

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кравченко Єгор Володимирович

УДК 621.311.25:521.1

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Спеціальність 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Одеса 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України.

- Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Дубковський Вячеслав Олександрович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри атомних електростанцій.
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дорошенко Олександр Вікторович,
Одеська національна академія харчових технологій,
професор кафедри технічної термодинаміки.
- кандидат технічних наук, доцент
Новаковський Євген Валерійович,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут», доцент кафедри атомних електростанцій і
інженерної теплофізики.

Захист відбудеться 26 жовтня 2017 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.04 в Одеському національному політехнічному університеті, м. Одеса, просп. Шевченка, 1, ауд. 22 ТТЛ.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса, просп. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий « » вересня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., проф.

Г.А. Баласян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2035 р. зазначено, що в цей період найбільшими темпами планується збільшувати використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – їх частка у структурі загального первинного постачання енергії має збільшитися у 3,8 рази – з 6 % до 20 %. У всьому світі в даний час використовуються сонячні енергоустановки (СЕУ) для гарячого водопостачання (ГВП) та сонячні електростанції (СЕС) для виробництва електроенергії. У провідних промислово розвинених країнах, таких як США, Великобританія, Німеччина, прийняті державні програми для підвищення частки сонячної енергії в загальному енергобалансі. Найбільш простим і обґрунтованим є застосування СЕУ для ГВП. Фірми-виробники обладнання для СЕУ розробили рекомендації для проектування СЕУ для умов України. В них практично для всієї України наводиться одна величина інсоляції та один кут нахилу сонячних колекторів (45°). Це має бути підтверджено відповідними розрахунками для конкретних умов.

Дані за сонячною інсоляцією мають невизначеність. Так річна кількість енергії, що падає на горизонтальну поверхню в південних районах України - 1350 кВт·год/м², не може використовуватися як корисно передана теплоносію енергія. По якій питомій потужності колектора визначати необхідну площу, також залишається неясним. В літературі площа колекторів визначається для споживачів невеликої потужності залежно від кількості людей, що мешкають у будинку. Для установок великої потужності такі рекомендації некоректні. Таким чином, визначення необхідної площі сонячних колекторів (СК) продовжує залишатися важливим питанням. Недоліки в проектуванні приводять до того, що змонтовані СЕУ часом не задовольняють вимогам замовника.

Основним недоліком СЕУ є їх висока вартість та великий термін окупності.

Науково-технічне завдання, вирішуване в роботі, полягає в підвищенні ефективності СЕУ та удосконаленні методу співставлення енергоустановок, що надасть СЕУ більшої економічної привабливості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до Закону України «Про енергозбереження», за напрямком «Енергетична стратегія України на період до 2030 року" та у рамках держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України № 124-42 «Дослідження можливостей удосконалення сучасних енерготехнологій і подальшої модернізації основного та допоміжного обладнання АЕС" № Д/Р 0116U004924 (з 2016 р.), а також № 83-46 (№ Д/Р 0113U007796) «Підвищення ефективності використання природних ресурсів» (2012 р. по теперішній час).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності сонячних енергоустановок, що сприятиме їх більш широкому використанню.

Поставлена мета досягається вирішенням наступних завдань:

- аналіз стану розвитку і проблем, що стоять перед більш широким впровадженням сонячних енергоустановок, та визначення шляхів удосконалення енергозабезпечення за рахунок сонячних енергоустановок;
- удосконалення даних за інсоляцією для півдня України на прикладі м. Одеса за експериментальними даними метеостанції на даху ОНПУ;
- розробка критерію оптимізації та співставлення енергоустановок з урахуванням екологічної складової приведених витрат;
- розробка математичної моделі теплових процесів в елементах СЕУ для ГВП;
- розробка критерію пошуку найкращих параметрів сонячних установок, а також пошук раціональних значень кута нахилу сонячних колекторів і коефіцієнта заміщення традиційних видів енергетики;
- розробці методу врахування динаміки енергоспоживання при проектуванні СЕУ для гарячого водопостачання;
- техніко-економічне обґрунтування використання напівпровідникової СЕС у якості резервного автономного джерела для забезпечення відповідальних споживачів атомної станції при знеструмленні.

Об'єкт дослідження: сонячна система енергозабезпечення промислових та індивідуальних споживачів.

Предмет дослідження: теплові процеси, що проходять в елементах сонячних енергоустановках та техніко-економічний аналіз енергоустановок.

Методи дослідження: математичне моделювання теплогідрравлічних процесів в обладнанні СЕУ, що дозволяє визначити взаємозв'язок параметрів і показників ефективності; розрахунок теплових схем паротурбінних установок, що дозволив визначити техніко-економічні показники баштової СЕС; техніко-економічна оптимізація схем і параметрів енергоустановок, що дозволила вибрати найкращі параметри СЕУ; методи математичної статистики та теорії ймовірності для обробки інформації за значеннями інсоляції.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше запропоновано при співставленні енергоустановок враховувати податок на вживання кисню, запропоновано метод визначення та визначено ставку податку;
- удосконалено метод техніко-економічного зіставлення та пошуку найкращих параметрів енергоустановок, що полягає в розрахунку екологічної складової приведених витрат з додатковим урахуванням податку за викиди CO₂ у відповідності за Кіотським протоколом;
- запропоновано метод науково-технічного обґрунтування вибору коефіцієнта заміщення

резервного джерела енергії альтернативним;

- удосконалено метод проектування СЕУ для гарячого водопостачання з врахуванням динаміки споживання гарячої води;

Практичне значення отриманих результатів:

- визначені уточненні значення середньомісячних і середньорічної інсоляції в м. Одесі, що дозволяє адекватно проектувати СЕУ для конкретних об'єктів, техніко-економічні показники яких будуть відповідати проекту;

- отримані оптимальні значення кута нахилу сонячних колекторів для умови півдня України, що підвищує ефективність використання СЕУ;

- розроблено методику визначення потужності СЕУ для відомого значення потужності тепло користувача і отримано оптимальне значення коефіцієнта заміщення від СЕУ;

- уточнено методику техніко-економічного обґрунтування для СЕУ за рахунок врахування екологічної складової приведених витрат, що забезпечує отримання більш прийнятних значень техніко-економічних показників СЕУ і їх більш широке застосування;

- запропоновано у якості резервного джерела надійного живлення відповідальних споживачів атомних електростанцій використовувати напівпровідникову сонячну електростанцію. Доведена економічна доцільність цієї пропозиції, яка до того ж має підвищити показники безпеки АЕС.

Впровадження результатів роботи. Отримані в дисертації результати, використовуються у виробничій діяльності ТОВ «Центр тепла та комфорту». Розроблені методи і результати використовуються в навчальному процесі у ОНПУ, про що є відповідні акти.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та натурні дослідження виконані автором самостійно. Наукова робота [2] виконана автором самостійно. У роботах [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8], написаних у співавторстві, автору належать участь у виборі наукового напрямку, обґрунтуванні методології досліджень, а також в аналізі результатів. Розробка математичних моделей, проведення розрахунків та обробка результатів проводилися самостійно.

