

Ю. А. Селіхов, канд. техн. наук, професор, К. О. Горбунов, канд. техн. наук, професор,
А. М. Миронов, канд. техн. наук, доцент, М. В. Ільченко, канд. техн. наук, доцент,
К. В. Перемот

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: сонячна система, теплоенергетична установка, сонячна енергія, сонячні колектори, гаряче водопостачання, вимірювання теплової енергії, діагностика і надійність роботи установки, діагностика роботи енергетичного обладнання, опалення будинків, екологічна обстановка регіону, навколишнє середовище, довкілля, низькопотенційна енергія, полімерні матеріали, вартість однієї контурної сонячної системи, вітчизняні матеріали, закордонні матеріали, економічні показники, технологічний процес, основні параметри процесу, котли-дублери, органічне паливо, зарплата, автоматизація технологічного процесу.

Постановка задачі. Використовуючи високоякісні установки для перероблення сонячного випромінювання у тепло, кожен має можливість покрити до 70 % щорічної потреби в гарячій воді. Для приватних будинків в літній період можлива повна відмова від котельні та перехід до екологічного обладнання. На ринку сонячних колекторів ви знайдете такі види:

1. Безскляна низькотемпературна установка. Зазвичай їх використовують для підігріву води у басейнах. Панелі добре справляються з нагріванням води у великих об'ємах і з низьким температурним режимом. Такий тип не має великого попиту, адже він втрачає свою ефективність навіть при +20 °С.

2. Параболічна (концентрична) сонячна конструкція. Це ідеальний варіант для тих, кому потрібно нагріти воду вище 100 °С. Вони мало поширені через свої розміри, принцип дії та популярність у використанні. Підприємства, які використовують парову систему, зазвичай роблять індивідуальне замовлення відносно потреб та побажань клієнта.

3. Плоский колектор: 1. Найпоширеніший тип, який має невисоку вартість і популярність серед населення. Вони відрізняються між собою розмірами, форматами сторін, вагою та естетичним зовнішнім виглядом. Вся конструкція складається з теплоізованого короба, поверхні для поглинання випромінювання Сонця та мідних труб. Враховуючи особливості установки, їх рекомендують для сезонного використання через відсутність теплоізоляції верхньої лицьової сторони, яка виготовляється із скла [1].

Розглянемо систему з примусовою циркуляцією теплоносія, яка представлена на рис. 1.

У системах з примусовою циркуляцією в контур колекторного кола включається циркуляційний насос 3, який подає теплоносій в нижню частину колектора 1. Роботою насоса управляє спеціальний контролер. Під дією сонячних променів зовнішня поверхня колектора, яка має матовий чорний колір, нагрівається, і таким чином нагріває теплоносій, який знаходиться в колекторі. Напір циркуляційного насоса налаштований таким чином, що теплоносій піднімаючись доверху колектора має максимальну температуру теплоносія і направляється в бак-акумулятор 2.

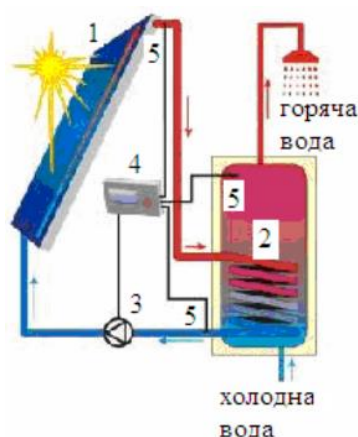


Рисунок 1 – Система з примусовою циркуляцією теплоносія:
1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер); 3 – циркуляційний насос;
4 – контролер (блок управління); 5 – датчики температури

2. Одноконтурна сонячна система складається з плоскокапілярних тонкоплівкових гнучких полімерних колекторів безнапірного типу спеціальної конструкції [2], в яких теплоносій рухається зверху вниз під дією сили тяжіння за похилою поверхнею у вигляді плівки рідини [3].

Схема плоскокапілярного тонкоплівкового гнучкого полімерного колектора безнапірного типу спеціальної конструкції, розташованого в прямокутному корпусі наведена на рис. 2.

