж відомі колектора з металу, тим самим забезпечує нагрівання теплоносія до більш високої температури ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$), ніж колектор виготовлений з металу ($63\text{ }^{\circ}\text{C}$) [11, 12].

Сонячний колектор з полімерної плівки, запропонований нами, можна замінити у разі потреби при засміченні прохідних перетинів або почистити і це коштуватиме значно дешевше порівняно з витратами на оновлення колекторів із металу.

Схема плоскокапілярного тонкоплівкового гнучкого полімерного колектора безнапірного типу спеціальної конструкції, розташованого в прямокутному корпусі наведена на рис. 1.

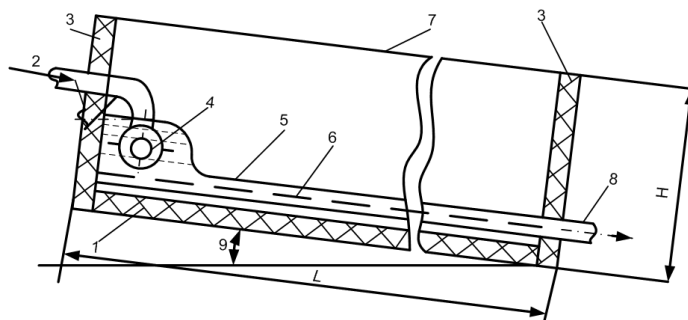


Рисунок 1 – Плоский сонячний колектор:

- 1 – основа корпусу; 2 – подача холодної води; 3 – бічні стінки корпусу; 4 – розподільна труба з отворами; 5 - гнучкий полімерний колектор; 6 - листовий матеріал із осередками;
- 7 - прозора огорожа - скло; 8 – зливна труба (вихід гарячої води);
- 9 – кут нахилу корпусу у градусах

Кількість плоских сонячних колекторів (21 колектор) визначила кількість гарячої води необхідної для роботи в приміщеннях різного призначення. Один колектор розмірами 7,0 x 1,5 м виготовляє 150 літрів гарячої води з одного квадратного метра за десять годин роботи вдень. А за санітарними нормами на одну особу за добу має припадати не менше 100 літрів гарячої води. Таким чином, продуктивність одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці визначається кількістю гарячої води, необхідної для однієї людини плюс кількість гарячої води, необхідної для потреб приміщень різного призначення.

Принцип роботи сонячної системи є наступним. Набір плоских сонячних колекторів розташований на даху будівлі, що знаходиться на відкритому майданчику, де потоки сонячного випромінювання можуть вільно падати на поверхні колекторів таким чином, щоб сонячна інсоляція на поверхні колекторів була весь проміжок між 6 і 20 годинами. Колектори повинні бути спрямовані на південь. Таке розташування колекторів має бути для отримання максимального теплового потоку сонячного випромінювання, якщо у одноконтурній системі немає спеціальних пристроїв, які можуть стежити за пересуванням Сонця. Вся конструкція з набору колекторів встановлюється на даху будівлі під кутом 12-15 градусів до горизонту.

Вода з артезіанської свердловини циркуляційним насосом подається в трубопровід 2 (див. рис. 1) і потрапляє у розподільчу трубу з отворами по всій ширині труби [9]. Труба розташовується в поліетиленовій панчосі шириною 1,5 м. Вода розтікається по ширині панчохи і самопливом рухається зверху вниз під дією сили тяжіння за похилою поверхнею корпусу колектора у вигляді плівки рідини. Оскільки товщина плівки рідини від 5 мм до 10 мм, то плівка нагрівається швидко до високої температури (до 90 °С). Така робота плоских сонячних колекторів спостерігається в усьому наборі колекторів в сонячній одноконтурній системі теплоенергетичної установки. Далі гаряча вода збирається в баках акумуляторів та подається циркуляційними насосами на необхідні потреби.