Апробація результатів дисертації пройшла на: 2-й Міжнародній літній ядерній школі, Одеса 2012, 19.06-29.06; Третій міжнародній науково-технічній конференції "Підвищення безпеки та ефективності атомної енергетики», 24-28 вересня 2012 р., м Одеса, Україна; Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційний розвиток галузевої автоматизації, інформаційної та енергозберігаючої технологій - 2013. Сучасний стан, проблематика і перспективи. - Москва, Національний дослідницький технологічний університет «МИСиС», 20 грудня 2013.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в наукових журналах і в збірниках наукових праць - 8 статей (4 статей у провідних енергетичних науково-технічних журналах, що

знаходяться в списку ВАК України, дві статті у науково-технічних журналах переліку ВАК, що входять до наукових баз даних), дві статті в матеріалах наукових конференцій (один у збірнику статей закордонної Міжнародної науково-практичної конференції).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатку. Робота представлена на 167 стор., включаючи анотацію на 7 стор., 17 рис. на 7 стор., 19 таблиць на 13 стор., 3 додатки на 20 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі приведена загальна характеристика роботи, обґрунтування її актуальності, сформульована мета і завдання дослідження, приведені наукові і практичні результати і положення, що виносяться на захист.

У першому розділі проаналізовано стан розвитку і проблеми сонячної енергетики. СЕУ вирішують задачу зменшення викидів парникових газів та зменшують залежність від постачання палива. Проектування СЕУ вимагає знання інсоляції в регіоні. Спостереження за кліматом показують, що клімат змінюється в бік збільшення температури. Тому значення інсоляції вимагають уточнення.

Виробництво електроенергії здійснюється на теплових (ТЕС) та напівпровідникових сонячних електростанціях (НЕС). ТЕС на цей час мають перевагу через більший ККД, але ця перевага швидко зменшується через зростання ефективності фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Питомі капітальні вкладення у СЕС вже зменшилися до рівня АЕС. Щоб СЕС успішно конкурували з АЕС їх вартісні показники мають бути знижені в декілька разів.

Важливою проблемою людства є споживання кисню в процесі використання органічного палива. Треба економити цю важливішу для людства речовину.

На підставі проведеного аналізу сформульована мета і визначені основні задачі подальшого дослідження.

Розділ 2 призначено визначенню інсоляції у м. Одеса. Карта України в залежності від значення річної інсоляції поділена на чотири зони (I зона 1350 кВт·год/м², II зона 1250 кВт·год/м², III зона 1150 кВт·год/м², IV зона 1000 кВт·год/м²). Ці зони достатньо великі, тому приведені значення потребують уточнення. Для аналізу були використані дані за інсоляцією, отримані метеостанцією Davis 6162EU, яка встановлена на даху ОНПУ. Було проаналізовано дані з березня 2012 по вересень 2015 р. Усереднення проводилося за відповідними годинами та днями різних років. Результати розрахунків приведені в табл. 1. Отримано середньорічне значення інсоляції $1242,48 \pm 18,9$ кВт·год/м².

Порівняння замірених значень теплового потоку з наведеними в літературі показало, що замірени дані менші за теоретичні на 4,3 %. Замірени дані в літні місяці вищі за наведені в

літературі, а в зимні місяці та у березні - нижчі. Максимальна відмінність була в лютому (на 49%) та в листопаді (на 46%). Отже, інсоляція збільшується лише в літні місяці.

Таблиця 1 - Середньо добові значення інсоляція у м. Одеса, кВт·год/м²

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Черв.
Інсоляція	0,756	1,414	2,931	4,580	5,757	6,064
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Інсоляція	6,059	5,470	4,006	2,149	0,959	0,659

Розділ 3 присвячено розробці критерію співставлення енергоустановок з урахуванням екологічної складової річних приведених витрат:

$$Z = I + E_n \cdot K = I_{\text{пал}} + 1,2 I_{\text{зп}} + 0,1992 \cdot K + I_{\text{екол}}, \quad (1)$$

де I - річні витрати виробництва, які включають витрати на паливо, персонал і капітальну та екологічну складову:

$$I = I_{\text{п}} + I_{\text{перс.}} + I_{\text{к}} + I_{\text{екол}}, \quad (2)$$

$$I_{\text{к}} = p_a K + I_{\text{п.в.}}, \quad (3)$$

де p_a , K - коефіцієнт амортизації, $p_a = 6-8\%$, та вартість установки;

$I_{\text{п.в.}}$ - щорічні витрати на поточний ремонт (10-20 % від амортизаційних відрахувань).

Витрати на персонал:

$$I_{\text{перс.}} = I_{\text{зп}} + I_{\text{пр}} = n \cdot N \cdot \Phi_{\text{сер}} + I_{\text{пр}} = 1,2 I_{\text{зп}} + 0,22 p_a K. \quad (4)$$

де $I_{\text{зп}}$ - річна заробітна плата;

$I_{\text{пр}}$ - інші загально станційні витрати (20-30% сумарних витрат на амортизацію, поточний ремонт і заробітну плату);

n , N - штатний коефіцієнт (люд./МВт) і встановлена потужність (МВт);

$\Phi_{\text{сер}}$ - середня заробітна плата одного працівника за рік;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_n = 0,12$.

Екологічною складовою ефективності проекту є економічний збиток від забруднення навколишнього середовища. Величину збитку характеризує сума екологічних витрат:

а) вартість втрачених або погіршених природних ресурсів $P_{\text{кр}}$;

б) витрати на ліквідацію негативних наслідків і відновлення якості навколишнього середовища (плата за викиди) $P_{\text{вик}}$;

в) упущена вигода та інші збитки.

До наведеного переліку запропоновано додати плату за використання кисню $P_{\text{кис}}$.

Виходячи з вищенаведеного та враховуючи взаємозалежність багатьох складових, запропоновано екологічну складову витрат визначати як:

$$I_{\text{екол}} = P_{\text{вик}} + P_{\text{кис}} \quad (5)$$

де $P_{\text{вик}}$ – плата за викиди;

$P_{\text{кис}}$ – плата за використання кисню.

Сума податку за викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення обчислюється як:

$$P_{\text{вик}} = \sum (M_i \cdot H_{\text{пі}}), \quad (6)$$

де M_i - обсяг викиду i -ої забруднюючої речовини, т;

$H_{\text{пі}}$ – ставка податку за викид i -ої забруднюючої речовини, грн./т.

Відповідно CO_2 треба відмітити, що згідно Кіотському протоколу треба платити за викиди парникових газів (CO_2) у розмірі 10-20 €/т. Прийнято 20 \$/т CO_2 . Таким чином, пропонується при виборі варіантів враховувати ціну за викиди згідно Податковому кодексу України та Кіотському протоколу.