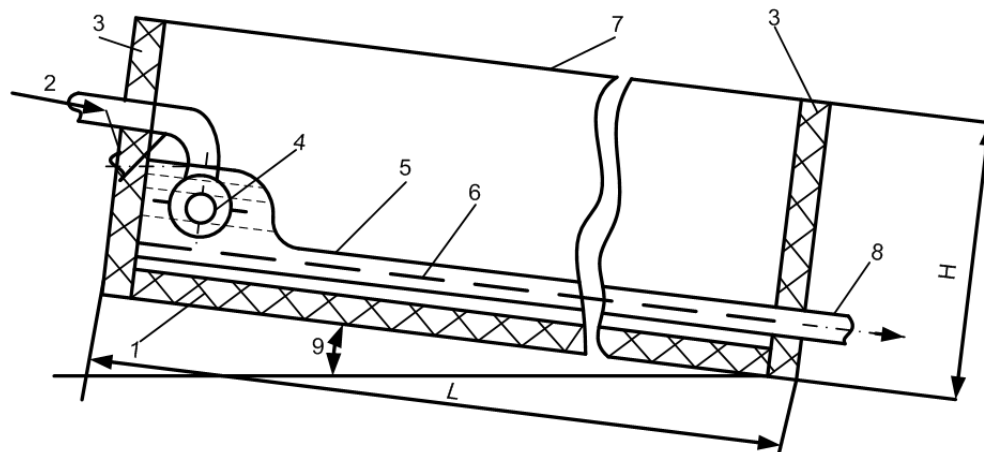


Рисунок 2 – Плоский сонячний колектор:
1 – основа корпусу; 2 – подача холодної води; 3 – бічні стінки корпусу; 4 – розподільна труба з отворами; 5 – гнучкий полімерний колектор; 6 – листовий матеріал із осередками; 7 – прозора огорожа-скло;
8 – зливна труба (вихід гарячої води); 9 – кут нахилу корпусу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

Застосування тонкоплівкових сонячних колекторів безнапірного типу з полімерної плівки дозволяє зменшити ризик втрати теплоносія за рахунок розриву сонячного колектора від надлишкового тиску, як показано на рис. 1. 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 °C), ніж колектор виготовлений з металу (63 °C) [4, 5]. 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 трубопровод 2 (див. рис. 2) і потрапляє у розподільчу трубу з отворами за всією шириною труби 4 [6]. Труба 4 розташовується в поліетиленовій панчосі шириною 1,5 м. Вода розтікається за всією шириною 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 (90 °C). Далі гаряча вода збирається в баках акумуляторів та подається циркуляційним насосом на необхідні потреби.

4. Трубчато-вакуумний колектор. Даний вид має унікальну конструкцію, де адсорбер поглинає сонячні промені та передає потік тепла мідними трубками. Їх використання можливе навіть взимку, завдяки відокремленню поверхні від зовнішнього повітря вакуумом [7].

Також для таких приладів характерна стійкість до механічних ушкоджень, універсальність та невибагливість. Споживач має змогу обрати для себе будь-яку бюджетну модель для застосування в класичних системах, що працюють під тиском. Кожен з вище перерахованих варіантів ідеально доповнить дизайн вашої оселі та забезпечить екологічною енергією будинок у теплу пору року та міжсезоння.

Переваги сонячних систем: сонячна енергія безкоштовна; тривалий термін експлуатації – 25 років; автономність (для літніх сонячних систем без використання електроенергії); низька собівартість отриманої теплової енергії; використовується екологічно чиста невичерпна енергія Сонця [8].

Таким чином застосування одноконтурної сонячної системи замість водогрійних котлів, працюючих на органічному паливі (природний газ, мазут, вугілля, деревні відходи і тощо) 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. Зробити фінансову оцінку передбачуваних витрат і одержуваного результату, оцінку прибутковості проекту, і економічної доцільності розробки і впровадження одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці, а також порівняльну оцінку вартості одноконтурної сонячної системи із вітчизняних матеріалів з вартістю системи із закордонних матеріалів.

Для точної оцінки економічної ефективності потрібно ретельно розглянути усі статті витрат і усі можливі економічні ефекти. Ці показники пов'язані із специфікою технологічного процесу [9].

Після модернізації конструкції одноконтурної сонячної установки для гарячого водопостачання і опалення приміщення та впровадження нової системи автоматизації, економічний ефект може бути досягнутий за рахунок відмови від органічного палива як енергоносія, так як у модернізованій схемі в якості дублера починає використовуватися електронагрівник. У свою чергу система автоматизації забезпечує контроль та регулювання основних параметрів процесу та дозволяє подовжити термін роботи устаткування та зменшити витрати на ремонт [10].

Виходячи із вище наведеного, економічний ефект можна отримати за рахунок:

- відмови від органічного палива як енергоносія;
- зменшення витрат на ремонт 10 %.

Розрахунок витрат на проектування

Зарплата розроблювачів визначається виходячи з кількості виконавців, що діють посадових окладів і кількості місяців участі в розробці. Розрахунок зарплати приводиться за [11] та представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунок заробітної плати розроблювачів

Посада виконавця	Оклад, грн/міс	Кількість, чол	Кількість, міс	Сумма з/п, грн
Старший науковий співробітник	10000	1	2	20000
Інженер	8000	1	3	24000
Всього, Σ				44000

Розрахунок витрат на розробку проекту зроблений за «трудовим» методом [12] і представлений у кошторисі витрат (див. табл. 2).