Нами була розроблена схема одноконтурної сонячної установки. За схемою було виготовлено та встановлено в одному з південних регіонів України одноконтурну сонячну установку [12], принципову схему якої представлено на рис.2. До складу одноконтурної сонячної установки входить сонячний колектор, два баки-акумулятори, три насоси, електронагрівальний пристрій, трубопроводи із запірною арматурою та система автоматизованого керування. Основним елементом установки є багатосекційний одноконтурний плоско-капілярний набір сонячних колекторів безнапірного типу (21 секція, кожна з яких з розмірами довжиною 7 м і шириною 1,5 м і висотою 0,2 м), конструкція та матеріали, що використовуються, дозволяють стабільно і з високою ефективністю використовувати сонячну енергію для нагрівання води. Принцип роботи установки є наступним. Вода з бака 1 подається на сонячні колектори (СК) і, нагріваючись до високої температури (90 °С), направляється в бак-акумулятор 2. Гаряча вода з бака 2 надходить у систему гарячого водопостачання будівлі або групи будівель.

Високоєфективна теплоізоляція всієї установки (баків-акумуляторів, трубопроводів) дозволяє тривалий час зберігати високу температуру води в періоди, коли немає сонячного випромінювання або його недостатньо для підтримки заданої температури води.

При тривалій відсутності сонячного випромінювання, необхідного для нагрівання води до заданої температури, можливе включення багатоелементного електронагрівального пристрою контактного типу, змонтованого на баку-акумуляторі 2. З метою економії енергоресурсів температура води, що підтримується електронагрівником, мо-

же задаватися нижчою, ніж температура, що підтримується сонячним колектором. Циркуляційні насоси із зворотними клапанами служать для перекачування води по одній з гілок трубопроводів, яка визначається положеннями запірної арматури, забезпечуючи різні режими роботи установки. Вибір режимів роботи установки може здійснюватися автоматично та вручну. Для управління установкою служать система автоматизованого управління (САУ), що включає блок контролю та управління 2-6; датчики рівня 2-1 та 2-2; датчики температури 2-3, 2-4, 2-5; пульт дистанційного контролю 2-7 та магнітний пускач. Блок виміру, контролю та управління служить для контролю параметрів функціонування установки, управління процесами в ній на підставі отриманої від датчиків інформації та заданих параметрів відповідно до алгоритму функціонування, а також для відображення інформації про хід процесів в установці. У сонячному колекторі з полімерної плівки на відміну від металевого колектора вода по трубопроводу подається у верхню частину секції, де потрапляє у внутрішню порожнину гнучкого покриття, яке лежить на похилій поверхні. Вода розтікається тонкою плівкою і нагрівається прямим сонячним випромінюванням, відбитим випромінюванням від стін корпусу, конвективним теплообміном. Гнучке покриття чорного кольору. Підігріта вода відводиться через збірну трубу у нижній частині корпусу. Основною характеристикою ефективності роботи сонячного колектора є зміна температури теплоносія. Сонячний колектор запропонований нами після одного сезону роботи можна замінити при засміченні прохідних перерізів і це коштуватиме значно дешевше порівняно із витратами на оновлення металевих колекторів. Тепловий режим колекторів формується під впливом радіаційно-кліматичних умов у відповідній місцевості, визначається конструктивними особливостями установок, орієнтацією їх у просторі, умовами знімання тепла теплоносієм та його температурним рівнем.