Використання кисню сьогодні не регламентується. Але в недоліках використання органічного палива цей фактор обов'язково відмічається. Тому при порівняльному аналізі пропонується враховувати плату за кисень. Платіж за використання кисню має бути еквівалентом відновлення його витраченої кількості. Тобто за найбільш доступною технологією, якою є фотосинтез. З одного гектару соснових насаджень за один рік утворюється в середньому 10,5 т O_2 . Посадку та проведення робіт в лісі здійснюють лісгоспи. Тому вартість кисню може бути оцінена витратами цього підприємства. В результаті обробки інформації було отримано, що лісове господарство, в яке входить 63564 га площі під лісом, має річний бюджет 2,807 млн. \$ на відновлення та підтримання стану лісу. Таким чином, собівартість виробництва кисню лісом може бути оцінена у 45,54 грн./т=1,82 \$/т.

Проведено розрахунок витрати на ГВП у котельних та СЕУ. Пропозиції враховувати плату за викиди CO_2 додатково за Кіотським протоколом та враховувати плату за використання кисню підвищують приведені витрати на 8,91 %. Приведені витрати при використанні котельної на газі в 1,68 разів менші, ніж використання СЕУ.

Порівняємо приведені витрати для ТЕС та ТСЕС. Для ТСЕС була обрана турбоустановка малої потужності К-12-3,4. В результаті розрахунку теплової схеми отримано абсолютний електричний ККД 30,9 %. Для сучасної ТСЕС баштового типу «Ivanpah» (США) питома вартість складала 5612 \$/кВт. Згідно проведеним розрахункам коефіцієнт використання

встановленої потужності (КВВП) для неї дорівнює $\mu=15,4\%$. За рік ТЕСС потужністю 12 МВт виробить $8094 \cdot 10^3$ кВт·год.

Для отримання такої кількості електроенергії на ТЕС знадобиться $3,843 \cdot 10^6$ кг вугілля.

Співставлення вартісних показників ТЕС та ТЕСС показало, що ТЕС навіть на вугіллі є більш вигідним підприємством: приведені витрати на ТЕС у 6,2 рази менші, ніж для ТЕСС.

В роботі запропоновано та проаналізовано використання напівпровідникової СЕС (НЕСС) в якості резервного джерела для АЕС при знеструмленні. Причиною аварії АЕС «Фукушіма» стала відсутність енергопостачання в результаті пошкодження дизель-генераторів (ДГ) цунамі. Виходячи з аналізу ситуації на українських АЕС, відсутність автономного живлення при знеструмленні АЕС приведе до аналогічних наслідків.

В результаті аналізу, проведеного на АЕС, був визначений необхідний мінімум насосів. З урахуванням пускових струмів потужність резервного джерела має бути ~ 2 МВт.

Сучасні ФЕП мають ККД - 15,4 %. Так батарея площею $1,681 \text{ м}^2$ має пікову потужність 260 Вт при вартості 338 \$. Добова продуктивність ФЕП площею 1 м^2 дорівнює $q_{\text{мод}} = 0,928$ кВт·год/доба. Тривалість забезпечення електропостачання від НЕСС прийнята три доби. Можливість низької інсоляції в момент аварії компенсується установкою лужних акумуляторів ємністю 200 А·год. кожний. Для зниження ємності акумуляторів передбачається частотне регулювання насосів зі зниженням залишкового тепловиділення (ЗТ) реактора з часом. Апроксимація даних за ЗТ ступеневою функцією дала наступне рівняння:

$$Q_{\beta\gamma} = 413,08 \cdot t^{-0,279}, \text{ МВт} \quad (7)$$

де t – час після зупинки реактору, с.

Кількість енергії, яку треба відвести від активної зони за три доби, визначиться інтегруванням функції (7): 1272,46 МВт·год. Через 15 с після зупинки реактора його потужність дорівнює 194,05 МВт. У цей момент часу потужність насосів має бути 1,75 МВт. Необхідна кількість енергії для приводу насосів та необхідна ємність акумуляторів дорівнює 11,475 МВт·год.

Кількість енергії, що виділилася в реакторі протягом доби, дорівнює 575,68 МВт·год. Для відводу цієї енергії потрібно $5,18$ МВт·год. електрики. Сумарна площа ФЕП має бути 6698 м^2 , а пікова потужність НЕСС - 1034 кВт. Ціна ФЕП визначається, виходячи з 1,17 \$ за 1 Втп. Загальна вартість ФЕП: $1,212 \cdot 10^6$ \$; акумуляторів: $2,177 \cdot 10^6$ \$. Вартість інвертора оцінюється у 0,1 \$/Втп. Вартість засобів контролю - 0,2 \$/Втп. Загальна вартість НЕСС з урахування монтажу складе $4,013 \cdot 10^6$ \$. Питомі капітальні вкладення $4,013 \cdot 10^6 / 1036 = 3873$ \$/кВт. Відпуск електроенергії $2,257 \cdot 10^6$ кВт·год/рік.

Річні витрати на виробництво електроенергії складаються з амортизації (15 % вартості

ПСЭС), зарплати, загально станційних витрат: $0,730 \cdot 10^6$ \$. Собівартість складе $0,323$ \$/кВт·год. Зелений тариф на електроенергію СЕС з 1.01.2016 р. дорівнює $9,42-12,45$ грн./кВт·год = $=0,3768-0,498$ \$/кВт·год. Виходячи з цього термін окупності дорівнює

$$T_{\text{ок}} = \text{Вартість НСЕС/Прибуток} = 31,7-10,15 \text{ років.}$$

Таким чином отримано, що використання НСЕС окрім того, що підвищує безпеку, виявляється економічно прийнятним.

Розділ 4 присвячено розробці математичної моделі теплових процесів в елементах СЕУ для ГВП та визначенню залежності вартості СЕУ від потужності. Розрахунок ведеться відповідно схеми рис. 1.