Таблиця 2 – Кошторис витрат на проектування

№	Найменування статей витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1	Зарплата розроблювачів	44000	з розрахунку
2	Відрахування на соціальні потреби	9680	22% від ст. 1
3	Разом прямих витрат	53680	Сума ст. 1 – 2
4	Накладні витрати	18788	35% від ст. 3
5	Планові накопичення	18117	25% від суми ст. 3, 4
6	Разом за кошторисом витрат	90585	Сума ст. 3 - 5
7	ПДВ	18117	20% від ст. 6
8	Разом витрати на проектування	108702	Сума ст. 6, 7

Розрахунок капітальних витрат підприємства

Склад капітальних витрат підприємства:

- витрати на проведення науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт (витрати на розробку проекту);
- вартість придбання, доставки, монтажу, налагодження приладів і засобів автоматизації.

$$K=Z_{об} + Z_{п} .$$

Вартість приладів і засобів автоматизації розраховують за специфікацією основного устаткування (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Специфікація основного устаткування

Тип прибору	Ціна, грн	Кількість, шт.	Сума, грн
Інтеграф-1100-07-04-1-С4-М0	7500	1	7500
Реле протоку РП	700	1	700
Сонячний колектор	25000	21	25000
Насос	6000	8	48000
Термоперетворювач ДТС.І025	400	1	400
Бак ємністю 4 т.	15000	4	60000
Модуль вводу ОВЕН МВА8	8500	1	8500
Контролер ОВЕН ПЛК 154	8000	1	8000
Установка хімводоочищення	7500	1	7500
Лічильник води ЕТК (W) – 80	600	2	1200
Разом за основним обладнанням – $C_{осн}$			166800

Вартість неврахованого у специфікації допоміжного обладнання – $C_{доп}$, грн, визначають у відсотках (8–10 %) від вартості основного обладнання $C_{осн}$, грн:

$$C_{доп} = 166800 \cdot 0,08 = 13344 .$$

Загальна вартість обладнання проекту – $C_{об}$, грн:

$$C_{об} = C_{осн} + C_{доп} = 166800 + 13344 = 180144 .$$

Загальні витрати на обладнання визначаються у відсотках $\Pi_{тм} = (15–20 \%)$ від загальної вартості обладнання, $Z_{об}$, грн:

$$Z_{об} = C_{об} \cdot \left(1 + \frac{\Pi_{тм}}{100}\right) = 180144 \cdot \left(1 + \frac{15}{100}\right) = 207165,6 ,$$

де $\Pi_{тм} = (15–20 \%)$ – процент видатків на транспортування, монтаж та наладку обладнання.

Загальна сума капітальних витрат підприємства становить, K , грн:

$$K=Z_{об} + Z_{п} = 207165,6 + 44000 = 251165,6 .$$

Розрахунок річних експлуатаційних витрат

1. Матеріальні витрати Z_m , грн, – витрати на електроенергію і допоміжні матеріали – 8 % від загальної вартості обладнання – $C_{об}$.

$$Z_m = C_{об} \cdot 0,08 = 180144 \cdot 0,08 = 14411,52.$$

2. Амортизація Z_a – 15 % , грн, від суми капітальних витрат підприємства K :

$$Z_a = K \cdot 0,15 = 251165,6 \cdot 0,15 = 37674,84.$$

3. Витрати на поточний ремонт Z_p – 10 % , грн, від загальної вартості обладнання $C_{об}$:

$$Z_p = C_{об} \cdot 0,1 = 180144 \cdot 0,1 = 18014,4.$$

4. Інші витрати $Z_{ін}$ – 5 % , грн, від витрат на обладнання $Z_{об}$:

$$Z_{ін} = Z_{об} \cdot 0,05 = 207165,6 \cdot 0,05 = 10358,28.$$

Загальна сума річних витрат за експлуатацію нової техніки, $Z_{експ}$, грн:

$$Z_{експ} = Z_m + Z_a + Z_p + Z_{ін} = 14411,52 + 37674,84 + 18014,4 + 10358,28 = 80459,04.$$

Розрахунок річної економії підприємства

Економія при зниженні прямих витрат.

Режимний фонд часу установки, год/рік:

$$T_{реж} = D_p \cdot N_{зм} \cdot T_{зм} = 153 \cdot 1 \cdot 24 = 3672,$$

де D_p – кількість робочих днів за рік - п'ять місяців – 153 доби; $N_{зм}$ – кількість змін за добу – 1; $T_{зм}$ – тривалість зміни – 24 години.