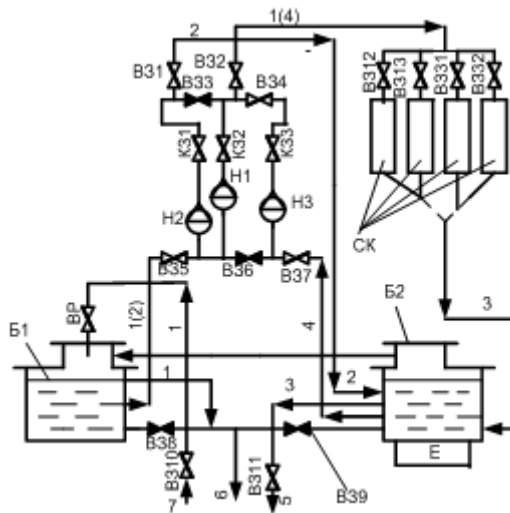


Рисунок 2 – Принципова схема одноконтурної сонячної установки
 СК – сонячний колектор; Б1, Б2 – баки-акумулятори; Н1, Н2, Н3 – циркуляційні насоси;
 Е – електронагрівник; ВР - регульовальний вентиль; К31, К32, К33 – клапани зворотні;
 В31÷В332 – запірні вентилі; 1,2 – холодний теплоносій; 3 – гарячий теплоносій;
 4 - теплоносій з температурою менше заданої; 5 – до споживача; 6 – у каналізацію;
 7 – холодна вода

Одноконтурна сонячна установка представлена на рис. 3 – вид зверху.



Рисунок 3 – Одноконтурна сонячна система у теплоенергетичній установці

Нами було виконано аналіз експериментальних даних за зміни витрати V теплоносія від 0,5 до 3,0 м³/г та отримані узагальнюючі залежності виду $q = f(T, t)$ при $V = const$ [13]. При аналізі експериментальних даних з метою представлення в аналітичному вигляді функціональної залежності, тобто в підборі формули, що описує результати експерименту, були використані можливості надбудови середовища Excel (пакет аналізу), а саме регресійний аналіз [14]. Інструменти регресійного аналізу дозволяють аналізувати великі сукупності даних не тільки для отримання основних статистичних характеристик та побудови, відповідних кривих залежності (лінії регресії) для візуальної оцінки, але й знайти рівняння, яке найкраще відображає безліч даних, які математично описують вплив низки незалежних змінних на очікуваний результат.

Експериментальні результати зміни температури теплоносія протягом доби сезонної роботи одноконтурної сонячної установки за червень, липень, серпень, вересень та жовтень представлені на рис. 4. Теплотехнічними розрахунками [15] були отримані результати зміни густини теплового потоку протягом доби протягом місяців: червня, липня, серпня, вересня, жовтня. Результати розрахунків наведено на рис. 5.

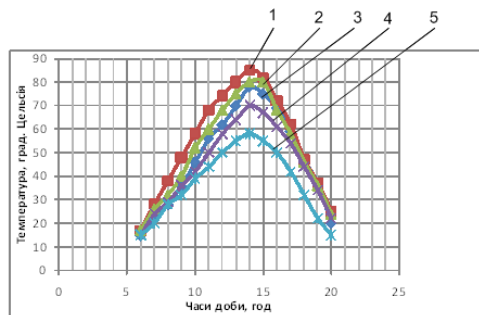


Рисунок 4 – Експериментальні результати зміни температури теплоносія протягом доби сезонної роботи одноконтурної сонячної установки: 1 – липень; 2 – червень; 3 – серпень; 4 – вересень; 5 – жовтень

Таким чином, теплова енергія теплоенергетичної сонячної установки [16] для гарячого водопостачання Q_T складається з теплової енергії одноконтурної сонячної системи Q_1 і розраховується за рівнянням:

$$Q_T = Q_1$$

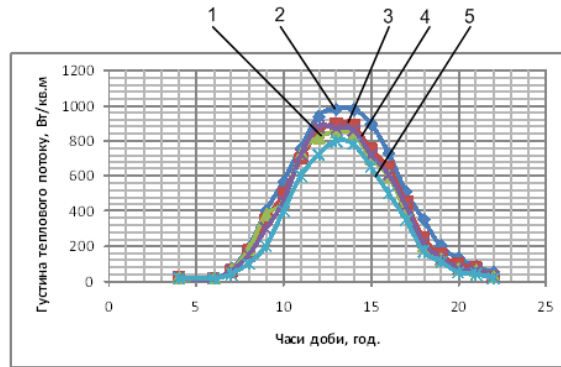


Рисунок 5 – Результати теплотехнічних розрахунків зміни густини теплового потоку протягом доби протягом місяців: червня, липня, серпня, вересня, жовтня: 1 – вересень; 2 – липень; 3 – серпень; 4 – червень; 5 – жовтень