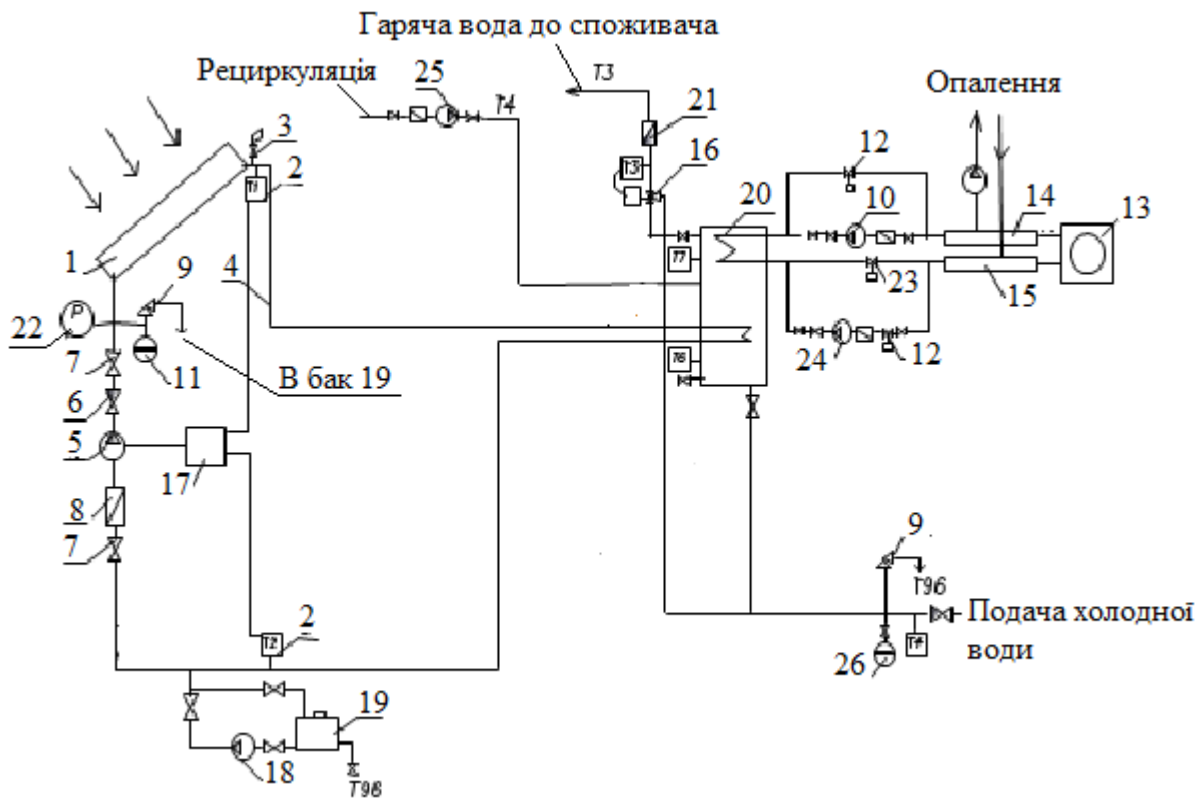


Рис.1. Типова тепла схема сонячної установки для гарячого водопостачання

Вихідні дані: середньодобова інсоляція 3740 Вт·год./($\text{доба} \cdot \text{м}^2$); ціна на газ $3,5$ грн./ м^3 ; середня температура холодної води 10 °С; температура гарячої води 50 °С; тривалість світлового дня 12 год.; довжина магістрального трубопроводу 25 м; об'єм теплоносія у емкісному водонагрівачі (ЄВН) 8 л; температура після СК 60 °С.

Визначено площу і вартість СК, характеристики ЄВН (300 л), магістрального трубопроводу (внутрішній діаметр 10 мм), об'єм мембранного розширювального баку для теплоносія 12 л, для нагріваючої води 50 л; опір контуру теплоносія при витраті $Q = 107$ л/год. дорівнює $H = 0,76$ м в.с.

У результаті отримано, що загальна вартість обладнання для СЕУ продуктивністю 300 л/доба гарячої води складає 37088 грн., продуктивністю 500 л/доба - 51331 грн., для СЕУ на 750 л/доба - 74765 грн. З аналізу отриманої залежності питомої вартості СЕУ від продуктивності по гарячій воді можна зробити висновок, що питома вартість СЕУ при збільшенні потужності більше 500 л/доба практично не змінюється і дорівнює 100 грн./л..

Розділ 5 призначено розробці критерію пошуку найкращих параметрів СЕУ, а також визначенню раціональних кута нахилу СК і коефіцієнта заміщення традиційного палива для умов м. Одеса. Раціональним кутом нахилу колектора будемо рахувати кут, який забезпечує максимальну кількість теплоти, передану теплоносію за визначений відрізок часу. Маючи дані по прямому H_B і розсіяному H_D випромінюванню, що падають на горизонтальну поверхню залежно від широти місцевості, були визначені відповідні дані для широти м. Одеса. Величина питомого теплового потоку q' , Вт/м², який падає на похилу поверхню СК в кожну годину безхмарного дня:

$$q' = H_B \frac{\cos(\phi - s) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi - s) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)} + H_D = H_B \cdot \kappa(\phi, s, \delta, \omega) + H_D, \quad (8)$$

де ϕ — широта місцевості;

s — кут нахилу плоскості сонячного колектора до горизонту;

δ — схилення;

ω — годинний кут, $\omega = 0$ в полудень для СК, орієнтованих на південь; через кожну годину ω змінюється на 15° зі знаком плюс (з 12 годин до ранку) чи мінусом (з 12 годин до вечору);

$\kappa(\phi, s, \delta, \omega)$ — кутовий коефіцієнт, який залежить від перерахованих кутів.

Питомий тепловий потік q , Вт/м², переданий в систему гарячого водопостачання в кожну годину дня, визначається за формулою:

$$q = q' \cdot \eta_0 \cdot \eta_K \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (9)$$

де η_0 — коефіцієнт, який враховує реальні умови хмарності;

η_K — ККД СК. При різниці температур теплоносія в колекторі та навколишнього повітря 20...50 °С ця залежність наступна

$$\eta_K = 0,82 - 0,007 \cdot (t_K - t_0) \quad (10)$$

t_K — температура підігрітої в СК води, а t_0 — температура навколишнього повітря (приймається за довідником);

η_1 — враховує прозорість атмосфери, в курортній зоні $\eta_1 = 1$;

η_2 — враховує втрати тепла від СК до споживача, прийнято $\eta_2 = 0,98$;

η_3 — враховує втрати при нестационарному теплообміні при мінливій хмарності, $\eta_3 = 0,9$.

Значення загального ККД ($\eta = \eta_0 \cdot \eta_k \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$) залежить від місяця (табл. 2).

З залежності кількості теплоти, переданої споживачеві, від кута нахилу СК для теплої половини року (рис. 3) слідує, що максимальна кількість теплоти відповідає куту нахилу 25° .

Таблиця 2 - Значення загального ККД передачі теплоти користувачу

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
η	0,234	0,274	0,343	0,361	0,419	0,466
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
η	0,505	0,500	0,434	0,382	0,303	0,224

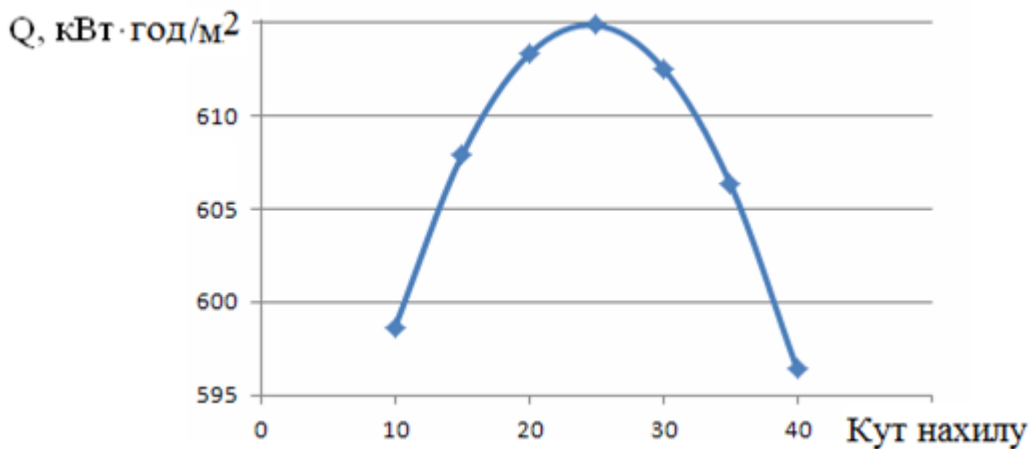


Рис. 3. Залежність кількості теплоти, переданої гарячій воді за теплу половину року, від кута нахилу сонячного колектора

Розглянемо залежність отриманої кількості теплоти від кута нахилу за весь рік. В результаті аналізу отриманих результатів визначено, що раціональний кут нахилу при цілорічній експлуатації СЕУ лежить в діапазоні $38-40^\circ$ при цьому $q_{\text{рік}} = 925,4$ кВт·год. Загальний ККД передачі теплоти при цьому дорівнює $38,0\%$.