Плановий фонд робочого часу $T_{пл}$, год/рік, визначається з урахуванням часу планових простоїв технологічного обладнання в технічному обслуговуванні та ремонтах:

$$T_{пл} = T_{реж} \cdot \left(1 - \frac{\Pi_{пр}}{100}\right) = 3672 \cdot \left(1 - \frac{15}{100}\right) = 3121,2,$$

де $T_{пр}$ – час планових простоїв; $\Pi_{пр} = 15\%$ – процент планових простоїв обладнання.

Зробимо розрахунок економії коштів після відмови від органічного палива [13–15].

Для розрахунку економії коштів після відмови від природного газу як енергоно-

сія, спочатку визначимо витрати, грн, до модернізації установки, при наявності котла-дублера:

$$S_{\Gamma} = P_{\text{час}}^H \cdot K_{\text{ВД}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\Gamma},$$

де $P_{\text{час}}^H$ – погодинна витрата природного газу для котлів типу КВГ, м³/год; $K_{\text{ВД}}$ – коефіцієнт використання котла-дублера ($K_{\text{ВД}} = 0,4$); Π_{Γ} – ціна природного газу для населення ($\Pi_{\Gamma} = 7,96$ грн/м³).

$$S_{\Gamma} = P_{\text{час}}^H \cdot K_{\text{ВД}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\Gamma} = 90 \cdot 0,4 \cdot 3121,2 \cdot 7,96 = 894411,07.$$

Тепер визначимо витрати, грн, після модернізації установки при застосуванні в якості дублера – електронагрівника:

$$S_{\text{ЕЛ}} = W \cdot K_{\text{ВЕН}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\text{ЕЛ}},$$

де W – номінальна потужність електронагрівника – 20 кВт; $K_{\text{ВЕН}}$ – коефіцієнт використання електронагрівника ($K_{\text{ВЕН}} = 0,4$); $\Pi_{\text{ЕЛ}}$ – ціна на електроенергію для населення ($\Pi_{\text{ЕЛ}} = 4,62$ грн/кВт·ч).

$$S_{\text{ЕЛ}} = W \cdot K_{\text{ВЕН}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\text{ЕЛ}} = 20 \cdot 0,4 \cdot 3121,2 \cdot 4,62 = 115359,52.$$

Таким чином, економія, грн, після відмови від природного газу як енергоносія складе:

$$\Delta S_{\text{ЕЛ}} = S_{\Gamma} - S_{\text{ЕЛ}} = 894411,07 - 115359,52 = 779051,5$$

Економія при зниженні непрямих витрат.

При впровадженні системи автоматизації технологічного процесу за рахунок підтримки параметрів виробництва на оптимальному рівні знижується знос устаткування і зменшуються витрати на проведення ремонтів.

Річні витрати на ремонт, грн:

$S_{\text{рем ст}} = 12$ тис. грн.

$\Pi_{\text{рем}}$ – відсоток зниження річних витрат на ремонти ($\Pi_{\text{рем}} = 10\%$).

$$S_{\text{рем.н}} = S_{\text{рем.ст}} \cdot \left(1 - \frac{\Pi_{\text{рем}}}{100}\right).$$

$$S_{\text{рем н}} = 12000 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 10800.$$

Річна економія за рахунок зниження витрат на ремонт, грн:

$$\Delta S_{\text{рем}} = S_{\text{рем ст}} - S_{\text{рем н}} = 12000 - 10800 = 1200.$$

Фінансові результати впровадження системи

Загальна річна економія розраховується як сумарна економія за всіма факторами:

$$\Delta S = \Delta S_{\text{РЕМ}} + \Delta S_{\text{ЕЛ}},$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{РЕМ}} + \Delta S_{\text{ЕЛ}} = 1200 + 779051,5 = 780251,5.$$

Основний фінансовий результат визначається річним приростом балансового прибутку підприємства, грн/рік:

$$\Delta \Pi_{\text{рб}} = \Delta S - Z_{\text{ЕКС}} = 780251,5 - 80459,04 = 699792,46.$$

Балансовий прибуток обкладається податком на прибуток (25 %). Річний приріст чистого прибутку, грн/рік:

$$\Delta \Pi_{\text{рч}} = \Delta \Pi_{\text{рб}} \cdot \left(1 - \frac{H_{\text{П}}}{100}\right) = 699792,46 \cdot \left(1 - \frac{25}{100}\right) = 524844,35.$$

Строк окупності капітальних витрат, роки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta \Pi_{\text{рч}}}.$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{251165,6}{524844,35} = 0,48.$$

Коефіцієнт ефективності інвестицій $E = 2,4$. Результати техніко-економічного обґрунтування даної статті зведені в таблиці 4.

Отримані значення техніко-економічних показників говорять про те, що впровадження даної системи автоматизації технологічного процесу економічно доцільно.

