

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Тернопіль – 2019

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра складається з вступу, шести розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. Повний обсяг роботи складає 104 сторінок, що включає у себе 34 рисунка, 11 таблиць, 37 формул, 53 джерел у переліку посилань та 1 презентації.

Метою роботи є розрахунок ефективності кожної зі складових установки СЕС на основі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання. Дослідження можливості встановлення таких електростанцій на території України. Огляд вже створених та введених у експлуатацію СЕС різних типів.

Дослідження можливості встановлення такої електростанції на основі метеоданих минулого року показали, що встановлення СЕС на основі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання на території Тернопільської області є недоцільним та економічно не вигідним. Проте все ж на території нашої держави можливе та навіть вигідне. Що й було проаналізовано для Херсонської області. Тому з огляду на проведену роботу, вважаю, що розвиток СЕС такого типу є актуальним.

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Паращук В.Р.						
Перевір.		Тарасенко М.Г.					3	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.				<i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>		
Н. Контр.		Коваль В.П.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	11
1.1. Перспективи та напрямки розвитку сонячної енергетики в Україні та світі	11
1.2. Основні типи сонячних концентраторів, їх переваги та недоліки	21
1.3. Двигун Стирлінга, основні типи та параметри	25
1.4. Параметри діючих СЕС на базі двигуна Стирлінга	34
1.5. Висновки	38
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	39
2.1. Розрахунок параболічного концентратора	39
2.2. Розрахунок енергоефективності вакуумної трубки та сонячного концентратора на її базі загалом	45
2.3. Ефективність роботи двигуна Стирлінга	49
2.4. Ефективність перетворення механічної енергії у електричну генератором змінної напруги	55
2.5. Механізм трекінгу за положенням Сонця	57
2.6. Розрахунок втрат у теплопроводі	59
2.7. Висновки	62
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	64
3.1. Оцінка доцільності встановлення СЕС на основі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами за метеоданими на рік	64

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Паращук В.Р.						
Перевір.		Тарасенко М.Г.					4	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.				<i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>		
Н. Контр.		Коваль В.П.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

3.2. Розрахунок теоретично можливої кількості річної генерації електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами	68
3.3. Висновки	70
4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	71
4.1. Методи розрахунку економічної ефективності	71
4.2. Розрахунок річних доходів заснованих на теоретично можливій кількості річної генерації електроенергії СЕС	73
4.3. Розрахунок річних витрат пов'язаних з експлуатацією СЕС	76
4.4. Розрахунок економічної ефективності СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами	77
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	80
5.1. Охорона праці	80
5.1.1. Технічні засоби безпеки	80
5.1.2. Фізичні основи електробезпеки	82
5.1.3. Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок	84
5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	86
5.2.1. Протипожежна стійкість електротехнічних систем електроспоживання під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру	86
5.2.2. Дія електричного струму на персонал, що експлуатує об'єкти енергетики. Перша допомога при електротравмах	88
6. ЕКОЛОГІЯ	91
6.1. Основні шляхи стабільного енергопостачання та зменшення впливу на довкілля	91
6.2. Екологічний аналіз застосування двигуна Стирлінга з концентраторами сонячної енергії	94
ВИСНОВКИ	96
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення та символи

h – інтегральний ступінь точності;

E_0 – густина потоку прямого сонячного випромінювання;

R_S – коефіцієнт відбиття дзеркала;

U_m – максимальний кут розкриття для сонячного концентратора

f – фокальна відстань;

k_1 та k_2 – коефіцієнти теплових втрат;

λ_1 та λ_2 – коефіцієнти теплопровідності;

α_1 та α_2 – коефіцієнти тепловіддачі;

Скорочення

СЕС – сонячна електростанція;

ФЕП – фотоелектричний перетворювач;

НСРVT (установка) – highly efficient concentrated photovoltaic/thermal, що перекладається, як високоефективна концентрична фотоелектрична/теплова (установка);

ККД – коефіцієнт корисної дії;

АЕС – атомна електростанція;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ДЗЗ – двигун зовнішнього згоряння;

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	Літ.	Арк.	Акрushів
Розроб.		Паращук В.Р.						
Перевір.		Тарасенко М.Г.					6	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.				<i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>		
Н. Контр.		Коваль В.П.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

ВСТУП

Актуальність роботи. Для забезпечення нормальної життєдіяльності та розвитку людства з кожним роком потрібно все більше і більше енергії, а запаси викопних джерел енергії не є невичерпними. За різними оцінками, розвіданого органічного палива вистачить всього на 30-50 років. Саме тому постає необхідність у нових джерелах енергії, до яких належать ВДЕ. Оскільки запаси ВДЕ є нескінченними, то це відкриває безмежні можливості для їх активного використання та заміни ними таких небезпечних джерел енергії, як атомні, вугільні, нафто-газові.

Найбільш перспективним джерелом ВДЕ є Сонце. Адже кожен секунду Сонце випромінює у 100 000 разів більше енергії, ніж людство виробило за всю свою історію [1]. А однією з головних задач для вчених та інженерів є перетворення енергії Сонця, що потрапила на Землю, у потрібну людству енергію з максимальною ефективністю.

На сьогодні існує два найбільш відомі напрями у перетворенні енергії Сонця:

- тепловий – з подальшим використанням як теплової, так і з можливим перетворенням теплової енергії у електричну;
- електричний – перетворення сонячного випромінювання напряму у електричну енергію.

Дослідження енергоефективності застосування двигунів Стирлінга з концентратором сонячної енергії сприятиме визначенню доцільності його практичного використання.

У світі уже достатньо давно використовують двигуни Стирлінга разом з параболічними концентраторами параболокругового типу, а це потребує встановлення концентратора надто великих розмірів, що не для кожної місцевості

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Паращук В.Р.			ВСТУП	Літ.	Арк.	Акрushів
Перевір.		Тарасенко М.Г.					7	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.				<i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>		
Н. Контр.		Коваль В.П.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

можливо та доцільно.

Дослідженням сонячних концентраторів параболічного типу займалися Захидов Р.А., Умаров Г.Я., Вайнер А.А., Акбаров Р.О., Кучкаров А.А., Жозе П., Апариси Р.Р. та ін. Вони досягли великого успіху у чисельних розрахунках концентраторів сонячної енергії.

Двигун Стирлінга був винайдений у 1816 р. Спочатку він користувався популярністю, однак, оскільки у ті часи була відсутня технічна можливість для вдосконалення конструкції, на початку ХХ ст. його витіснили двигуни внутрішнього згоряння. У середині ХХ ст. через швидкий розвиток технології виробництва матеріалів перед двигуном Стирлінга знову були відкриті перспективи для вдосконалення конструкції, що, у свою чергу, збільшило ККД агрегату.

Великих успіхів у дослідженні та розрахунку двигунів Стирлінга досягли наступні компанії: Philips, United Stirling, General Motors, а у своїх працях зібрав та розкрив тему Уокер Г.

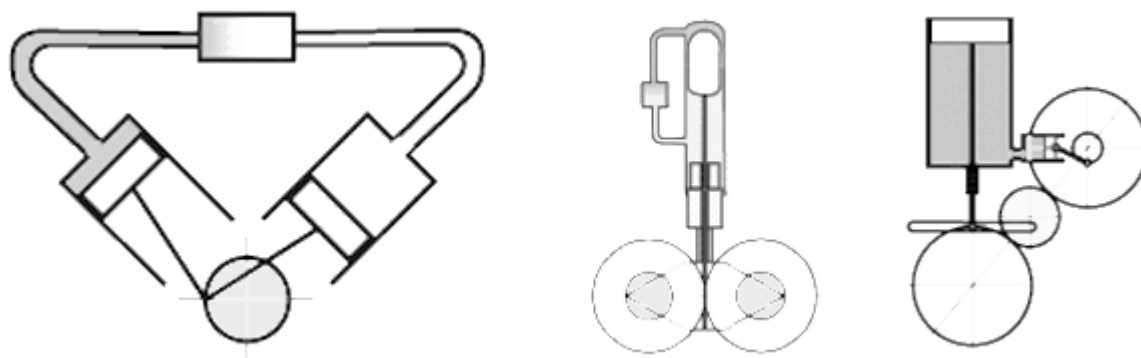


Рис. 1. Зображення двигунів Стирлінга: а - Альфа-Стирлінга; б - Бета-Стирлінга; в - Гама-Стирлінга.

Існує три основних типи двигунів Стирлінга: Альфа-Стирлінг; Бета-Стирлінг; Гама-Стирлінг. Не знайшовши прикладів використання двигуна Стирлінга у якості центрального, одиничного пункту перетворення теплової енергії у електричну, окремо від концентратора сонячного випромінювання, було вирішено дослідити енергоефективність застосування двигунів Стирлінга з

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

сонячними концентраторами параболоциліндричного виду з транспортуванням теплоносія від останніх у окремий централізований пункт, де й буде встановлено сам двигун Стирлінга та генератор електричної енергії.