Значення кількості використаної теплоти для попереднього підігріву води визначається за такою формулою:

$$Q_1 = G_B \cdot \rho_B \cdot c_B \cdot (t_B'' - t_B')$$

де G_B – об'ємна витрата води, що підігрівається, м³/с; ρ_B – густина води, кг/м³; c_B – теплоємність води, кДж/(м³·К); t_B', t_B'' – температура холодної та підігрітої води, відповідно, °С.

Кількість Q_M , кВт·г теплової енергії, виробленої у сонячному колекторі, обчислюється окремо для кожного місяця роботи за формулою:

$$Q_{Mi} = 10^{-3} \cdot z \cdot \sum q_i \cdot F \cdot \eta_0 \cdot \eta_3,$$

де z – кількість днів на місяці; $\sum q_i$ – сума значень густин теплових потоків, Вт/м², для місяця, що розраховується; F – площа, м², встановлених сонячних колекторів дорівнює 210 м²; η_0 – Коефіцієнт, що враховує реальні умови хмарності, визначається за табл. 1; η_3 – коефіцієнт, що враховує втрати, зумовлені нестационарним теплообміном за мінливої хмарності. Рекомендується приймати $\eta_3 = 0,9$.

Дані про розрахункову географічну широту φ , град., про середню денну температуру атмосферного повітря t_0 , °С, та про коефіцієнт η_0 , що враховує реальні умови хмарності, для деяких міст України подано у табл. 1 [17].

Таблиця 1

Місто	φ	Місяці року									
		червень		липень		серпень		вересень		жовтень	
		t_0	η_0	t_0	η_0	t_0	η_0	t_0	η_0	t_0	η_0
Ялта	44	25	0,84	29	0,86	28	0,88	24	0,85	19	0,6

Результати розрахунку теплової енергії Q_M , кВт·г, отриманої в сонячному колекторі представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Місяці року	η_0	$\sum q_i$, Вт/м ²	Q_{Mi} , кВт·г
Червень	0,84	6785	32316
Липень	0,86	7721	38904
Серпень	0,88	6425	33127
Вересень	0,85	6503	31341
Жовтень	0,6	5485	18660
$\sum Q_{Mi}$			154348

Річний виробіток тепла Q_G , кВт·г, у сонячній установці визначається як сумарна кількість теплової енергії, виробленої кожного місяця:

$$Q_G = \sum Q_{Mi} = 154348, \text{ кВт} \cdot \text{г} / \text{рік}.$$

Визначаємо річний виробіток тепла $Q_{Гкв.м}$, кВт·г/(м²рік), з одного квадратного метра колектора за рік:

$$Q_{Гкв.м} = \frac{Q_G}{F} = \frac{154348}{210} = 734,991, \text{ кВт} \cdot \text{г} / (\text{м}^2 \text{рік}).$$

Така кількість річного вироблення тепла з одного квадратного метра колектора за рік відповідає приблизно енергоемності. 100 м³ прородного газу [18], за підвищених вимог до чистоти оточуючого середовища, наприклад у курортних зонах.

Економію палива ΔB у котлоагрегаті за рахунок використання такої системи можна розрахувати за допомогою рівнянь теплового балансу. Річна економія умовного палива становитиме, т.у.п./рік:

$$\Delta B_{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{Q_H^P \cdot \eta_K},$$

де $Q_H^P = 29,33$ МДж/кг – теплотворна здатність умовного палива; $Q_{\text{рік}}$ – річна кількість теплоти, що утилізується, МДж/рік; η_K – коефіцієнт корисної дії котла.