Зупинимося на визначенні площі плоских СК для систем ГВП в залежності від режиму роботи. Під номінальною (максимальною) потужністю СЕУ розумітимемо середньодобову теплову потужність, що відпускається в липневий день.

За техніко-економічний критерій оптимізації енергетичних установок зазвичай приймаються річні приведені витрати з урахуванням екологічної складової. Метою розділу є розробка методу пошуку найкращих параметрів і визначення площі СК для заданого споживача в залежності від тривалості роботи СЕУ.

Максимальна кількість енергії, передана теплоносію протягом теплої половини року, відповідає куту 25° . Прийmemo, що необхідна теплова потужність ГВП буде забезпечуватися

СЕУ в липні, тобто $q_{\text{потр}} = q_7 = 3,85$ кВт·год/(м²·доба). Тоді частка необхідної енергії, що забезпечується СЕУ за півроку, дорівнює:

$$\varepsilon = \sum_1^6 q_i^{\text{mic}} / (q_{\text{потр}}^{\text{mic}} \cdot 6) \quad , \quad (11)$$

де $\sum_1^6 q_i^{\text{mic}}$ - сумарна кількість теплоти, яку забезпечує СЕУ за півроку;

$q_{\text{потр}}^{\text{mic}}$ - місячна кількість теплоти, яка потрібна споживачу.

Решта потрібної кількості теплоти має забезпечуватися паливом, наприклад, природним газом:

$$q_{\text{пг}} = q_{\text{потр}} \cdot (1 - \varepsilon) \quad (12)$$

Потрібна кількість природного газу $g_{\text{пг}} = q_{\text{пг}} / (Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot \eta_{\text{котла}})$, при $Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 35$ МДж/м³, вартості $C_{\text{пг}} = 0,56$ \$/м³; $\eta_{\text{котла}} = 89,8$ % - ККД котла.

Визначимо розрахункові приведені витрати. Прийнято використання плоских СК. Питома вартість колектора складає $K = 206$ \$/м².

Річні витрати складаються з вартості витраченого газу, електроенергії на привід насосу та екологічного податку за викиди шкідливих речовин. Враховуючи низьку витрату електроенергії, витратами на електроенергію можна знехтувати.

Таким чином: $I_{\text{екол}} = g_{\text{пг}} \cdot 0,0393$ \$.

Проведемо розрахунок зміни розрахункових приведених витрат в залежності від потужності (площі) СЕУ. За півроку необхідно виробити 704,6 кВт·год. Частка енергії, яка отримана від сонця: $\varepsilon = 615,6 / 704,6 = 0,874$.

Додаткова кількість енергії, яка отримується від котла:

$$Q_{\text{пг}} = 704,6 (1 - 0,874) = 89,019 \text{ кВт·год.}$$

Відповідна кількість природного газу 10,196 м³. Експлуатаційні витрати: $I = 10,196 \cdot (0,56 + 0,0393) = 6,11$ \$. Річні приведені витрати: $Z = 0,15 \cdot 206 + 6,11 = 37,0$ \$.

Збільшення долі сонячної енергії в балансі вжитку досягається збільшенням площі СК. Розглянемо випадок, коли СЕУ забезпечить необхідну потребу в червні. Необхідна площа колектора буде рівна:

$$F_{\text{ск}} = \frac{q_7^{\text{сп.сум}}}{q_6^{\text{сп.сум}}} = \frac{3850,3}{3740,667} = 1,029 \text{ м}^2.$$

При цьому корисна кількість теплоти в кожному місяці збільшиться в 1,029 разів. Надлишки теплоти, вироблені в липні, не будуть використані. Доля теплоти, що забезпечується

СЕУ, складе 0,894. Подальші розрахунки ідентичні.

На рис. 4 приводиться залежність річних приведених витрат від частки потрібної енергії, яка забезпечується СЕУ (коефіцієнта заміщення).

З аналізу приведених даних слідує, що раціональний коефіцієнт заміщення при експлуатації протягом теплої половини року дорівнює 89,4 %. Цій частці відповідає потужність СЕУ, яка повністю забезпечує теплоспоживача при інсоляції в червні. Відмітимо, що при зміні вартості викидів CO₂ от 20 до 60 \$/т значення раціональної потужності не змінюється.

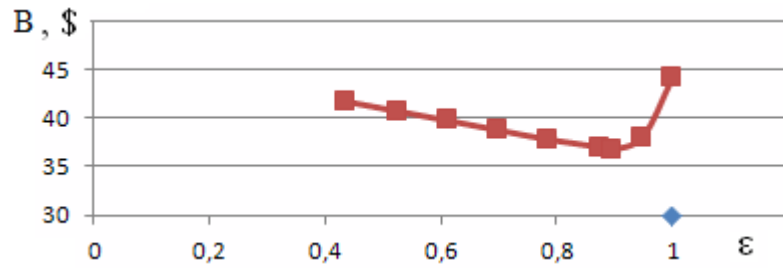


Рис. 4. Залежність річних приведених витрат від частки енергії, яка забезпечується сонячною установкою (коефіцієнта заміщення)

У табл. 3 наводиться отримана залежність річних приведених витрат від долі споживаної енергії, яка забезпечується СЕУ, або від середньодобової корисної енергії, що отримується в різні місяці року. Приведений в табл. 5 коефіцієнт показує, як визначається площа СК. При $k=1$ площа СК визначається як потужність споживача, що ділиться на питому корисну енергію, яка отримується від 1 м² СК в липні. Коефіцієнти, менші одиниці, показують, що площа СК визначена, як відповідна доля від розрахованої по липневій питомій корисній енергії.

Таблиця 3 - Залежність питомих річних приведених витрат (\$/м²) від долі споживаної енергії, яка забезпечується сонячною установкою

Коеф., к	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,022	1,128	1,347
Частка, ε	0,353	0,424	0,494	0,565	0,636	0,706	0,719	0,768	0,830
Прив. витрати	606,7	579,9	553,1	526,2	499,4	472,5	468,6	459,7	468,5

З аналізу приведених в табл. 3 даних слідує, що раціональна частка енергії, яка забезпечується СЕУ, яка відповідає мінімальним приведеним витратам при експлуатації протягом всього року, дорівнює 76,8 %. Цьому коефіцієнту заміщення відповідає потужність СУ, яка повністю забезпечує теплоспоживача при інсоляції в травні.

Розділ 6 присвячено розробці методики врахування динаміки споживання гарячої води при проектуванні СЕУ великої потужності для ГВП. Використання бівалентних установок (що використовують два джерела енергії: сонце і звичайне паливо) згладжує недоліки використання тільки СЕУ.