Використання двигуна Стирлінга, розташованого у центральному тепловому пункті, у поєднанні з параболоциліндричними концентраторами має ряд позитивних змін у порівнянні з іншими конструкціями: немає необхідності у спорудженні надто високих конструкцій концентратора, що покращує експлуатаційні характеристики; можливе встановлення практично будь якої кількості та протяжності параболоциліндричних концентраторів, цим коригується потужність заданої СЕС; разом з двигуном Стирлінга у центральному тепловому пункті є можливість встановлення додаткового пункту низькопотенціальної теплової енергії для обігріву опалювальних площ, що, у свою чергу, збільшить енергоефективність.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розрахунок ККД та доцільності використання СЕС на основі двигунів Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами та оцінка використання СЕС такого типу в Україні.

Реалізація поставленої мети зумовлює необхідність вирішення наступних задач:

- проаналізувати ефективність концентрації сонячної енергії параболоциліндричним концентратором сонячного випромінювання;
- розрахувати ефективність перетворення сконцентрованої сонячної енергії випромінювання параболоциліндричним концентратором у теплову за допомогою приймача сонячного випромінювання;
- дослідити доцільність використання трекінгової системи (системи слідування за положенням Сонця над горизонтом);
- визначити втрати при транспортуванні теплоносія від приймача сонячної енергії до споживача – двигуна Стирлінга;
- проаналізувати ефективність роботи двигуна Стирлінга;

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- надати оцінку економічної доцільності спорудження СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами сонячного випромінювання.

Об’єкт дослідження – процеси енергоперетворення сонячного випромінювання у системі сонячний концентратор – приймач сонячного випромінювання – теплопровід – двигун Стирлінга – електричний генератор.

Предмет дослідження – енергоефективність застосування двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами сонячної енергії.

Методи та способи вирішення поставлених завдань. Застосовані теоретичні методи розрахунку складових СЕС. Методом порівняння проведено аналіз ефективності основної з її складових – двигуна Стирлінга. Для адекватної оцінки можливості використання СЕС такого типу застосоване максимальне наближення розрахунку до реальних умов експлуатації. Для цього було використано архівні метеодані спостереження для попереднього року міста Тернополя та Херсону. Для опрацювання масиву даних з метеостанцій використано аналітичний метод.

Новизна проведеного дослідження. Доведено доцільність та можливість застосування двигуна Стирлінга у центральному тепловому пункті при використанні параболоциліндричних концентраторів за погодних умов України.

Практичне значення одержаних результатів. Дана робота має практичне значення при розрахунку та проектування на базі даної роботи нових СЕС в Україні. На основі отриманих у даній роботі результатів можливо розрахувати доцільність та рентабельність побудови СЕС на основі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами у певній місцевості та за погодних умов у місці встановлення.

Апробація. Оpubліковані тези доповіді "Енергоефективність застосування двигунів Стирлінга з концентраторами сонячної енергії" на XXI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Перспективи та напрямки розвитку сонячної енергетики в Україні та світі

Викопні види палива є головним джерелом енергії. Разом з тим, їх активне використання призводить до виснаження природних ресурсів, і, як наслідок, до неминучої енергетичної кризи та глобальних змін у кліматі. Вже сьогодні рівень забруднення повітря у багатьох промислових регіонах перевищує максимально допустимі межі у десятки і сотні разів. А забруднення земель та водою енергетичними компаніями, через діяльність яких відбуваються викиди токсичних речовин, досягли критичного рівня. Такі дії руйнують цілі екосистеми, що призводить до вимирання всього живого, а для людини унеможлиблюють подальше нормальне життя у даних місцевостях.

Усе це відбувається через те, що для забезпечення власних потреб у енергії ми використовуємо більшою мірою газ, нафтопродукти та вугілля. Тому, для запобігання негативним наслідкам такого використання з кожним роком все більш гостро постає питання збільшення ефективності використання викопного палива, енергозбереження, та максимального заміщення останніх відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

ВДЕ – це джерела енергії, які поновлюються природним чином. До них можна віднести сонячне випромінювання, енергію води та вітру, геотермальне тепло, і біопаливо. Такі джерела енергії є основною альтернативою шкідливому викопному паливу, тому як при використанні ВДЕ не відбуваються викиди токсичних речовин. За оцінками учених зазначені джерела енергії можуть цілком задовільнити потреби усього людства в енергії.

Сонце – головне джерело енергії на Землі та кожен секунду випромінює

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Паращук В.Р.			РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Тарасенко М.Г.								11	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.						ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61			
Н. Контр.		Коваль В.П.									
Затверд.		Тарасенко М.Г.									

у 100 000 разів більше енергії, ніж людство виробило за всю свою історію. А тому воно є найбільш перспективним джерелом поновлювальної енергії [1].

Сонячне випромінювання можна перетворити у корисну енергію за допомогою декількох типів перетворювачів. До основних можна віднести:

- СЕС баштового типу;
- СЕС параболокругового типу;
- СЕС на основі параболоциліндричних концентраторів;
- СЕС на основі фотогальванічних елементів.

СЕС баштового типу – термодинамічні сонячні електричні станції із центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів. Станції баштового типу складаються з п'яти основних систем:

- оптичної системи;
- автоматичної системи керування оптичною системою і станцією в цілому;
- системи парогенератора;
- системи вежі, що підтримує приймач теплової енергії;
- системи перетворення енергії, включаючи теплообмінники, акумулятори енергії та турбогенератори.

Оптична система станції – пристрій, що концентрує сонячну радіацію. Концентратори можуть бути лінзовими та дзеркальними. Але більш розповсюджені на сьогодні саме дзеркальні концентратори. На рис. 1.1 зображено СЕС баштового типу з дзеркальними концентраторами розташованими навколо вежі-приймача сонячного випромінювання. Найбільшу концентруючу здатність мають дзеркала, форма яких відповідає поверхням обертання другого порядку: параболічні, напівсферичні, гіперболічні, еліпсоїдні.

Максимальна концентруюча здатність сонячного випромінювання досягається при параболічній конструкції дзеркал.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

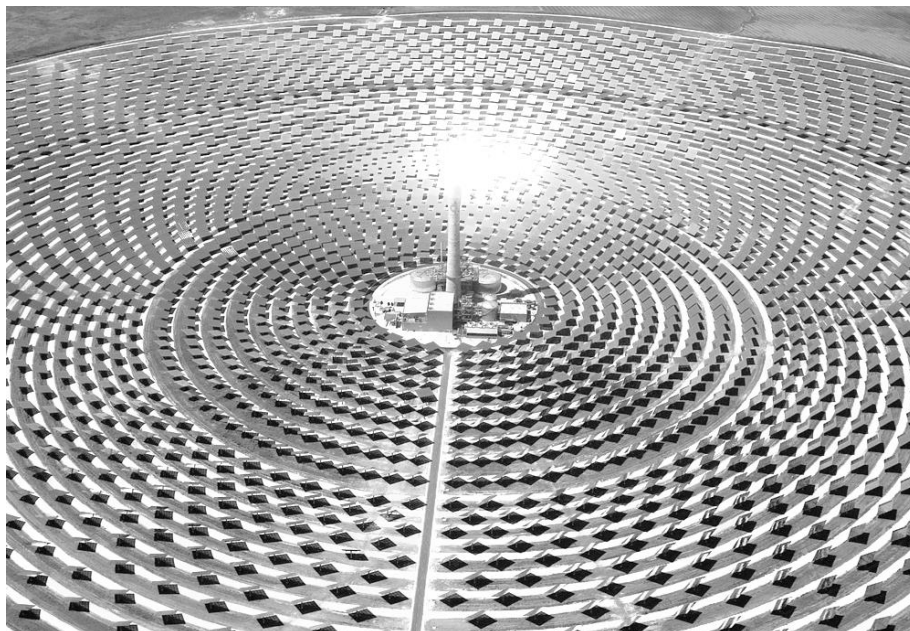


Рис. 1.1. СЕС баштового типу

Температура, яку можна одержати на вершині башти в системі перетворення енергії при використанні дзеркальних концентраторів, становить $300-1500^{\circ}\text{C}$. Максимально можлива потужність від одного модуля не перевищує 200 МВт. Обмеження потужності пов'язане зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддаленого кільця концентраторів на вершину башти.

Оскільки оптичні пристрої ефективно концентрують тільки пряме сонячне випромінювання, велике значення має орієнтація дзеркал і приймача до Сонця. Тому концентруючі геліосистеми повинні мати систему спостереження за положенням Сонця. Навколо башти розташовується масив дзеркальних геліостатів, що стежать за Сонцем і відбивають його промені на приймач енергії, що розташований на вершині вежі. При цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі за індивідуальним принципом [2].

Найбільш поширеним поєднанням СЕС параболокругового типу є використання у парі з двигуном Стирлінга або парогенератором з подальшою переробкою пари паротурбіною у електроенергію. Електростанція складається з окремих модулів та може масштабуватись у розмірах. Як зображено на рис. 1.2, модуль містить опору, на яку кріпиться фермова конструкція приймача і

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбивача. Приймач знаходиться у фокусі параболокругового концентратора, і в ньому концентруються відбиті промені сонця.



Рис. 1.2. Концентратор параболокругового типу з двигуном Стирлінга

Відбивач складається з дзеркал, радіально розташованих на фермі. Діаметри цих дзеркал досягають 2 метрів, а кількість – декількох десятків (в залежності від потужності модуля). Такі станції можуть складатися як з одного модуля, так і з декількох десятків [3].