Зробимо розрахунок економії коштів після відмови від мазуту як енергоносія (марка мазуту М – 100), який використовується в котлах-дублерах. Спочатку визначимо витрати, грн, до модернізації установки, при наявності котла-дублера, працюючого на мазуті:

Річна витрата енергоносія до модернізації, грн:

$$P_{\text{річ}} = P_{\text{год}} \cdot T_{\text{пл}} = 3,5 \cdot 3121,2 = 10924,2.$$

Витрати підприємства на енергоносії до модернізації, грн:

$$S_{\text{М}} = P_{\text{річ}} \cdot C_{\text{е}} = 10924,2 \cdot 10203 = 111459612,6,$$

де $C_{\text{е}} = 17900$ грн/т ціна за одиницю енергоносія (мазут). А було застосовано 0,57 т мазуту за п'ять місяців роботи системи – $C_{\text{е}} = 10203$ грн.

Тепер визначимо витрати, грн, після модернізації установки при застосуванні в якості дублера – електронагрівника, були визначені нами раніше :

$$S_{\text{ЕЛ}} = W \cdot K_{\text{ВЕН}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\text{ЕЛ}},$$

де W – номінальна потужність електронагрівника, 20 кВт; $K_{\text{ВЕН}}$ – коефіцієнт використання електронагрівника ($K_{\text{ВЕН}} = 0,4$); $\Pi_{\text{ЕЛ}}$ – ціна на електроенергію для населення – ($\Pi_{\text{ЕЛ}} = 4,62$ грн/кВт·ч).

$$S_{\text{ЕЛ}} = W \cdot K_{\text{ВЕН}} \cdot T_{\text{пл}} \cdot \Pi_{\text{ЕЛ}} = 20 \cdot 0,4 \cdot 3121,2 \cdot 4,62 = 115359,52.$$

Таким чином, економія, грн, після відмови від мазуту як енергоносія складе:

$$\Delta S_{\text{М}} = S_{\text{М}} - S_{\text{ЕЛ}} = 111459612,6 - 115359,52 = 111344253,1.$$

Далі зробимо розрахунок зменшення шкідливих викидів в довкілля від використання мазуту.

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. 5)

Таблиця 4 – Основні техніко-економічні показники

№ п/п	Найменування	Значення
1	Загальні витрати на обладнання, грн	166800
2	Витрати на проектування, грн	108702
3	Загальна сума капітальних витрат, грн	251165,6
4	Річні експлуатаційні витрати, грн	80459,04
5	Загальна річна економія:	894411,07
6	- на енергоносіях, грн	115359,52
7	- на ремонтах, грн	1200
8	Річний балансовий прибуток, грн	699792,46
9	Річний чистий прибуток, грн	524844,35
10	Коефіцієнт ефективності інвестицій	2,4
11	Строк окупності капітальних витрат, років	0,48

Розрахунок зменшення шкідливих викидів в довкілля після відмови від природного газу наведений в [16].

Порівняльну оцінку вартості одноконтурної сонячної системи, виготовленої із вітчизняних матеріалів, з вартістю системи, виготовленої із закордонних матеріалів, ми зробили наступним чином. Вартість одноконтурної сонячної системи виробництва Китаю – 49500 грн. за два м² колектора. Таким чином один м² колектора має вартість 24750 грн. Представлена нами одноконтурна сонячна система має 210 м² колекторів. Вартість колекторів китайського виробництва буде, грн:

$$S_K = 210 \cdot 24750 = 5197500 .$$

А вартість вітчизняних колекторів з українських матеріалів (21 колекторів площею 10 м² кожний), згідно табл.3 даної статті, коштує 25000 грн.

Таким чином економія коштів, грн.:

$$\Delta S_K = S_K - S_{UA} = 5197500 - 25000 = 5172500$$

Таблиця 5 – Питомі викиди шкідливих продуктів згоряння при факельному спалюванні органічного палива в енергетичних котлах [17]

Викиди M_i	Мазут, г/0,57т
Валовий викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа)	8,95
Валовий викид оксиду азоту (у перерахунку на діоксид азоту) NO_x	1,4
Валовий викид азоту оксиду N_2O	0,012
Валовий викид сірки діоксиду SO_2	11,04
Валовий викид неметанових легких органічних речовин (НМЛОС)	0,24
Валовий викид оксиду вуглецю CO	7,03
Валовий викид метану CH_4	0,064
Валовий викид діоксиду вуглецю CO_2	1,695
$\sum M_i$	30,43