Якщо в індивідуальних СЕУ застосовуються ємкісні водонагрівачі, то особливістю установок великої потужності є наявність бака-акумулятора гарячої води великої ємності. Тобто, ЄВН замінюється на швидкісний теплообмінник і бак-акумулятор, що у результаті є дешевшим. Об'єм ємності для гарячої води повинен відповідати добовій або більшій потребі.

Аналіз наявних схем для СЕУ великої потужності виявив їх недоліки відносно динамічних характеристик. Вони не забезпечують потреби, що періодично змінюється. У літературі вказується необхідність урахування при проектуванні режиму споживання, але яким чином враховувати цей чинник не ясно. Тому була поставлена мета - розробка схеми СЕУ, що забезпечує потреби з врахуванням режиму споживання, і методу обґрунтування доцільності використання такої схеми.

У монографії Танаки С. і Суді Р. пропонується для вирішення завдання динамічного забезпечення споживача використовувати бак оперативної витрати (БОВ), рис. 5, що має значно менший об'єм, ніж бак-акумулятор (БА) або буферна ємність.

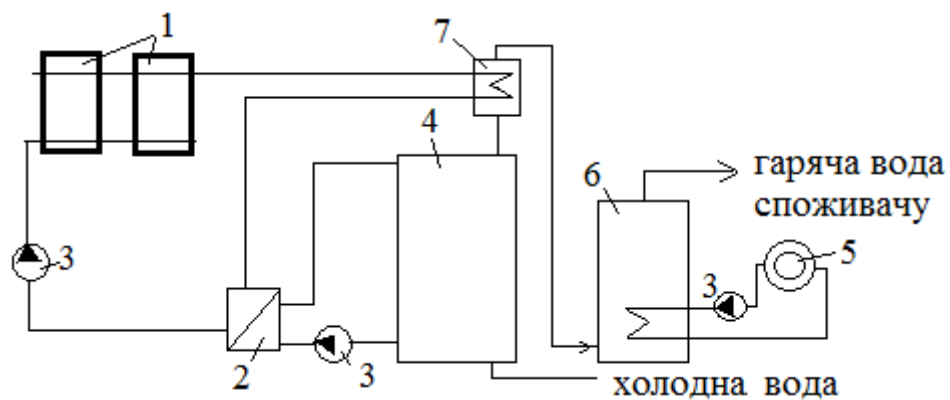


Рис. 5. Схема СЕУ з більш високими динамічними характеристиками:

- 1 – СК; 2 – швидкісний нагрівач; 3 – циркуляційний насос; 4 – бак-акумулятор; 5 – котел;
6 – ємкісний водонагрівач від котла; 7 – бак оперативної витрати

Нагрітий в СК теплоносій проходить спочатку через БОВ (7) і нагріває там воду, а потім вже гріє воду в основному БА (4). Підігрів води для забезпечення споживача прискорюється. Жодних додаткових регулювальників не потрібно. Чим вища початкова температура води, що нагрівається в БОВ, тим з вищою температурою виходить з БОВ теплоносій, і тим більша кількість енергії передається в БА. Виникає питання, як ув'язати необхідний об'єм БОВ з режимом споживання гарячої води.

Основний БА має об'єм добової потреби води. БОВ повинен забезпечити кожну потребу протягом доби окремо. З рішення поставленої задачі витікає, що забезпечення споживача не визначається ємністю БОВ, а виконанням співвідношення:

$$\frac{t_1}{V_1} = \frac{c_p \cdot \Delta t_{\text{БОВ}}^{\text{ТН-НВ}}}{Q_{\text{БОВ}}}, \quad (13)$$

де t_1 - необхідний час забезпечення споживача кількістю гарячої води V_1 ;

$\Delta t_{\text{БОВ}}^{\text{ТН-НВ}}$ - середньо логарифмічна різниця температур між теплоносієм і водою в БОВ, яка нагрівається;

$Q_{\text{БОВ}}$ – теплова потужність БОВ.

Тобто виконання (13) залежить від теплової потужності БОВ.

Для забезпечення заданої витрати гарячої води в i -му режимі споживання G_i теплова потужність БОВ має бути

$$Q_{\text{БОВ},i} = G_i c_p \Delta t_{\text{Г-Х}} = G_{\text{ТН}} \cdot c_{p,\text{ТН}} \cdot \Delta t_{\text{ТН}} = k \cdot F_{\text{БОВ}} \cdot (t_{\text{ТН}} - t_{\text{НВ}}), \quad (14)$$

де $\Delta t_{\text{Г-Х}}$ – різниця температур, на яку нагрівається вода в БОВ.

Таким чином, теплова потужність БОВ визначається витратою теплоносія, нагрів якого, у свою чергу забезпечується СК. Іншими словами, потужність БОВ визначається потужністю СЕУ. Отже, алгоритм врахування режиму споживання наступний:

1. Визначається необхідна потужність СЕУ для кожного періоду споживання:

$$Q_{\text{СУ},i} = G_i \cdot c_p \cdot \Delta t_{\text{Г-Х}},$$

де G_i – витрата гарячої води для i -го періоду споживання,

$\Delta t_{\text{Г-Х}}$ - нагрів холодної води в БОВ.

2. Визначається площа та кількість СК, які задовольняють потреби в i -му періоді споживання. При $\Delta t_{\text{ТН}} = 20^\circ$ визначаємо витрату теплоносія для кожного періоду:

$$G_{\text{ТН},i} = \frac{Q_{\text{БОВ},i}}{c_p \Delta t_{\text{ТН}}} = \frac{Q_{\text{БОВ},i}}{4,19 \cdot 20}$$

Враховуючи прийняту питому витрату теплоносія на 1 м² СК ($V_{\text{пит}} = 30-50$ л/(м²·год), визначається площа та кількість СК:

$$F_{\text{СК},i} = \frac{G_{\text{ТН},i}}{V_{\text{пит}}}; \quad n_{\text{кол},i} = \frac{F_{\text{СК}}}{f_{\text{кол}}},$$

де $f_{\text{кол}}$ – площа одного колектора.

Всі потреби будуть задовільнені при найбільшій з обрахованих значень потужності.

БОВ може бути замінений швидкісним теплообмінником.

Визначення оптимальної потужності СЕУ для задоволення добових потреб здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. Система ГВП з СЕУ обов'язково має додаткове

джерело теплоти. Уразі недостатнього нагріву води в СЕУ відбувається догрів її в котлі. Тобто, недолік динамічних характеристик СЕУ компенсується витратами органічного палива. Як з'ясувалося раніш, підвищення динамічних характеристик СЕУ забезпечується підвищенням її потужності.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить раніше не захищені наукові положення і отримані автором нові обґрунтовані результати, які полягають в тому, що для техніко-економічного обґрунтування сонячних енергоустановок запропоновано враховувати екологічну складову експлуатаційних витрат, яка розраховується за Податковим кодексом України та Кіотським протоколом. До того ж запропоновано в екологічній складовій враховувати податок на використаний кисень. Обґрунтований вибір параметрів сонячної енергоустановки, яка враховує динаміку споживання гарячої води.