В установках параболоциліндричного типу використовуються параболічні дзеркала (рис. 1.3), які концентрують сонячне світло на приймальних трубках, що містять у собі рідину – теплоносій. Ця рідина нагрівається приблизно до 400°C і прокачується через ряд теплообмінників. При цьому виробляється перегріта пара, яка приводить у рух звичайний турбогенератор для виробництва електроенергії. Приймальна трубка розташовується вздовж фокусної лінії параболічного дзеркала. Як правило, такі установки мають одновісні або двовісні системи слідування за Сонцем, у деяких випадках вони бувають стаціонарними [4].

Висота концентраторів може становити близько 6 м, а їхня довжина сягати 100 м.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рис. 1.3. Зображення електростанції на основі параболоциліндричних концентраторів

Основним, найбільш поширеним та перспективним видом СЕС для України є СЕС на основі фотогальванічних елементів. Цей вид електростанцій підходить для побудови як міні-електростанцій, так і для повноцінних промислових електростанцій потужністю у декілька сотень МВт.

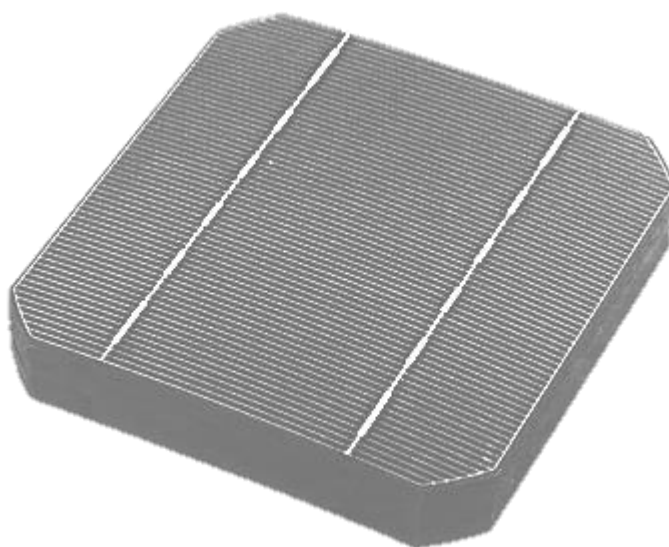


Рис. 1.4. Зображення фотогальванічного елемента

Фотогальванічний елемент – напівпровідниковий пристрій (рис. 1.4), що безпосередньо перетворює сонячну енергію у електричну в неоднорідних напівпровідникових структурах при дії на них сонячного випромінювання.

Ефективність перетворення такого пристрою залежить від електрофізичних характеристик напівпровідникових елементів, оптичних

властивостей перетворювача, серед яких найбільш важливим є фотопровідність. Фотогальванічний елемент працює по принципу напівпровідника, у якій виконана просторова зміна типу провідності від електронної до діркової.

Під час опромінення елемента сонячним випромінюванням на перетині р-та п- шарів у результаті переходу зарядів утворюються об'єднані зони з некомпенсованим об'ємним позитивним зарядом в п-шарі і об'ємним негативним зарядом у р-шарі. Тому, на такому переході виникає різниця потенціалів, яку називають фотоелектрорушійною силою. Таке явище отримало назву фотоефект, яке вперше виявив у своїх дослідженнях німецький фізик Генріх Герц, ще наприкінці XIX ст.

Термін служби фотогальванічних елементів складає близько 30 років. При цьому даний тип перетворювачів сонячного випромінювання має властивість з кожним роком експлуатації безповоротно знижувати свою ефективність. Враховуючи це, виникає проблема подальшої переробки відпрацьованих свій термін експлуатації модулів, а питання їх утилізації досі не знайдено. Найбільшим недоліком процесу генерації енергії фотогальванічними елементами є їх непостійність, що притаманна усім видам СЕС [5].

У багатьох країнах світу, у зв'язку з проблемою глобального потепління, розпочали дослідження можливості використання відновлювальних джерел енергії, зокрема, сонячної енергії. У всіх найбільш розвинених країнах (Німеччина, США, Китай, Іспанія) проводять національні програми для стимулювання застосування поновлювальних джерел енергії для зменшення викидів у атмосферу шкідливих речовин. В Україні також діє програма стимулювання впровадження альтернативних джерел енергії – "зелений тариф". "Зелений тариф" – це спеціальний тариф, за яким держава закуповує електроенергію по завищеній ціні у підприємств і приватних осіб, що використовують альтернативні джерела енергії.

Таким чином, юридичні та фізичні особи, які користуються енергією сонця, вітру, води та іншими поновлюваними джерелами енергії, можуть продавати отриману електроенергію (цілком або частково) державі за вигідною

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

для себе ціною. В Україні програма "зелений тариф" була прийнята лише у 2008 році. Першими розпочали використання "зеленого тарифу" США. Наприкінці 70-х років країну охопила енергетична криза, що змусила владу стимулювати енергозбереження. В результаті були прийняті акти, що впровадили енергозбереження, енергоефективність та урегулювали енергетичну галузь в цілому. У 90-х подібне законодавство вже було впроваджено рядом країн у Європі [6].

Завдяки державній програмі стимулювання відновлювальних джерел енергії та ефективному законодавству за останні 5 років у відновлювану електроенергетику інвестовано близько 2 млрд. євро. За 1 квартал 2019 року введено в експлуатацію понад 860 МВт потужностей відновлюваної електроенергетики, більшість з яких – це майже 700 МВт СЕС. А загалом на сьогоднішній день в Україні вже працює понад 3000 МВт потужностей, що генерують електроенергію з відновлюваних джерел. З них понад 2200 МВт (71%) – це сонячні електростанції [7].

Весною 2019 року у Дніпропетровській області біля села Старозаводське Нікопольського району було введено у експлуатацію найбільшу сонячну електростанцію України, що увійшла до трійки найбільших в Європі. При будівництві СЕС було встановлено 750 тисяч панелей, які здатні забезпечити електроенергією два міста середніх розмірів. Зазначається, що майже 750 тисяч сонячних панелей складають загальну потужність у 200 МВт. За рік електростанція вироблятиме близько 280 млн КВт·год.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.5. Старозаводська СЕС

Будівництво об'єкту розгорнулося у квітні 2018 р. на майданчику площею 400 га, поблизу села Старозаводське Нікопольського району. Колись це був рудний кар'єр, та вже декілька десятиліть там нічого не добувають. Для сільського господарства ґрунт виявився непридатним. Тому саме ці землі обрали під майбутню електростанцію. У будівництво Старозаводської СЕС було інвестовано 216 млн євро, з яких 46 млн. євро було витрачено на українському ринку. Робота електростанції забезпечить місцевій громаді дохід 20 млн. гривень у якості сплати за землю щороку та 30 додаткових робочих місць.

Керівництво Старозаводської СЕС повідомляє, що введення її в експлуатацію дозволяє вимкнути один енергоблок вугільної електростанції такої потужності, як Придніпровська ТЕС або Криворізька. А в результаті суттєво знизить викиди шкідливих газів у повітря та залежність від викопного джерела енергії [8].

З Українських розробок новинкою є концентратор сонячної енергії з новою геометрією. Український фізик Олександр Согоконь сконструював пристрій, який дозволяє отримувати електроенергію шляхом використання сонячного випромінювання та сили вітру. Установка відмінно підходить для застосування у побутових цілях. Вона може забезпечити теплом, замінивши

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

електричний бойлер, опалювати приміщення і готувати їжу без спалювання надто дорогих сьогодні газу чи вугілля.

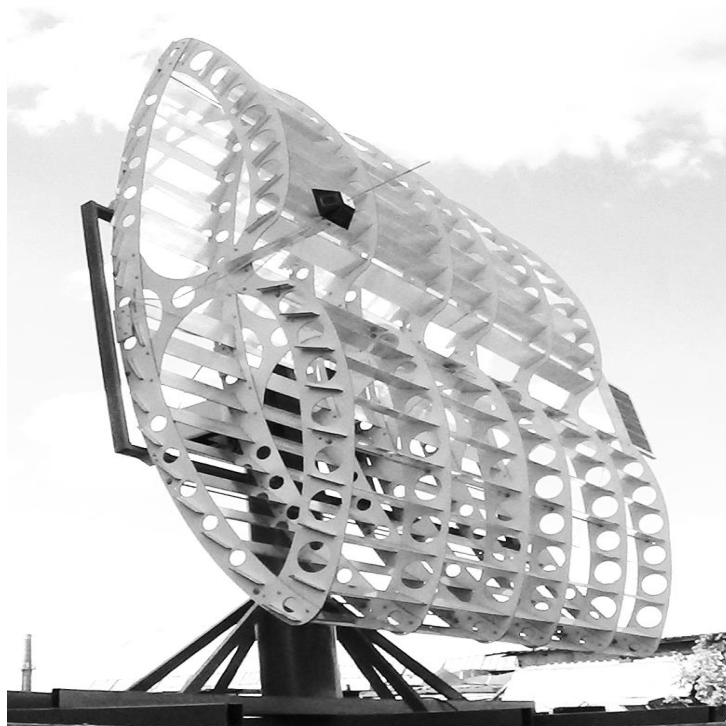


Рис. 1.6. Лінійний концентратор сонячного випромінювання, призначений для використання в системах гарячого водопостачання і для опалювання приміщень

Установка, за словами автора, має просту конструкцію. Встановивши такий "гібридний" теплогенератор на даху будинку або навіть на балконі, можна забезпечити теплом усю оселю [9]. В перспективі такий сонячний концентратор можна застосовувати і для отримання електроенергії.