Висновки. Після модернізації конструкції одноконтурної сонячної установки для гарячого водопостачання і опалення приміщення та впровадження нової системи автоматизації, економічний ефект був досягнутий за рахунок відмови від природного газу та мазуту як енергоносіїв, так як у модернізованій схемі в якості дублера був задіяний електронагрівник. У свою чергу система автоматизації забезпечила контроль та регулювання основних параметрів процесу та дозволила подовжити термін роботи устаткування та зменшити витрати на ремонт. У даному проекті строк окупності склав 0,48 року, що на сьогоднішній день можна вважати відмінним результатом. Застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці показало, що економія 600 літрів мазуту з усіх 210 м² колектора складе – 111344253,1 грн за п'ять місяців сезонного використання. Розрахунок зменшення шкідливих викидів в довкілля після відмови від використання мазуту, більш ніж на 30 г шкідливих речовин у навко-

лишнє середовище запобіг забрудненню навколишнього середовища. Зробивши порівняльну оцінку вартості одноконтурної сонячної системи з українських матеріалів та вартості колекторів китайського виробництва – маємо економію коштів – 5172500 грн.

Розрахунок економії коштів після відмови від природного газу як енергоносія, дав економію – 779051,5 грн.

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.

Отримані значення техніко-економічних показників говорять про те, що розробка й впровадження даного проекту економічно вигідна і доцільна.

Література

1. Мельник Л. Г., Маденко О. І., Терещенко С. В. Наукове обґрунтування підвищення техніко-економічної ефективності використання сонячної енергії. *Механізм регулювання економіки*. 2020. № 2 (88). С. 121–130.
2. Селихов Ю. А., Селихова Л. Ю., Селихова Н. В. Двоконтурна геліоводонагрівна установка. Патент України, № 64198 А, Бюл. № 2, 2004.
3. Yuri 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*. 2018. Vol. 70. P. 2053-2058.
4. Селихов Ю. А., Селихова Л. Ю. Полімерна композиція, Патент України, № 72078 А, Бюл. № 10, 2004.
5. Селихов Ю. А., Коцаренко В. О. Оценка эффективности теплоэнергетических показателей систем солнечного горячего водоснабжения. *Вестник НТУ "ХПИ"*. 2005. № 14. С. 37–41.
6. Селихов Ю. А. Геліоводонагрівник. Патент України, № 75178, Бюл. № 3, 2006.
7. Лисенко Л. І., Махотіло К. В., Косатий Д. М. Фактори впливу на ефективність сонячних колекторів та фотоелектричних панелей в Харківській області. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2013. № 59 (1032). С. 101–111.
8. Возняк О. Т., Янів М. Є. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів, 2010. № 664. С. 7–10.
9. Економіка підприємства : підручник / заг. ред.: Ковальської Л. Л., Крив'язюка І. В. Київ : Кондор, 2020. 700 с.
10. Тошинский В. І., Подустов М. А., Литвиненко І. І. та ін., Михайлов В. С., Молчанов В. І., Бабіченко А. К., Печенко Т. І., Красніков І. Л. Проектування систем автоматизації технологічних процесів : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2006. 412 с.
11. Лойко В. В., Макаровська Т. П. Економіка підприємства : навч. посіб. Київ : КНУТД, 2015. 267 с.
12. Бойчик І. М. Економіка підприємства : підручник. Київ : Кондор, 2016. 378 с.
13. Солімчук А. Е. Порівняльна оцінка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря при спалюванні різних видів палива. *Студентський вісник національного*

університету водного господарства та природокористування. 2019. Вип. 1 (11). С. 65–68.

14. Радченко А. М., Макарова О. В. Зменшення антропогенного навантаження газових котельних підприємств автоклавного виробництва будівельних матеріалів. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2012. № 5–6 (445). С. 87–92.

15. Лисак О. І., Андрєєва Л. О., Болтянська Л. О. Економіка підприємства : навч. посіб. Мелітополь : Люкс, 2020. 272 с.

16. Селіхов Ю. А., Горбунов К. О., Нагорний Е. Р. та ін. Пільник І. В., Рись В. Г. Моделювання процесу енергетичної ефективності роботи теплоенергетичної установи на базі сонячних колекторів з використанням програмування у прикладному середовищі MATHCAD. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2025. № 1. С. 12–24.

17. Паливно-енергетичні ресурси України : статистичний збірник / Державний комітет статистики України. Київ, 2001. 273 с.

Bibliography (transliterated)

1. Melnyk L. H., Matsenko O. I., Tereshchenko S. V. (2020). Naukove obgruntuvannya pidvyshchennia tekhniko-ekonomichnoi efektyvnosti vykorystannia soniachnoi enerhii. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky*, 2(88), 121–130.

2. Selykhov Yu. A., Selykhova L. Yu., Selykhova N. V. Dvokonturna heliovodonahrivna ustanovka. Patent Ukrainy, № 64198 A, Biul. № 2, 2004.

3. Yurii A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko (2018). The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 2053-2058.