Основні результати досліджень зводяться до наступного:

1. В результаті обробки зібраних замірів інсоляції за допомогою метеостанції Davis 6162EU, було отримано значення середньо добової за місяцями та середньо річної сонячної радіації в м. Одеса. Отримані значення можна поширити на південь України. Середньо річне значення інсоляції дорівнює $1242,48 \pm 18,9$ кВт·год/м². Уточнено значення коефіцієнту хмарності для м. Одеса, який дорівнює 66,57 % і на 3,8 % менший за наведений в літературі.

2. Удосконалено метод техніко-економічного співставлення енергоустановок та пошуку раціональних параметрів за рахунок врахування екологічної складової, яка вміщує плату за викиди відповідно Податковому кодексу України та додатково Кіотському протоколу. Запропоновано враховувати також плату за використання кисню, яка визначається через питомі витрати лісового господарства на підтримку стану лісу.

3. Розроблено математичну модель сонячної енергоустановки для гарячого водопостачання, за допомогою якої було отримано залежність її техніко-економічних показників від продуктивності за гарячою водою. Визначено, що питомі капітальні витрати з підвищенням потужності знижуються до продуктивності 500 л/доба. Далі вони не змінюються і дорівнюють 100 грн./л.

4. Розроблено математичну модель розрахунку кількості переданої споживачу енергії в залежності від розташування сонячної установки, температури нагрітого теплоносія та середньо місячних температур повітря. За критерій пошуку раціональних параметрів запропоновано використати максимум переданої споживачу енергії за рік. Проведено пошук найкращого кута нахилу сонячного колектора (СК) для умов півдня України в залежності від режиму роботи установки. Отримано, що при роботі впродовж теплої половини року раціональний кут нахилу

СК дорівнює 25° . При роботі впродовж всього року кут нахилу має бути $38-40^\circ$. Розроблено метод визначення площі сонячних колекторів при відомій потужності споживача, яка задовольняється бінарною установкою гарячого водопостачання з котлом. Визначено, що при роботі впродовж теплої половини року площа СК має визначатися через питому інсоляцію у червні. При роботі впродовж всього року площу СК треба визначати за питомою інсоляцією у травні. При цьому коефіцієнт заміщення буде дорівнювати 76,8 %.

5. Розроблено метод врахування добової динаміки споживання гарячої води при проектуванні сонячної енергоустановки (СЕУ). Зменшення часу підготовки гарячої води забезпечується використанням баку оперативної витрати. Динамічні характеристики визначаються потужністю теплообмінника в цьому баці, з чого слідує, що для поліпшення динаміки СЕУ треба підвищити її потужність. Остаточне співвідношення потужностей СЕУ і котла визначається проведенням техніко-економічного співставлення.

6. Запропоновано використання сонячної напівпровідникової електростанції у якості одного з трьох резервних джерел живлення відповідальних споживачів атомної станції. Враховуючи використання іншого за принципом роботи джерела поряд з двома дизель-генераторами, загальні показники безпеки АЕС мають підвищитися. Техніко-економічний аналіз показав, що термін окупності НСЕС з акумуляторною станцією в залежності від «зеленого» тарифу коливається в діапазоні 10-30 років. Підвищення рівня безпеки АЕС та додаткові прибутки свідчать про доцільність подальшого розгляду цієї пропозиції.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ (всього 8)

• 4 статті у наукових фахових видання України:

1. Кравченко В. П., Технико-экономическая оценка возможности использования солнечной электростанции, как источника надежного питания при обесточивании АЭС /В.П. Кравченко, В.А. Дубковский, Е. В. Кравченко // Ядерна енергетика та довкілля. – 2015. - №2(6). – С.48-53.

Участь у пропозиції використання напівпровідникової СЕС у якості резервного джерела живлення відповідальних споживачів АЕС. Розрахунок техніко-економічних характеристик такого використання НСЕС.

2. Dubkovsky V.O., Method of accounting the hot water consumption modes at the solar installations design / V.O. Dubkovsky, V.P. Kravchenko, J.V. Kravchenko (Методика врахування режиму споживання гарячої води при проектуванні сонячних установок) /Праці Одеського політехнічного університету, 2015. Вип. 2(46). – р. 97-102.

Аналіз динамічних характеристик різних схем СЕУ для гарячого водопостачання. Розробка методики врахування режиму споживання гарячої води при проектуванні.

3. Кравченко В.П., Удосконалення методики визначення екологічної складової в техніко-економічних розрахунках енергетичних установок /В. П. Кравченко, Є. В. Кравченко / Холодильная техника и технология. – 2016, Т. 52, Вып.2. - С. 66-70.

Пропозиція врахування споживання кисню при проведенні техніко-економічного аналізу енергетичних установок, розробка методики визначення величини податку за використання кисню та визначення цього значення.

4. Кравченко Е.В., Определение оптимального угла наклона солнечного коллектора в зависимости от режима работы в году / Е.В. Кравченко, В.П. Кравченко, О.М. Ткачева // Холодильная техника и технология. – 2016, Т. 52, Вып.1. - С. 35-41.

Розробка методики визначення найкращого кута нахилу сонячного колектора для м. Одеса та проведення варіантних розрахунків.

• **2 статті у фахових виданнях України, що входять до наукометричних баз даних:**

5. Кравченко В.П., Оптимизация площади солнечных плоских солнечных коллекторов для систем горячего водоснабжения / В.П. Кравченко., Е.В. Кравченко //Технологический аудит и резервы производства. – 2015. - № 1(21). – С. 25-30.

Розробка методики визначення площі сонячних колекторів для СЕУ, що забезпечує гаряче водопостачання. Розробка рекомендацій для проектування СЕУ у м. Одеса.

6. Кравченко В.П., Инструментальное визначення інсоляції в районі м. Одеси /В.П. Кравченко, Є.В. Кравченко, І.В. Бондар // НТУУ «КПІ» «Енергетика: економіка, технологія, екологія». -2016. - № 1. – С. 20-27.

Участь у зборі інформації за інсоляцією у м. Одеса. Розробка методики обробки та обробка отриманих даних. Співставлення з літературними даними.

• **2 повні доповіді у збірниках міжнародних науково-технічних конференцій:**

7. Дубковский В.А., Солнечная электростанция в качестве источника надежного питания ответственных потребителей реакторного отделения / В.А. Дубковский, Е.В. Кравченко /В сб. материалов Третьей международной научно-технической конференция "Повышение безопасности и эффективности атомной энергетики", 24 - 28 сентября 2012, г. Одесса, УКРАИНА. – С. 160-167.

Пропозиція щодо використання СЕУ у якості резервного джерела енергії для систем безпеки АЕС. Розробка методики техніко-економічного аналізу та проведення розрахунків.

8. Кравченко Е.В. Определение оптимальной мощности солнечной установки для горячего водоснабжения /В сб. материалов Международной научно-практической конференция

«Инновационное развитие отраслевой автоматизации, информационной и энергосберегающей технологий – 2013. Современное состояние, проблематика и перспективы. – Москва, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 20 декабря 2013 г. - С. 3.7-3.13.