Ще одним цікавим прикладом розвитку СЕС є розробка IBM. Науково-дослідницький підрозділ IBM спільно зі швейцарською компанією Airlight Energy представили свою розробку – високотехнологічну систему, перетворюючу сонячне випромінювання одночасно у тепло та електроенергію. В рамках проекту під назвою "Project Sunflower" була розроблена установка HCPVT (highly efficient concentrated photovoltaic / thermal), яка, окрім електрики, може забезпечувати прилеглі будівлі гарячим водопостачанням.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Конструкція "Sunflower" (рис. 1.7) оснащена високоефективними фотогальванічними елементами, які здатні перетворювати зібрану рефлекторами у фокусі сонячне випромінювання в електроенергію при високих температурах. В основному, елементи і рішення, що застосовуються в HCPVT, досить відомі, лише як виняток використовується технологія одночасного використання двох підходів генерації енергії з сонячного випромінювання: термального – при використанні високих температур та світлового – фотогальванічними елементами.

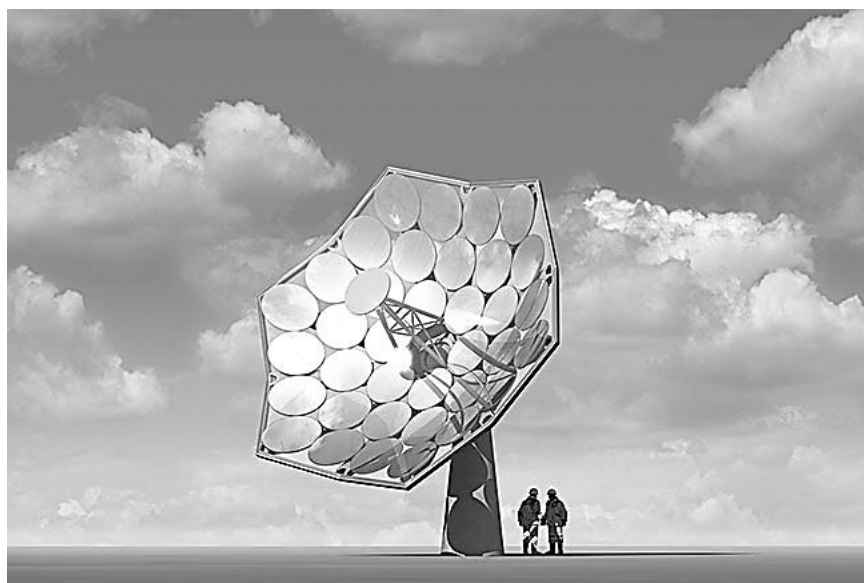


Рис. 1.7. Project Sunflower (перекл. проект Сонячної квітки)

"Sunflower" з поверхнею 40 м^2 має зовнішній вигляд параболокругового концентратора і складається з 36 еліптичних дзеркал та 6 рефлекторів. Рефлектори створюють точку фокусу світлових променів, в якій розміщені 6 колекторів, по одному на кожен блок з шести відбивачів.

Кожний колектор покритий шаром фотоелементів з арсеніду галію (GaAs). Дана хімічна сполука перетворює сонячне випромінювання в електроенергію з набагато більшим ККД (близько 38%), ніж це робить кращі аналоги з кремнію (близько 20%). GaAs – більш дорогий матеріал, проте в Sunflower арсенід галію використовується у невеликій кількості – ним покривають лише невелику область, у якій фокусується випромінювання. У одному колекторі використовується пристрій з покриттям арсенідом галію

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

площею усього кілька см². Генеруюча здатність кожного колектору складає близько 2 кВт, а в загальному фотоелектрична система HCPVT генерує до 12 кВт електроенергії та додатково 21 кВт теплової енергії.

Напівпровідникові фотогальванічні перетворювачі енергії при нагріванні втрачають певну частину ефективності. Навіть GaAs обмежений температурою близько 105°C. Основна проблема – це високі температури (вище 1500 °C) в точці фокусу.

Фахівці компанії застосували оригінальний метод, який вже застосовувався IBM для охолодження суперкомп'ютерів – це рідинна система охолодження, в якій у якості холодоагенту виступає гаряча вода. Але у випадку з HCPVT є й певні відмінності – використання "водяного масиву", що представляє собою кремнієвий блок з мікрорідинними каналами. Таких каналів виконується кілька тисяч, і по ним вода надходить до елементів пристрою, де нагрівається. Така технологія дозволяє значно збільшити кількість тепла, яку можна розсіяти [10].

1.2. Основні типи сонячних концентраторів, їх переваги та недоліки

До основних типів концентраторів сонячної енергії для СЕС можна віднести:

- плоскі дзеркала-концентратори, що встановлюються у електростанціях баштового типу навколо центрального приймача-парогенератора, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання;
- параболоциліндричного типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм;
- параболокругового типу, в фокусі параболокругового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії.

Перевагами плоских дзеркал-концентраторів сонячної енергії з центральним приймачем-парогенератором (рис. 1.8) є:

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рис. 1.8. Електростанція баштового типу з плоскими дзеркалами у якості концентраторів

- висока температура на поверхні приймача, що може сягати 1500°C , досягається розташуванням навколо приймача випромінювання сотень і тисяч таких дзеркал;
- достатньо високий ККД (близько 20%);
- централізований пункт виробітки електричної енергії.

Недоліками СЕС такого типу є:

- з однієї установки можливо отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти;
- значна площа, яку вони займають. Для розміщення баштової електростанції потужністю 10 МВт необхідна площа 20 га;
- обов'язковість застосування автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому.

Світова практика експлуатації станцій баштового типу довела їх технічну спроможність і працездатність.

Наступним типом концентратора сонячної енергії — параболоциліндричного типу (рис. 1.9).

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

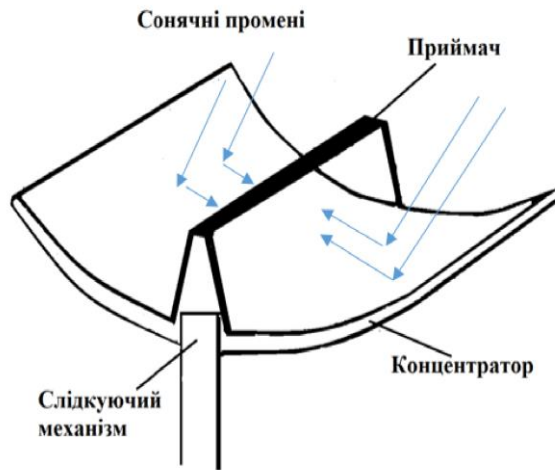


Рис. 1.9. Схема розташування елементів концентратора параболоциліндричного типу

До його переваг віднесемо:

- більш просту систему стеження за Сонцем, ніж для концентратора сонячної енергії баштового типу (використання лише одновісної системи);
- достатньо низька металоємність;
- питома вартість станцій параболоциліндричного типу близька до питомої вартості АЕС;
- ККД близько 20 %.

Недоліки:

- нижча температура теплоносія, ніж у концентраторів сонячної енергії баштового та параболокругового типу;
- потреба у циркуляційних насосах для теплоносія;
- необхідність використання подвійних скляних або вакуумних приймачів сонячної енергії через велику їх протяжність, що спричиняє великі втрати тепла;
- обмеженість максимальної потужності електростанції через велику протяжність труб з теплоносієм.

В установках параболокругового типу (рис. 1.10) використовуються параболічні дзеркала, які фокусують сонячну енергію на приймачі, розташованому у фокусі.

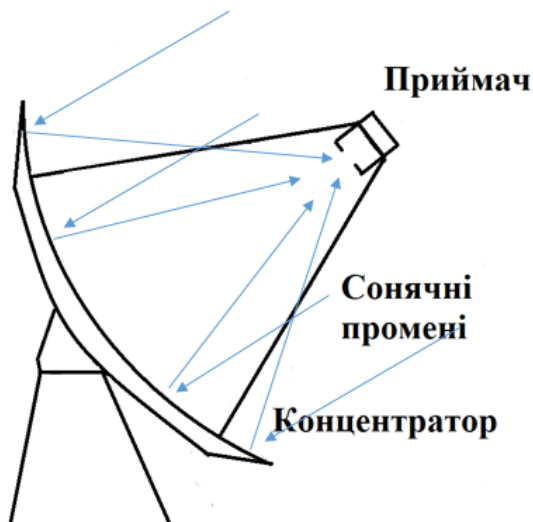


Рис. 1.10. Схема сонячної установки параболокругового типу

До переваг можна віднести:

- приймач нагрівається до 1000°C ;
- можливість використання для генерації електричної енергії двигуна Стирлінга безпосередньо на параболокруговому концентраторі, без перенесення теплової енергії на відстань;
- можливість питомої вартості сонячної електростанції параболокругового типу бути меншою, ніж електростанцій баштового і параболоциліндричного типів.

Недоліки:

- складність виготовлення відбивача правильної форми;
- необхідність у системі спостереження за Сонцем, яка складніша, ніж для концентратора сонячної енергії параболоциліндричного типу;
- максимальний діаметр обмежений до 20 м через складність виготовлення;
- потужність випромінювача обмежена до 60-75 кВт [11].