4. Selykhov Yu. A., Selykhova L. Yu. Polimerna kompozytsiia, Patent Ukrainy, № 72078 A, Biul. № 10, 2004.

5. Selikhov Yu.A., Kotsarenko V.O. (2005). Otsenka effektivnosti teploenergeticheskikh pokazateley sistem solnechnogo goryachego vodosnabzheniya. *Vestnik NTU "KhPI"*, 14, 37–41.

6. Selykhov Yu. A. Heliovodonahrivnyk. Patent Ukrainy, № 75178, Biul. № 3, 2006.

7. Lysenko L. I., Makhotilo K. V., Kosaty D. M. (2013). Faktory vplyvu na efektyvnist so-niachnykh kolektoriv ta fotoelektrychnykh panelei v Kharkivskii oblasti. *Visnyk NTU «KhPI»*. 59 (1032), 101–111.

8. Vozniak O. T., Yaniv M. Ye. (2010). Enerhetychnyi potentsial soniachnoi enerhetyky ta perspektyvy yoho vykorystannia v Ukraini. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika»*. 664, 7–10.

9. *Ekonomika pidpriemstva : pidruchnyk* (2020). Kovalskoi L. L., Kryvaziuka I. V. (Ed.). Kyiv: Kondor. 700 p.

10. Toshinskiy V. I., Podustov M. A., Litvinenko I. I, Mihaylov V. S., Molchanov V. I., Babichenko A. K., ... Krasnikov I. L. (2006). *Proektuvannya system avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv: navch. posib*. Kharkiv: NTU «KhPI». 412 p.

11. Loiko V. V., Makarovska T. P. (2015). *Ekonomika pidpriemstva: navch. posib*. Kyiv: KNUTD. 267 p.

12. Boychik I. M. (2016). *Ekonomika pIdpriEmstva: pIdruchnik*. Kyiv: Kondor. 378 p.
13. Solimchuk A. E. (2019). Porivnialna otsinka vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povi-tria pry spaliuvanni riznykh vydiv palyva. *Studentskyi visnyk natsional-noho univer-sytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, 1(11), 65–68.
14. Radchenko A. M., Makarova O. V. (2012). Zmenshennia antropohennoho navantazhennia hazovykh kotelnykh pidpriemstv avtoklavnoho vyrobnytstva budivelnnykh materialiv. *Zbirnyk nau-kovykh prats NUK*, 5–6 (445), 87–92.
15. Lysak O. I., Andrieieva L. O., Boltianska L. O. (2020). *Ekonomika pidpriemstva : navch. posib*. Melitopol: Liuks. 272 p.
16. Selikhov Yu. A., Gorbunov K. O., Nagornyi E. R., Pilnyk I. V., Rys V. H. (2025). Modeliuvannia protsesu enerhetychnoi efektyvnosti roboty teploenerhetychnoi ustanovky na bazi soniachnykh kolektoriv z vykorystanniam prohramuvannia u prykladnomu seredovyshchi MATHCAD. *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*, 1, 12–24.
17. Palyvno-enerhetychni resursy Ukrainy: statystychnyi zbirnyk. (2001). Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy. Kyiv, 2001. 273 p.

УДК 662.997

Ю. А. Селихов, К. О. Горбунов, А. М. Миронов, М. В. Ильченко, К. В. Перемот

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Теплові електростанції (ТЕС) виробляють 60–80 % електроенергії в нашій країні. Вони працюють на твердому (вугілля), рідкому (мазут) або газоподібному (природний газ) паливі. ТЕС викидають у атмосферу коло 30 % загального обсягу всіх шкідливих промислових відходів. Вони істотно впливають на навколишнє середовище району їх розташування і на стан біосфери загалом. Тим часом, кожен з існуючих широко використовуваних типів енергоустановок спричиняє цілу низку різноманітних негативних впливів на навколишнє середовище.

Великомасштабне виробництво теплової енергії на сонячних електростанціях пов'язане з низькою густиною інсоляції (в середньому 1 кВт на 1 м²). Тому необхідна велика площа поверхні енергоприймачів – сонячних колекторів. Через значну вартість одиниці поверхні сонячних колекторів закордонного виробництва створення потужних сонячних електростанцій вимагає великих затрат. Виробництво сонячних колекторів з вітчизняних матеріалів буде значно дешевшим.

У цій статті представляємо фінансову оцінку передбачуваних витрат і одержуваного результату, оцінку прибутковості проекту, і економічної доцільності розробки і впровадження одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці, а також порівняльну оцінку вартості одноконтурної сонячної системи із вітчизняних матеріалів з вартістю системи із закордонних матеріалів.