Економія органічного палива визначається, т/рік (тис. м³/рік)

$$\Delta B = \Delta B_{\text{рік}} \cdot \frac{29,33}{1000 \cdot Q_H^P}.$$

Річна економія за рахунок скорочення витрати первинного палива для підігріву води складе для котлоагрегату, грн/рік:

$$E_{\Pi} = \Delta B \cdot C_{\Pi},$$

де C_{Π} – вартість первинного палива, грн/т (грн/1000 м³).

Термін окупності теплоенергетичної системи гарячого водопостачання та опалення становитиме, рік:

$$T = S_C / (Q_T \cdot C_T),$$

де S_C – питома вартість теплоенергетичної системи гарячого водопостачання та опалення, грн/м²; Q_T – річна кількість теплоти, вироблена теплоенергетичною системою, Гкал/м²; C_T – вартість теплоти від традиційного енергоджерела, грн/Гкал.

Були проведені розрахунки ефективності використання запропонованої теплоенергетичної системи водопостачання для котельні з водогрійучими котлами типу КВГ, що працюють на природному газі. Вартість природного газу для приватних осіб 7,96 грн за один м³ газу. Приблизно економія газу за рахунок застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці становитиме: 7,96 x 100 = 796 грн з одного квадратного метра колектора за рік. Економія природного газу з усіх 210 м² колектора складе: 210 x 796 = 167160 грн за рік.

Далі зробимо розрахунок зменшення шкідливих викидів в довкілля від використання одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці.

Розрахунок зменшення шкідливих викидів за рахунок економії палива проводять за формулою:

$$M_i = c_i \cdot B,$$

де c_i – питомі викиди компонентів (див. табл. 3)

Таблиця 3 – Питомі викиди шкідливих продуктів згоряння при факельному спалюванні органічного палива в енергетичних котлах [17]

Викиди	Природний газ, г/м ³
Оксиди сірки SO _x (в перерахунку на SO ₂)	0,006–0,01
Оксиди азоту NO _x (в перерахунку на NO ₂)	5–11
Монооксид вуглецю CO	0,002–0,005
Вуглеводні	0,016
Водяна пара H ₂ O	1000
Диоксид вуглецю CO ₂	2000
Летюча зола та шлак	---

Таблиця 4 – Питомі показники викидів в атмосферу шкідливих інгредієнтів у складі продуктів згоряння палива

Вид палива	Теплота згоряння палива	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	Органічні сполуки	SO ₂	Тверді частинки
	кДж/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг
Природний газ (на нм ³)	35640	1880	0,17	0,003	1,68	1,68	0,17	Незнач.	0,12

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

$M_i = c_i \cdot B$	$M_i, \text{г}$
$M_{\text{SO}_2} = c_{\text{SO}_2} \cdot B$	1
$M_{\text{NO}_2} = c_{\text{NO}_2} \cdot B$	1100
$M_{\text{CO}} = c_{\text{NO}_2} \cdot B$	0,5
$M_{\text{а́оа́е}} = c_{\text{а́оа́е}} \cdot B$	1,6
$M_{\text{H}_2\text{O}} = c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot B$	100000
$M_{\text{CO}_2} = c_{\text{CO}_2} \cdot B$	200000
$\sum M_i$	301103,1

Висновки. Наведено порівняльний розрахунок енергетичної ефективності застосування одноконтурних сонячних систем у теплоенергетичних установках для гарячого водопостачання та опалення приміщень різного призначення з розрахунками роботи котлоагрегатів, що працюють на природному газі. Розрахунок зменшення шкідливих викидів більш ніж на 300 кг шкідливих речовин у навколишнє середовище запобіг забрудненню навколишнього середовища. Застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці показав, що економія 100 м³ природного газу з усіх 210 м² колектора складе – 167160 грн за рік.