1. 3. Двигун Стирлінга, основні типи та параметри

Двигун Стирлінга є унікальною тепловою машиною, оскільки його теоретична ефективність практично дорівнює максимальній ефективності теплових машин (ефективність циклу Карно). Двигун Стирлінга працює за рахунок теплового розширення газу, за яким слідує стиснення після його охолодження. Слід зазначити, що його хімічний склад під час роботи двигуна не змінюється. Двигун Стирлінга містить деякий постійний об'єм робочого газу, який переміщується між "холодною" та "гарячою" частинами, що розігрівається за рахунок спалювання палива будь-якого виду, атомним реактором або за рахунок сонячного тепла. Нагрів здійснюється ззовні, тому двигун Стирлінга відносять до двигунів зовнішнього згоряння (ДЗЗ) [12].

Історія двигуна Стирлінга почалась з патентування Робертом Стирлінгом теплової машини ще у 21 вересня 1816 року в Единбурзі (Шотландія), що була названа – *economiser* (сьогодні вона має назву ДЗЗ, або називають на честь винахідника, двигун Стирлінга). А публікація Ніколи Леонара Саді Карно "Про рушійну силу вогню" заклала теоретичні основи для створення теплових машин, в тому числі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Дизельний ДВЗ був створений лише через 39 років – у 1897р.

На початку ХІХ століття двигун Стирлінга було визнано найбільш надійною паровою машиною, яка ніколи не вибухає, що досить часто траплялось з іншими типами парових двигунів. До того ж ДЗЗ має суттєву перевагу – безшумність.

На початку ХХ ст. конструкційна досконалість двигуна Стирлінга дозволила запровадити його в багатьох галузях техніки і економіки: від приводу ткацьких верстатів до обертання лопатевих коліс суден та подачі повітря до церковних органів. Незважаючи на це, у 20-х роках ХХ ст. розвиток ДЗЗ припинився.

Двигуни, що випускались у значній кількості до першої світової війни, зрештою, були недостатньо економічними, насамперед через відсутність придатних для їх виготовлення матеріалів. Тому, поява перед війною

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

електродвигунів та ДВЗ, що були більш економічними і компактними, перешкодила подальшому розвитку двигунів Стирлінга. Моделі невеликих потужностей випускали ще до 50-тих років.

На сьогодні, завдяки появі високоміцних термостійких матеріалів, електронних систем управління і нових технологій виробництва двигун Стирлінга знову привернув увагу фахівців. Теоретичні розрахунки довели, що порівняно з ДВЗ, за умови застосування сучасних матеріалів, він виграє за економічними та екологічними показниками. І сьогодні знову двигун Стирлінга знайшов своє місце у використанні його в парі з нетрадиційними джерелами енергії.

Теоретична ефективність використання теплоти в двигуні Стирлінга відповідає найкращим зразкам ДВЗ, але практично забезпечити високий ККД двигуна Стирлінга можливо тільки за наявності ефективного регенератора, що утилізує теплоту. Питома потужність двигуна Стирлінга відповідає потужності дизельного ДВЗ.

Тривала історія розвитку двигунів із зовнішнім підведенням теплоти зумовила створення великої кількості різновидів цих двигунів [13].

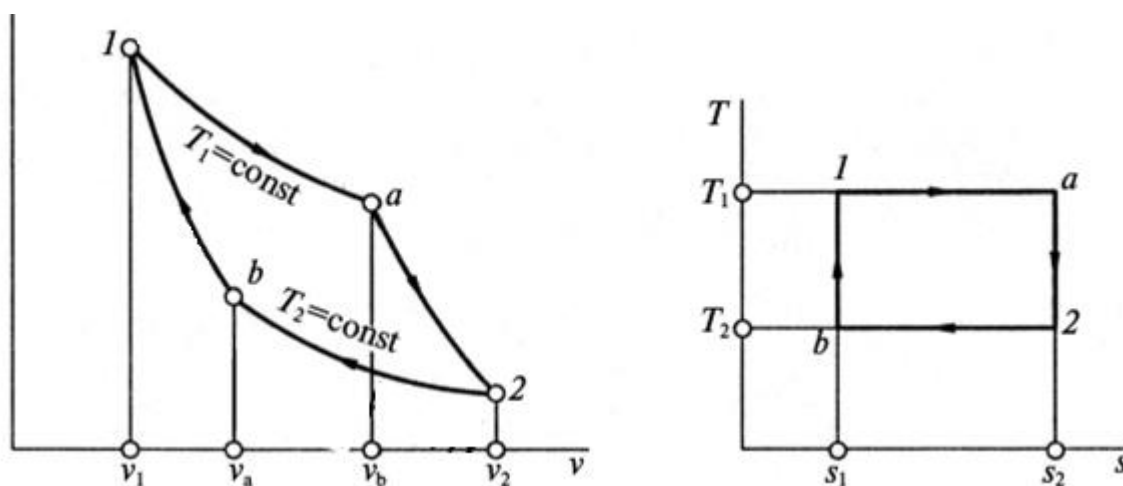


Рис. 1.11. P - V і T - S діаграми для ідеального циклу Стирлінга

Двигун Стирлінга є тепловою машиною замкнутого циклу. Його робота заснована на розширенні газу, використововуваного як робоче тіло, при підвищенні температури. На рис. 1.11 приведені діаграми для ідеального циклу Стирлінга в координатах тиск-об'єм P - V і температура-ентропія T - S .

На діаграмах цифрами позначені точки, що розділяють етапи роботи двигуна. На першому етапі 1-2 відбувається ізотермічне розширення газу. Далі, на етапі 2-3 – охолодження при постійному об'ємі. На етапі 3-4 – ізотермічне стиснення охолодженого газу. А на етапі 4-1 розширення при постійному об'ємі. Корисна робота виконується газом тільки на першому етапі. На всіх інших етапах виконуються за рахунок накопиченої енергії (енергії маховика).

Для ідеального випадку ККД такої системи може бути записаний як:

$$\eta_K = (T_{max} - T_{min})/T_{max} \quad (1.1)$$

де T_{max} температура нагрівача;

T_{min} температура холодильника [14].

Практично досяжний ККД Стирлінга удвічі нижче, ніж для циклу Карно. Зменшення ККД обумовлене теплообміном, тертям тощо.

Двигун Стирлінга працює при наявності джерела тепла та перепаду температур. Він може житись від сонячного тепла, атомного реактора, розплаву металу, солей або розігрітих земних надр. В такому разі він не потребує кисню і не є шкідливим для екології.

Конструктивно Стирлінг значно простіше двигуна ДВЗ. В ньому відсутня система запалювання, подачі палива. Двигун може бути виготовленим так, щоб для його запуску не було необхідності у стартері та акумуляторі. У двигуна Стирлінга відсутні клапани, розподільчі вали тощо, як наслідок ресурс Стирлінга може складати десятки та сотні тисяч годин без обслуговування.

Видатною особливістю Стирлінга є те, що маленький Стирлінг працює так, як великий. В маленькій камері швидше урівноважується різниця температур, процеси майже ізотермічні. Тобто, якісно зроблений модельний двигун буде працювати навіть краще за великий [14].

Двигуни Стирлінга виготовляють різних конструкцій. Однією з можливих виконань двигуна Стирлінга є конструкція з циліндрами, розташованими під кутом 90°, як зображено на рис. 1.12. У кожному циліндрі

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

переміщується поршень: у гарячому – робочий, в холодному - витискувач. Поршні з'єднано із кривошипом колінчастого валу шатунами. Гаряча порожнина сполучена з холодною через регенератор і охолоджувач. Регенератор є тепловим акумулятором, призначеним для запобігання втратам теплоти. Він сприймає теплоту робочого тіла при перетіканні з гарячої порожнини в холодну і віддає її при зворотному перетіканні робочого тіла. Матеріал регенератора повинен мати високу теплоємність та низьку теплопровідність, щоб уникнути передачі теплоти до холодильника.

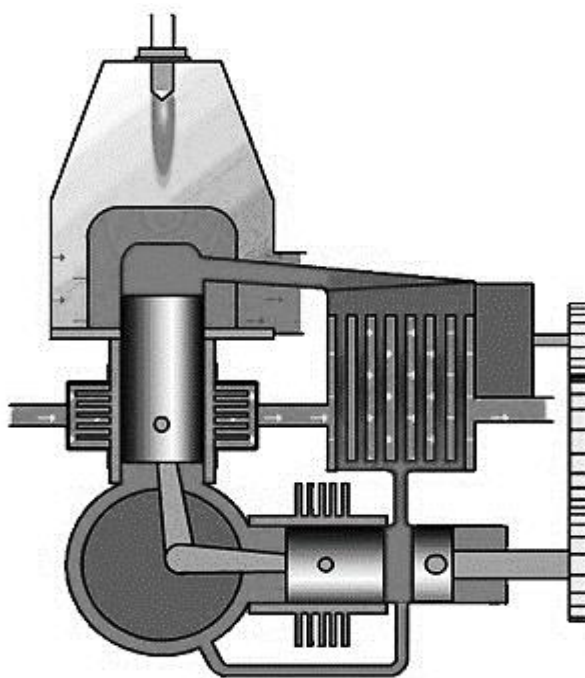


Рис. 1.12. Одна з можливих схем двигуна Стирлінга

Холодильник сприймає основну частину теплоти, яка відводиться від робочого тіла, що зумовлено замкненим циклом двигуна Стирлінга. Порівняно з дизелем, у систему охолодження двигуна Стирлінга відводиться удвічі більше теплоти, тому продуктивність системи охолодження повинна бути вдвічі вищою.