Після модернізації конструкції одноконтурної сонячної установки для гарячого водопостачання і опалення приміщення та впровадження нової системи автоматизації, економічний ефект був досягнутий за рахунок відмови від природного газу та мазуту як

енергоносіїв, так як у модернізованій схемі в якості дублера був задіяний електронагрівник. У свою чергу система автоматизації забезпечила контроль та регулювання основних параметрів процесу та дозволила продовжити термін роботи устаткування та зменшити витрати на ремонт. У даному проекті строк окупності склав 0,48 року, що на сьогоднішній день можна вважати відмінним результатом. Застосування одноконтурної сонячної системи в теплоенергетичній установці показало, що економія 600 літрів мазуту з усіх 210 м² колектора складе – 111344253,1 грн за п'ять місяців сезонного використання. Розрахунок зменшення шкідливих викидів в довкілля після відмови від використання мазуту, більш ніж на 30 г шкідливих речовин у навколишнє середовище запобіг забрудненню навколишнього середовища. Зробивши порівняльну оцінку вартості одноконтурної сонячної системи з українських матеріалів та вартості колекторів китайського виробництва – маємо економію коштів – 5172500 грн.

Розрахунок економії коштів після відмови від природного газу як енергоносія, дав економію – 779051,5 грн.

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.

Отримані значення техніко-економічних показників говорять про те, що розробка й впровадження даного проекту економічно вигідна і доцільна.

Ключові слова: сонячна система, теплоенергетична установка, сонячна енергія, сонячні колектори, гаряче водопостачання, вимірювання теплової енергії, діагностика і надійність роботи установки, діагностика роботи енергетичного обладнання, опалення будинків, екологічна обстановка регіону, навколишнє середовище, довкілля, низькопотенційна енергія, полімерні матеріали, вартість одноконтурної сонячної системи, вітчизняні матеріали, закордонні матеріали, економічні показники, технологічний процес, основні параметри процесу, котли-дублери, органічне паливо, зарплата, автоматизація технологічного процесу.

Yu. A. Selikhov, K. A. Gorbunov, A. N. Mironov, M. V. Ilchenko, K. V. Peremot

CALCULATION OF RELIABILITY OF USING SOLAR COLLECTORS

Thermal power plants (TPP) produce 60–80 % of electricity in our country. They run on solid (coal), liquid (fuel oil) or gaseous (natural gas) fuel. Thermal power plants emit about 30% of the total volume of all harmful industrial waste into the atmosphere. They have a significant impact on the environment of the area where they are located and on the state of the biosphere as a whole. Meanwhile, each of the existing widely used types of power plants has a whole range of different negative impacts on the environment.

Large-scale production of thermal energy in solar power plants is associated with low insolation density (on average 1 kW per 1 m²). Therefore, a large surface area of energy receivers – solar collectors – is required. Due to the significant cost per unit surface area of foreign-made solar collectors, the creation of powerful solar power plants requires large expenditures. The production of solar collectors from domestic materials will be significantly cheaper.

er.

In this article we present a financial assessment of the expected costs and the obtained result, an assessment of the profitability of the project and the economic feasibility of the development and implementation of a single-circuit solar system in a thermal power plant, as well as a comparative assessment of the cost of a single-circuit solar system made of domestic materials with the cost of a system made of foreign materials.

After upgrading the design of a single-circuit solar installation for hot water supply and space heating and introducing a new automation system, an economic effect was achieved by refusing natural gas and fuel oil as energy sources, since an electric heater was used as a backup in the modernized scheme.

In turn, the automation system ensured control and regulation of the main process parameters and made it possible to extend the service life of the equipment and reduce repair costs. In this project, the payback period was 0.48 years, which can be considered an excellent result today. The use of a single-circuit solar system in a thermal power plant showed that savings of 600 liters of fuel oil out of a total of 210 m² collector will amount to 111344253.1 UAH for five months of seasonal income.

Calculation of the reduction of harmful emissions into the environment after refusing to use fuel oil by more than 30 g of harmful substances into the environment prevented environmental pollution.

Having made a comparative assessment of the cost of a single-circuit solar system made of Ukrainian materials and the cost of Chinese-made collectors, we have a savings of 5,172,500 UAH.

Calculation of savings after refusing natural gas as an energy source yielded savings of 779,051.5 UAH.

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 thermal load and environmental pollution.

The obtained values of technical and economic indicators indicate that the development and implementation of this project is economically beneficial and expedient.

Keywords: single-circuit solar system, thermal power plant, solar energy, solar collectors, hot water supply, measurements of thermal energy, diagnostics and reliability of the plant, diagnostics of power equipment, heating of buildings, ecological situation of the region, environment, low-potential energy, polymeric materials, cost of a single-circuit solar system, domestic materials, foreign materials, economic indicators, technological process, main process parameters, backup boilers, organic fuel, wages, automation of the technological process.