Застосування одноконтурної сонячної системи у теплоенергетичній установці дозволяє: – зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, заощаджувати органічне паливо; виробляти теплову енергію; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища. Система автоматизації дозволяє керувати теплоенергетичною установкою без втручання людини.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071. – 166 с.

2. Селихов Ю.А., Бухкало С.И., Воробьев В.М. Вопросы энерго- и ресурсосбережения при использовании полимерных материалов в гелиосистемах // Интегровані технології та енергозбереження.– Харків: НТУ „ХПІ”, 2002. – №2. – С. 7–21.
3. Даффи Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
4. Селихов Ю.А., Ведь В.Е., Бухкало С.И., Костин В.М. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок // Экологические и ресурсосбережение– Киев: Типография НАН Украины, 2004.– № 3. – С. 70–75.
5. Полімерна композиція. Патент України № 72078 А, Бюл.№ 1, 2005
6. Двоконтурна геліоводонагрівна установка, Патент України, № 64198 А, Бюл. № 2, 2004.
7. Selikhov Yu.A., 2006, Helios water heater. Patent of Ukraine #75178, Bulletin #3. (in Ukrainian).
8. Селихов Ю.А., Горбунов К.О., Стасов В.А. Інтеграція роботи поновлюваних джерел енергії для гарячого водопостачання та опалювання будівель / Ю.А. Селихов, К.О. Горбунов, В.А. Стасов // Интегровані технології та енергозбереження. 2021. – №4.– С. 3–12.
9. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю., Селихова Н.В. Двоконтурна геліоводонагрівна установка, Патент України, № 64198 А, Бюл. № 2, 2004.
10. Yurii A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, С. 2053-2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
11. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю. Полімерна композиція, Патент України, № 72078 А, Бюл. № 10, 2004.
12. Селихов Ю.А., Коцаренко В.О. Оценка эффективности теплоэнергетических показателей систем солнечного горячего водоснабжения. Вестник НТУ "ХПИ" № 14, 2005, – С. 37–41.
13. Yurii A. Selikhov, Jiří Jaromír Klemeš, Petro Kapustenko, Olga Arsenyeva/ The study of flat plate solar collector with absorbing elements from a polymer material/ Energy Volume 256, 1 October 2022, 124677, pp. 2056-2071 © 2022 ООО «Эльзевир».
14. Коцаренко В.О., Селихов Ю.А., Горбунов К.О. Розрахунки в середовищі Excel: навч. посіб. – Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2011. – 272 с.
15. Селихов Ю.А. Коцаренко В.А. Горбунов К.А. Горбунова О.В. Оптимизация работы солнечной установки для горячего водоснабжения и отопления зданий / Ю.А. Селихов, В.О. Коцаренко, К.О. Горбунов, О.В. Горбунова // Интегровані технології та енергозбереження. 2015. - №4. – С. 15–20.
16. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А. Интеграция процесса теплообмена солнечной установки. Наукові праці ОНАПТ, Том 82, Вип. 1, С.87-93, ОНАХТ, Одесса, 2018.
17. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика, Стройиздат, М., 1983.
18. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий, Стройиздат, М., 1986.

Bibliography (transliterated)