Під час руху поршня вгору відбувається стискання повітря в усіх порожнинах двигуна, робоче тіло через регенератор, де відбирає накопичену теплоту, перетікає у гарячу порожнину. Теплоту до робочого тіла в гарячій порожнині підводять ззовні крізь стінки циліндра, від продуктів згоряння, що утворюються в камері згоряння. Нагрівання робочого тіла в гарячій порожнині зумовлює підвищення його тиску в усіх сполучених між собою порожнинах

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

двигуна. Під дією цього тиску робочий поршень переміщується вниз, здійснюючи робочий хід, а робоче тіло проходить регенератором, віддає йому частину теплоти, охолоджується в охолоджувачу і потрапляє до холодної порожнини. Через зниження температури зменшується тиск. Далі цей цикл повторюється.

Регулювання потужності може здійснюватись у різні способи. Наприклад, зміною додаткового об'єму, для чого двигун обладнують додатковим поршнем з гвинтовою передачею [13].

Існують два основних типи двигунів Стирлінга, що відрізняються устроєм циліндрів. У першому, так званому двоциліндровому, використовуються окремі циліндри для нагрівання й охолодження робочого газу.

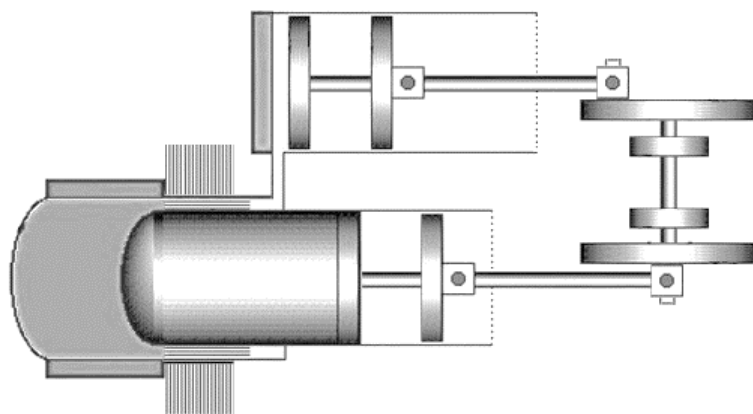


Рис. 1.13. Двоциліндровий двигун Стирлінга

На рис. 1.13 верхня частина гарячого циліндра з поршнем постійно розігрівається зовнішнім джерелом тепла, у той час, як верхня частина холодного циліндра з поршнем постійно охолоджується. Поршні при цьому закріплені на колінчатому валі зі зсувом по фазі на 90° , тобто під час того, як гарячий поршень досягає верхнього положення, холодний знаходиться в середньому положенні, рухаючись вгору.

У іншій конструкції, зображеній на рис. 1.14, – двигуні Стирлінга поршневого типу, використовується один циліндр, верхня сторона якого постійно охолоджується, а нижня – постійно нагрівається. Витіснювач, що розділяє холодну і гарячу частини циліндра, нещільно прилягає до стінок

циліндра, що дозволяє газу переміщатися між ними. У цій конструкції поршні так само закріплені на колінчатому валі зі зсувом по фазі на 90 градусів. Двигун працює по тому ж принципу, що і попередня конструкція.

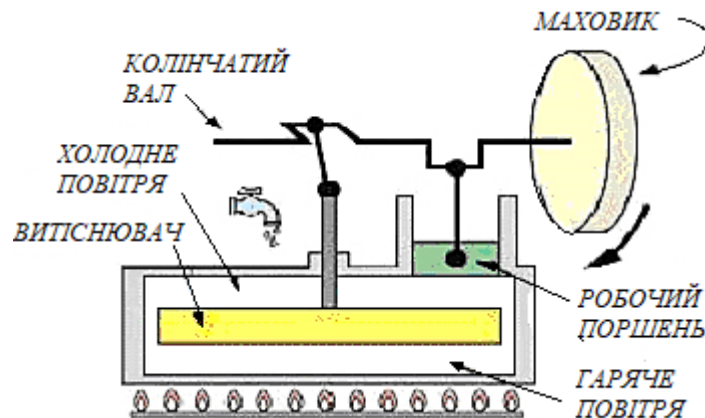


Рис. 1.14. Двигун Стирлінга поршневого типу

У обох конструкціях теплова енергія нагрівача перетвориться в механічну енергію обертання валу. Проте, можливе використання й оберненого циклу Стирлінга. Якщо за рахунок зовнішнього двигуна обертати вал у цих машинах, то робочий газ буде рухатися по зворотньому циклі. При цьому "гарячий" циліндр буде охолоджуватися, а "холодний" – розігріватися. Тобто двигун Стирлінга в цьому випадку буде працювати як холодильна машина. Робочим тілом у ньому може служити будь-який газ, у тому числі повітря [12].

Двигуни Стирлінга підрозділяють на три типи. Альфа-Стирлінга містить два роздільні силові поршні в роздільних циліндрах. Один поршень – гарячий, інший – холодний. Циліндр з гарячим поршнем перебуває в теплообміннику з більш високою температурою, у той час як циліндр із холодним поршнем перебуває в більш холодному теплообміннику. Регенератор перебуває між сполучних трубкою гарячою та холодною частинами. У даного типу двигуна відношення потужності до обсягу є великим, але висока температура "гарячого" поршня створює технічні труднощі.

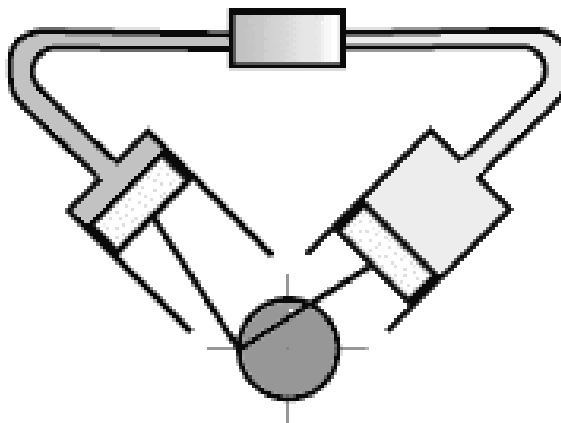


Рис. 1.15. Альфа-Стирлінг

Бета-Стирлінга (рис. 1.16) – циліндр усього один, гарячий з одного кінця та холодний з іншого. Усередині циліндра рухаються поршень і "витискувач", що змінює обсяг гарячої порожнини. Газ перекачується з холодної частини циліндра в гарячу його частину через регенератор. Регенератор може бути зовнішнім, як частина теплообмінника [15].

Можливе внутрішнє виконання регенератора, який сполучається з поршнем-витискувачем і виконує функції рекуператора. При цьому поршень виготовляється у вигляді порожнього циліндра, заповненого металічною сіткою, дротом, гранулами або фольгою. Також поршень може бути виготовлений зі значним зазором до стінок циліндра або мати поздовжні прорізи вздовж осі, в яких протікає робоче тіло [14].

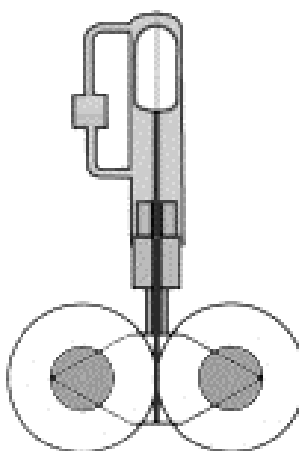


Рис. 1.16. Бета-Стирлінга

Гама-Стирлінг (рис. 1.16) – у конструкції застосований і поршень, і "витискувач", але при цьому присутні два циліндри – холодний та гарячий. У холодному рухається поршень, з якого знімають потужність. В гарячому з одного кінця й холодному з іншого рухається "витискувач". Регенератор може бути зовнішнім, при цьому він з'єднує гарячу частину другого циліндра з холодною й одночасно з першим циліндром. При внутрішньому виконанні регенератор є частиною "витискувача".

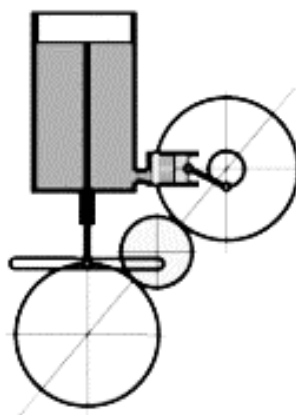


Рис. 1.17. Гама-Стирлінг

Також слід зазначити ще один різновид двигуна Стирлінга – роторний двигун Стирлінга. Даний двигун відрізняється від інших наявністю проміжного контуру. Він виконує роль буферної ємності для тимчасового сповільнювача і відпрацьованого газу. Тимчасовий сповільнювач дає можливість нагріти газ за час руху кулачка по проміжному контуру.