АНОТАЦІЯ

Кравченко Єгор Володимирович. Підвищення ефективності сонячних систем енергопостачання. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Одеський національний політехнічний університет. Одеса. 2017.

Удосконалено метод визначення екологічної складової витрат енергоустановок. Запропоновано враховувати податок на використаний кисень. В результаті обробки замірів інсоляції було отримано значення середньо річної інсоляції в м. Одеса $1242,48 \pm 18,9$ кВт·год/м². Доведено, що при роботі впродовж теплої половини року кут нахилу сонячних колекторів (СК) має бути 25°, площа СК має визначатися через інсоляцію у червні. При роботі цілорічно кут нахилу - 38-40°, площа СК визначається за інсоляцією у травні. Розроблено метод врахування динаміки споживання гарячої води при проектуванні СЕУ. Запропоновано використання напівпровідникової сонячної електростанції у якості резервного джерела живлення відповідальних споживачів АЕС. Доведена техніко-економічна доцільність такого використання, що до того ж підвищує безпеку АЕС.

Ключові слова: сонячні енергоустановки для гарячого водопостачання, сонячні електростанції, техніко-економічний аналіз, екологічна складова витрат, врахування режиму споживання гарячої води

АННОТАЦИЯ

Кравченко Егор Владимирович. Повышение эффективности солнечных систем энергоснабжения. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 - Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. - Одесский национальный политехнический университет. Одесса. 2017.

Диссертация посвящена повышению эффективности солнечных энергоустановок (СЭУ) и совершенствованию метода технико-экономического анализа энергоустановок.

В результате обработки данных по инсоляции, полученных с помощью метеостанции в ОНПУ, было получено значения среднесуточной по месяцам и среднегодовой инсоляции в г. Одесса $1242,48 \pm 18,9$ кВт·ч/м². Сопоставление полученных и литературных данных показало, что в теплую половину года замеренные данные выше теоретических в среднем на 4,3 %. По критерию максимума переданной потребителю энергии за год была проведена оптимизация

угла наклона солнечного коллектора (СК) для условий юга Украины. Получено, что при работе в период теплой половины года рациональный угол наклона СК равен 25° , при работе на протяжении всего года - $38-40^\circ$.

Усовершенствован метод определения экологической составляющей эксплуатационных затрат энергоустановок, определяемая как сумма платы за выбросы вредных веществ и платы за потребление кислорода. Выбросы CO_2 предложено учитывать согласно Налоговому кодексу Украины и Киотскому протоколу, по которому оплата ~ 20 \$/т. Разработана методика и определена величина ставки налога за использование кислорода, которая составила 45,54 грн./т. Техничко-экономическое сопоставление СЭУ и газового котла для горячего водоснабжения (ГВС) показало, что учет платы за выбросы CO_2 согласно Киотскому протоколу и за использование кислорода повышают экологическую составляющую при использовании газа в 511 раз, а годовые приведенные затраты - на 8,91 %. Рассчитаны приведенные затраты для солнечной электростанции башенного типа (БСЭС) и ТЭС на угле, которые производят одинаковое количество электроэнергии. Учет экологической составляющей в эксплуатационных затратах ТЭС не дало экономических преимуществ БСЭС.

Разработана методика определения оптимальной площади солнечных коллекторов при известной мощности потребителя, которая удовлетворяется бинарной установкой горячего водоснабжения с котлом. Определенно, что при работе на протяжении теплой половины года площадь коллекторов должна определяться по удельной инсоляции в июне. Минимум годовых приведенных затрат отвечает части солнечной энергии в тепловом балансе потребителя 89,4 %. При работе на протяжении всего года площадь СК надо определять по удельной инсоляции в мае (коэффициент замещения 76,8 %).

Разработана математическая модель СЕУ для ГВС, позволившая выяснить зависимость стоимость СЕУ от ее производительности по горячей воде. Получено, что удельные капиталовложения с повышением мощности снижаются до производительности 500 л/сут. Далее они не изменяются и равны 100 грн./л.

Разработана методика учета режима потребления горячей воды при проектировании солнечных энергоустановок (СЕУ). Снижение времени подготовки воды обеспечивается использованием бака оперативного расхода (БОР), который может быть заменен скоростным теплообменником. Нагрев воды, направляемой потребителю из бака-аккумулятора, осуществляется всем теплоносителем, нагретым в солнечных коллекторах. Скорость нагрева определяется поверхностью нагрева этого теплообменника, а также расходом теплоносителя. Отсюда следует, что для повышения динамических характеристик СЕУ следует повышать ее мощность, т.е. количество солнечных коллекторов. Наилучшее количество солнечных коллекторов, удовлетворяющее всем суточным режимам потребления, определяется технико-

экономическим анализом.

Рассмотрено предложение использования полупроводниковой солнечной электростанции (ПСЭС) в качестве резервного источника питания ответственных потребителей АЭС. Определена мощность ПСЭС для обеспечения питания необходимых насосов, расхолаживающих ядерный реактор ВВЭР-1000. ПСЭС мощностью 1,034 МВт позволяет обеспечить расхолаживание в течение трех суток. В состав ПСЭС, замещающей один канал безопасности, должна входить аккумуляторная станция емкостью 11,475 МВт·ч, состоящая из 4782 аккумуляторов по 200 А·ч каждый. При определении емкости аккумуляторов было учтено снижение остаточного энерговыделения в реакторе со временем. Требуемая площадь солнечных панелей с КПД 15,4 % соответствует площади квадрата со стороной 108,4 м². При стоимости ПСЭС 4,013 млн. \$, себестоимость производимой электроэнергии составила 8,075 грн./кВт·ч. Зеленый тариф на электроэнергию СЭС с 1.01.2016 г. равен 9,42-12,45 грн./кВт·ч. Исходя из этого, срок окупаемости будет равен 10,15-31,7 лет. Таким образом можно констатировать, что использование ПСЭС, кроме повышения безопасности, оказывается экономически приемлемым.

Ключевые слова: солнечные энергоустановки горячего водоснабжения, солнечные электростанции, технико-экономический анализ, экологическая составляющая эксплуатационных затрат, учет режима потребления горячей воды

ABSTRACT

Kravchenko Ie. Efficiency increase of the solar systems for energy supply. - Manuscript. Thesis for candidate's degree of engineering sciences on specialty 05.14.06 - Technical thermal physics and industrial heat-and-power engineering. - Odessa national polytechnic university, Odessa, 2017.

Dissertation is devoted the improvement of thermal charts and method of sun installations economic analysis. The method of determination of ecological constituent of sun installations charges is improved. It is suggested to take into account paying for the used oxygen. As a result of processing of insolation data a value middling of annual sun radiation was got for Odessa $1242,48 \pm 18,9$ kWh/m². It is well-proven that for exploitation during the warm half of year an angle of sun collectors (SC) slope must be 25°, the area of SC must be determined through insolation in June. For exploitation during whole-yearly the angle of slope 38-40°, the area of SC is determined on insolation in May. The method of account of hot water consumption dynamics is developed at planning of domestic water heating system.

Keywords: solar domestic water heating systems, solar power plants, economic analysis, the environmental component of operating costs, accounting for the dynamics of hot water consumption