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 r. Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24.07.2013 № 1071. – 166 p.
2. Selykhov Yu.A., Bukhhalo S.Y., Vorobev V.M. Voprosy energo- y resursosberezheniya pry uspolzovannyi polimernykh materialov v helyosystemakh // Intehrovani tekhnolohii ta yenerhozberezhennia.– Kharkiv: NTU „KhPI”, 2002. – №2. – P. 7–21.
3. Daffy Dzh., Bekman U.A. Teplovyye protsessy s uspolzovanyem solnechnoi energiyi. – M.: Myr, 1977. – 420 p.
4. Selykhov Yu.A., Ved V.E., Bukhhalo S.Y., Kostyn V.M. Konstruktsionnyye osobennosti uvelycheniya effektivnosti raboty helyoustanovok // Ekotekhnolohyy u resursosberezhenniye– Kyev: Tytografyia NAN Ukrainy, 2004.– № 3. – P. 70–75.
5. Polimerna kompozytsiia. Patent Ukrainy № 72078 A, Biul.№ 1, 2005.
6. Dvokonturna heliovodonahrivna ustanovka, Patent Ukrainy, № 64198 A, Biul. № 2, 2004.
7. Selikhov Yu.A., 2006, Helios water heater. Patent of Ukraine #75178, Bulletin #3. (in Ukrainian).
8. Selikhov Yu.A., Horbunov K.O., Stasov V.A. Intehratsiia roboty ponovliuvanykh dzherel enerhii dlia hariachoho vodopostachannia ta opaliuvannia budivel / Yu.A. Selikhov, K.O. Horbunov, V.A. Stasov // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2021. – №4.– P. 3–12.
9. Selykhov Yu.A., Selykhova L.Iu., Selykhova N.V. Dvokonturna heliovodonahrivna ustanovka, Patent Ukrainy, № 64198 A, Biul. № 2, 2004.
10. Yurii A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, S. 2053-2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
11. Selykhov Yu.A., Selykhova L.Iu. Polimerna kompozytsiia, Patent Ukrainy, № 72078 A, Biul. № 10, 2004.
12. Selykhov Yu.A., Kotsarenko V.O. Otsenka effektivnosti teploenerhetycheskykh pokazatelei system solnechnoho horiacheho vodosnabzheniia. Vestnyk NTU "KhPY" № 14, 2005, – P. 37–41.
13. Yurii A. Selikhov, Jiří Jaromír Klemeš, Petro Kapustenko, Olga Arsenyeva/ The study of flat plate solar collector with absorbing elements from a polymer material/ Energy Volume 256, 1 October 2022, 124677, pp. 2056–2071 © 2022 OOO «Elzevyr».
14. Kotsarenko V.O., Selikhov Yu.A., Horbunov K.O. Rozrakhunky v seredovyshchi Excel: navch. posib. – Kharkiv: Vyd-vo «Pidruchnyk NTU «KhPI», 2011. – 272 p.
15. Selykhov Yu.A. Kotsarenko V.A. Horbunov K.A. Horbunova O.V. Optymyzatsiia roboty solnechnoi ustanovky dlia horiacheho vodosnabzheniia u otopleniia zdanyi / Yu.A. Selikhov, V.O. Kotsarenko, K.O. Horbunov, O.V. Horbunova // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2015. - №4. – P. 15–20.
16. Selykhov Yu.A., Kotsarenko V.A. Yntehratsiia protsessa teploobmena solnechnoi ustanovky. Naukovi pratsi ONAPT, Tom 82, Vyp. 1, S.87-93, ONAKhT, Odessa, 2018.
17. SNyP 2.01.01-82. Stroytelnaia klymatolohiia y heofyzyka, Stroiyzdat, M., 1983.

18. SNyP 2.04.01-85. Vnutrennyi vodoprovod y kanalyzatsiya zdanyi, Stroiyz-dat, M., 1986.

УДК 662.997

Ю. А. Селіхов, к. техн. н., доцент, К. О. Горбунов, к. техн. н., доцент,
Е. Р. Нагорний, аспірант, І. В. Пільник, аспірант, В. Г. Рись, аспірант

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМУВАННЯ У ПРИКЛАДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ
MATHCAD**