Роторний принцип має ряд позитивних якостей, які недоступні поршневим двигунам. Насамперед – це мініатюрність, що дозволяє зробити не тільки мініатюрним сам двигун, але розмістити всередині нього електрогенератор практично без збільшення розмірів. Наступною істотною перевагою є сталість крутного моменту. Ще однією перевагою є те, що ротор переходить у наступний цикл тільки після того, як остаточно відпрацював у попередньому. У поршневому двигуні рух поршнів проходить по синусоїдальному закону, що знижує ефективність використання роботи газу.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Важливою властивістю є те, що відсутні зворотні рухи, ротор може рухатись тільки поступально, чим збільшує загальний ККД системи. При роботі установки в переносі тепла від "гарячої" до "холодної" частини бере участь увесь обсяг робочого тіла, а не лише його частина, як у поршневих двигунах [15].

До загальних переваг двигунів Стирлінга віднесемо наступні характеристики:

- сучасна конструкція двигуна відрізняється від моделі XIX ст. Завдяки застосуванню новаторських підходів під час його проектування та використання передових технологій при його виробництві вдалося значно підвищити ККД від циклу Карно до 65-70%;
- якісно виконаний і розумно спроектований двигун не потребує у ході роботи ніяких налаштувань. При чому в конструкції відсутні типові для ДВЗ елементи – стартер, клапани та розподільчий вал;
- так як принцип роботи двигуна Стирлінга базується на використанні енергії за іншим підходом (використовується теплова енергія, що підведена ззовні, а не як у ДВЗ – енергія мікрровибуху), ніж ДВЗ, він не схильний до ударних, максимальних навантажень на елементи пристрою;
- з огляду на просту конструкцію двигуна його можливо застосувати для автономної роботи;
- Стирлінг рівномірно і до кінця спалює паливо, завдяки тому, що згоряння відбувається поза двигуном [16];
- незначна витрата мастильних матеріалів;
- низька шумність двигуна Стирлінга, що пояснюється відсутністю механізму газорозподілу, а також плавним неперервним процесом згоряння, на відміну від вибухоподібного згоряння в циліндрах ДВЗ;
- абсолютна різнопаливність двигуна Стирлінга [13].

До недоліків двигуна Стирлінга віднесемо:

- збільшені габарити двигуна через розташування камери згоряння за межами внутрішньої;

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ДЗЗ – матеріалозатратні. А для виготовлення якісного та продуктивного двигуна необхідно використовувати жароміцні сталі, що мають низьку теплопровідність та при цьому витримують високий тиск. Необхідна спеціальна змазка з низьким коефіцієнтом тертя, яка витримує високі температури;

- з метою збільшення ефективності та потужості у ДЗЗ використовується водень та гелій у якості робочого тіла. Водень – вибухонебезпечний, а під дією високих температур утворює металогідриди. А враховуючи високу проникну здатність, можливий витік робочого тіла, що значно впливає на робочий тиск [16];

- неможливість швидкої зміни частоти обертання через наявність теплової інерції всіх контурів та масивність елементів двигуна;
- складність конструкції високоефективних ДЗЗ;
- складність забезпечення надійного ущільнення у зонах розділу робочого і картерного простору двигуна [12].

1.4. Параметри діючих СЕС на базі двигуна Стирлінга

Після того, як було виявлено, що при застосуванні двигунів Стирлінга можливо суттєво підвищити ефективність перетворення сонячного випромінювання у механічну, а далі й у електричну енергію, енергетичні компанії з усього світу розпочали роботу над впровадженням ДЗЗ у свої проекти з використання сонячного випромінювання.

Так, Шведська енергетична компанія Ripasso випробувала свій сонячний концентратор, що поєднує в собі сучасні військові технології з двигуном Стирлінга. У результаті система здатна конвертувати у електроенергію 34% сонячного випромінювання, що одразу постачається у енергетичну мережу. Завдяки такому поєднанню, ККД перевищує ефективність традиційних фотогальванічних елементів практично удвічі.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.18. Сонячні концентратори з встановленими на них двигунами Стирлінга

Пристрій оснащений дзеркальним відбивачем площею 100 м^2 , параболокруговий концентратор обертається за Сонцем та постійно підлаштовується для генерації максимальної кількості електроенергії з сонячної енергії.

Незалежні тестування даного проекту довели, що всього один такий концентратор здатен згенерувати до 75-85 МВт·год "зеленої" енергії в рік. Цього достатньо для забезпечення електроенергією близько десяти середньостатистичних домогосподарств. А при виробництві такої кількості електроенергії на теплоелектростанціях від спаленого вугілля в атмосферу буде викинуто 81 т CO_2 .

Сонячна електростанція Ріпассо працює за рахунок дзеркал, що фокусують сонячне світло в маленькій точці, на двигуні Стирлінга, завдяки чому на нагрітій стороні двигуна вдається отримати температуру близько 700°C .

Комерційний випуск двигуна для СЕС стартував лише у 1988 році, замовлення від шведського міністерства оборони надійшло для підводних човнів. Система пройшла випробування у пустелі більше 4 років, а до цього було успішно пройдено тести на військово-морському флоті. До недоліків нового концентратора відносять недоцільність його застосування у районах з відсутнім постійним сонячним випромінюванням [17].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

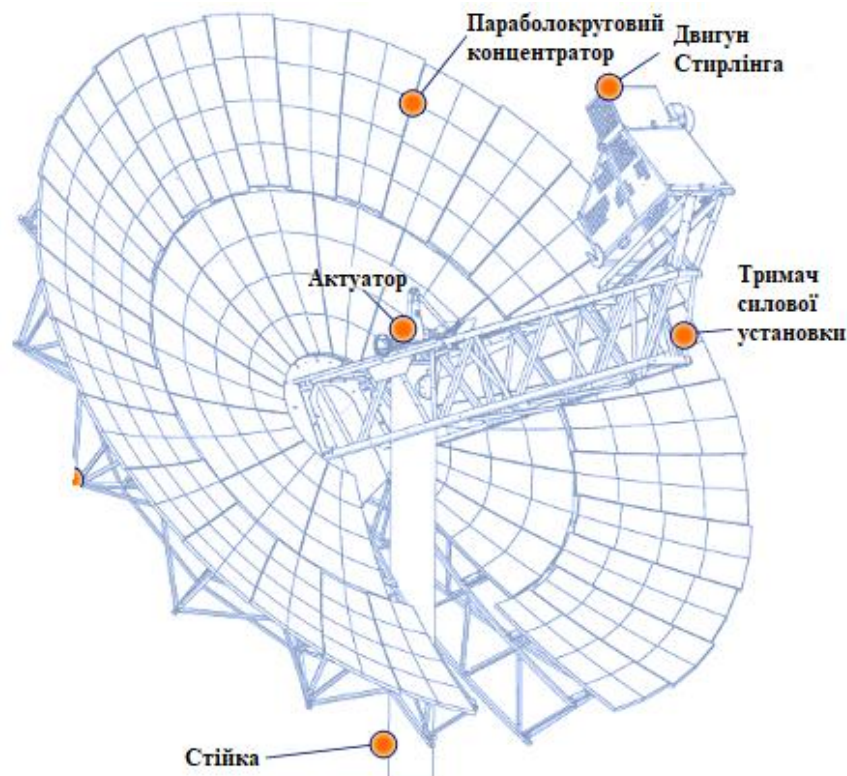


Рис. 1.19. Схема перетворювача сонячної енергії параболокругового типу на базі двигуна Стирлінга

Нова сонячна електростанція в Пеорія, що знаходиться у штаті Арізона в США, складається з 60-ти параболокругових концентраторів, які здатні генерувати до 1,5 МВт/год чистої енергії щогодини. Після її успішного тестування компанія планує розпочати будівництво більш потужного енергетичного комплексу у Каліфорнії з потужністю у 900 МВт.

Компанія Stirling Energy, що була створена у 1996 році в Арізоні, розробила параболокруговий концентратор потужністю 25 КВт, який для генерації енергії також використовує принцип двигуна Стирлінга. На даний час компанія проводить тестування придатності даної технології.

Більшість геліо-термальних технологій використовують сонячні промені для нагріву рідини, яка приводить в обертання турбіну. Проте, завдяки новим розробкам, які дали можливість використання двигунів Стирлінга малих розмірів, конструкція яких використовує поршневий двигун і газ для цієї мети – робота генератора є тихою, а сам генератор компактним і дуже ефективним [18].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.20. Сонячні концентратори параболоциліндричного типу.

Сонячна електростанція компанії Solucar в Санлукар-ла-Майор перевіряє у справі різні технології, такі як параболокругові концентратори з двигунами Стирлінга та видовжені у розмірах параболоциліндричні дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія (рис. 1.20).

У 2013 році на майданчику в Solucar la Mayor зведено декілька різних за принципом дії сонячних установок розрахунковою потужністю у 300 МВт. Дана потужність – еквівалент енергетичних потреб такого міста, як Севілья. На сонячній електростанції Solucar в Санлукар-ла-Майор на практиці перевіряються найбільш нові розробки і технології, прикладами яких є параболокругові концентратори з двигунами Стирлінга і довгі параболоциліндричні дзеркала, обладнані трубами для забезпечення розігріву теплоносія.

Вартість реалізації проектів таких електростанцій є достатньо високою, тому вироблену ними електроенергію дешевою назвати не можна. Однак розвиток даних технологій і розширення таких майданчиків у Санлукар-ла-Майор призведуть до зниження собівартості такої електроенергії. Крім того, введення в експлуатацію цих установок вже сьогодні зменшить викиди в атмосферу 600 тис. т. вуглекислого газу щороку [19].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Висновки

Оскільки викопні види палива стрімко закінчуються через виснаження природних ресурсів, а їх подальше використання веде до енергетичної та екологічної кризи. Вже сьогодні ми на собі відчуваємо вплив глобального потепління викликаного саме використанням викопного виду палива. А через зменшення їх кількості відбуваються війни. Тому, найкращим способом вирішити усі проблеми є використання ВДЕ.