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Зменшення запасів традиційних енергоносіїв – вугілля, газу, нафти, урану, які нерационально використовувало людство, та забруднення навколишнього середовища спрямовує світові держави на пошук нових джерел енергії – таких як відновлювані джерела енергії. У цьому випадку велику перспективу має сонячна енергія, яку можна використовувати для отримання теплової та електричної енергії для гарячого водопостачання та опалення. Сонячна енергія вважається одним із найефективніших джерел енергії, яка може бути використана для нагрівання теплоносія, зокрема води. Це не лише екологічно чистий спосіб одержання енергії, а й можливість значної економії на комунальних послугах. Сучасні технології дозволяють використовувати сонячну енергію для нагрівання води у приватних домоволодіннях, готелях, басейнах, промислових підприємствах та інших закладах. Одним з варіантів нагрівання води можуть служити сонячні колектори (геліоколектори), за допомогою яких можна ефективно забезпечити потреби в гарячій воді та опаленні без застосування традиційних джерел енергії. Сонячні колектори застосовують як для сезонної, так і для цілорічної роботи теплоенергетичних установок.

У статті наведено порівняльний розрахунок енергетичної ефективності застосування одноконтурних сонячних систем у теплоенергетичних установках для гарячого водопостачання та опалення приміщень різного призначення з розрахунками роботи котлоагрегатів, що працюють на природному газі. Розрахунок зменшення шкідливих викидів більш ніж на 300 кг шкідливих речовин у навколишнє середовище запобіг забрудненню навколишнього середовища. Застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці показав, що економія 100 м³ природного газу з усіх 210 м² колектора складає – 167160 грн за рік.

Застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці дозволяє: - зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, економити органічне паливо; виробляти теплову енергію; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища. Система автоматизації дозволяє керувати теплоенергетичною установкою без втручання людини.

Ключові слова: одноконтурна сонячна система в теплоенергетичній установці,

приватне домоволодіння, електроенергія, гаряче водопостачання, опалення, органічне паливо, теплова енергія, теплове навантаження, забруднення навколишнього середовища, система автоматизації, природний газ, витрати на обладнання, енергетична ефективність, сонячні колектори, геліоколектори.

Yu. A. Selikhov, K. O. Gorbunov, E. R. Nagorniy, I. V. Pilnyk, V. G. Rys

ENERGY EFFICIENCY OF OPERATION OF THERMAL POWER PLANT BASED ON SOLAR COLLECTORS USING PROGRAMMING IN THE MATHCAD APPLICATION ENVIRONMENT

The reduction of reserves of traditional energy sources – coal, gas, oil, uranium, which humanity has used irrationally, and the pollution of the environment directs world powers to search for new sources of energy – such as renewable energy sources. In this case, solar energy has great potential, as it can be used to generate heat and electricity for hot water supply and heating. Solar energy is considered one of the most efficient sources of energy that can be used to heat a coolant, in particular water. This is not only an environmentally friendly way to obtain energy, but also an opportunity for significant savings on utilities. Modern technologies make it possible to use solar energy to heat water in private homes, hotels, swimming pools, industrial enterprises and other establishments. One of the options for heating water can be solar collectors (solar collectors), with the help of which it is possible to effectively meet the needs for hot water and heating without using traditional energy sources. Solar collectors are used for both seasonal and year-round operation of thermal power plants.

The article presents a comparative calculation of the energy efficiency of using single-circuit solar systems in thermal power plants for hot water supply and heating of premises for various purposes with calculations of the operation of boiler units that operate on natural gas. The calculation of the reduction of harmful emissions by more than 300 kg of harmful substances into the environment prevented environmental pollution. The use of a single-circuit solar system in a thermal power plant showed that the savings of 100 m³ of natural gas from all 210 m² of the collector will amount to UAH 167160 per year. The use of a single-circuit solar system in a thermal power plant allows: – to reduce the cost of thermal energy by reducing material consumption and equipment costs, to save organic fuel; to produce thermal energy; to reduce the heat load and environmental pollution. The automation system allows the thermal power plant to be controlled without human intervention.

Keywords: single-circuit solar system in a thermal power plant, private household, electricity, hot water supply, heating, organic fuel, thermal energy, heat load, environmental pollution, automation system, natural gas, equipment costs, energy efficiency, solar collectors.