ВДЕ – екологічно безпечні види палива, які поновлюються природним чином та потенційно можуть замінити усі ніші видів палив. А Сонце є головним з таких джерел. Тому його було розглянуто, як джерело для електростанцій.

Енергію Сонця перетворюють у корисну енергію на таких основних типах перетворювачів, як баштового, параболокругового, параболоциліндричного з двигуном Стирлінга або паротурбіною та на основі фотогальванічних елементів. Задля покращення ефективності таких систем використовують системи трекінгу за положенням Сонця.

Використання концентратора параболоциліндричного типу у парі з двигуном Стирлінга мають декілька переваг у порівнянні з іншими видами перетворювачів: більш просту систему стеження, відносно низьку питому вартість та високий ККД.

Двигун Стирлінга, завдяки сучасним технологіям, може перетворювати енергію з ефективністю 65-70% від циклу Карно. Через більш просту конструкцію та використання іншого підходу використання енергії, на відмінну від ДВЗ, термін експлуатації без повторного технічного огляду та ремонту у декілька разів вищий за ДВЗ. Також двигуни Стирлінга потребують незначну витрату мастильних матеріалів та є практично безшумними. Проте їх габарити є значними, а у якості робочого тіла часто використовується водень, який є надзвичайно вогненебезпечним.

Практичність та ефективність у цілому підтверджують діючі СЕС на базі двигуна Стирлінга, яким вдається отримати ефективність кінцевої СЕС на рівні 30%, що є значно вищим за більш поширенні фотогальванічні перетворювачі.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок параболічного концентратора

Кожна елементарна одиниця площини рефлектора відбиває потік випромінювання Сонця, у результаті чого відбите випромінювання розсіюється згідно закону Гауса [20]:

$$E = \frac{E_0 h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \varphi^2}, \quad (2.1)$$

де h – інтегральний ступінь точності, град⁻¹;

E_0 – густина потоку сонячного випромінювання, Вт/м².

Все випромінювання з напрямленням φ , що відбивається від кожної елементарної одиниці площини, створює елементарний потік відбитого сонячного випромінювання. Отже, елементарна одиниця площини дзеркала сонячного концентратора може мати певні відхилення від ідеальної геометричної поверхні, що підпорядковуються закону імовірності.

Густина випромінювання видимого диску Сонця є нерівномірною. Найбільшого значення досягає в центрі і далі рівномірно зменшується до краю [21].

Узагальнена математична модель дає можливість забезпечити реалізацію етапів розрахунку, а також проектування з врахуванням енергетичних характеристик джерел випромінювання, неідеальності поверхонь відбивача/приймача та інше. Формула розрахунку максимальної концентруючої можливості для параболоциліндричних дзеркал ідеалізованої системи представлена у роботі [22]:

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА			
Розроб.	Паращук В.Р.							
Перевір.	Тарасенко М.Г.							
Консульт.	Тарасенко М.Г.							
Н. Контр.	Коваль В.П.							
Затверд.	Тарасенко М.Г.				Літ. Арк. Акрушів 39 104 <i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>			

Для визначення опромінення в фокальній точці для сонячного концентратора можна прийняти формулу Р.Р. Апарісі [20]:

$$E_F = 8,36 \cdot 10^3 \cdot E_0 \cdot R_S \cdot A_m \cdot h^2, \quad (2.4)$$

де A_m – функція, яка враховує геометричні особливості для відбивача.

Розрахувати функцію A_m для параболоциліндричних відбивачів можна за наступною формулою:

$$A_m = b \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot (\cos U_m + 2) \sqrt{1 - \cos U_m}, \quad (2.5)$$

де b – піввісь для елементарного еліпса, яка визначається, як:

$$b = p \cdot \frac{\varphi}{1 + \cos U_m}, \quad (2.6)$$

де p – фокальний параметр (м).

Фокальний параметр визначається відповідно до геометричної форми сонячного концентратора. Для параболоциліндричних рефлекторів обчислюється:

$$p = 2f, \quad (2.7)$$

де f – фокальна відстань, м.

Формула Р.Р. Апарісі є універсальною та може бути застосована як для параболоциліндричних, так і для параболічних концентраторів.

Опромінення в фокальній точці обчислюється інтегралом [24]:

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_F = \int B(\overrightarrow{dw})dw_z, \quad (2.8)$$

де $B(\overrightarrow{dw})$ – енергетична яскравість у напрямку $\overrightarrow{dw}$;

$\overrightarrow{dw}$ – елементарний вектор для тілесного кута;

dw_z – проекція $\overrightarrow{dw}$ на оптичну вісь z.

У разі постійної яскравості у межах тілесного кута, система є симетричною та відсутнє затемнення, тоді опромінення у фокальній точці [24]:

$$E_F = \pi \cdot B \cdot \sin^2 U_m. \quad (2.9)$$

Енергетичну яскравість в напрямку до елементарного тілесного кута визначимо за формулою [25]:

$$B = 1,255 \cdot B_{\text{ср}} \frac{\left(1 + 1,5641 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^2}\right)}{2,5641}. \quad (2.10)$$

Розподіл яскравості на сонячному диску можна також представити у вигляді:

$$B = R_s \cdot B_0 \quad (2.11)$$

Яскравість сонячного диску у земних умовах в центрі перевищує середню яскравість в 1,2 рази [24].

$$B_0 = 1,2 \cdot B_{\text{ср}}. \quad (2.12)$$

Середню яскравість сонячного диска визначимо з формули [24]:

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$B_{\text{ср}} = \frac{E_0}{\pi \cdot \varphi_0^2}, \quad (2.13)$$

де φ_0 – кут розкриття для елементарного конічного пучка, рад. Кутовий радіус для Сонця дорівнює 0,004654 рад.

Сонячне проміння на земну поверхню падає під тілесним кутом малої величини та з відносно низькою густиною сонячного потоку. Схема концентрації сонячного випромінювання для параболічного рефлектора на рис. 2.2.

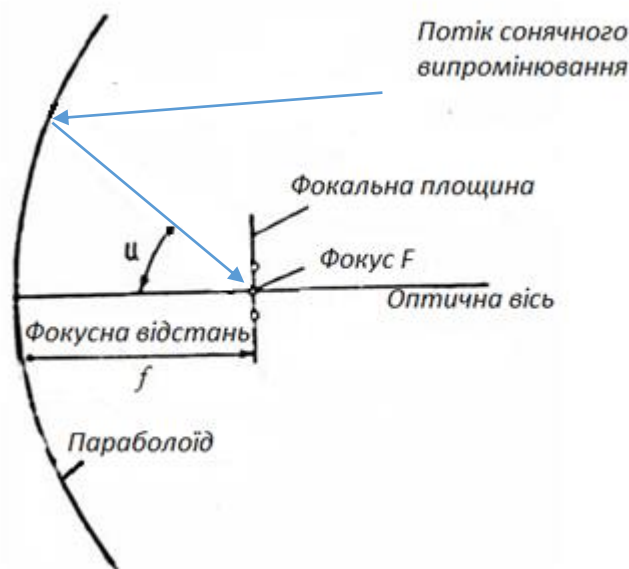


Рис. 2.2. Схема концентрації сонячного випромінювання

Отже, опромінення у фокусі ідеального параболоїдного концентратора [24]:

$$E_F^{\text{ід}} = \frac{1,2}{\varphi_0^2} \cdot E_0 \cdot R_s \cdot \sin^2 U_m. \quad (2.14)$$

Інтегральний параметр точності в умовах ідеальної системи:

$$(h_1^{\text{ід}})^2 = \frac{1,2}{\varphi_0^2} = (236)^2. \quad (2.15)$$

Враховуючи (2.15), формула (2.14) матиме наступний вигляд:

$$E_{F(i)}^p = (h_1^{id})^2 \cdot E_0 \cdot R_s \cdot \sin^2 U_m = (236)^2 \cdot E_0 \cdot R_s \cdot \sin^2 U_m. \quad (2.16)$$

Формула опромінення в фокусі для реального параболоїдного концентратора обчислюється, як:

$$E_{F(p)}^p = (h_1^{id})^2 \cdot E_0 \cdot R_s \cdot \sin^2 U_m. \quad (2.17)$$

Оскільки не всі точки апертури направлять промені в фокус, то у фокусі для реальної концентруючої системи опромінення буде менше ($E_F^{id} > E_F^p$). Реальна апертура виявляється меншою ніж у ідеальному випадку [28].

Важливим аргументом, який неодмінно потрібно враховувати є $h_1^{id} > h_1$. Коефіцієнт h_1 пов'язаний з неідеальністю концентруючої системи, φ_0 та B_0 . При сталій відстані від Сонця до концентратора, параметр h_1 характеризує ідеальність сонячної концентруючої системи та може бути прийнятим за інтегральний ступінь точності, що визначається:

$$h_1 = h \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (2.18)$$

За графіком, що представлений на рис. 2.3 визначається коефіцієнт h [20].

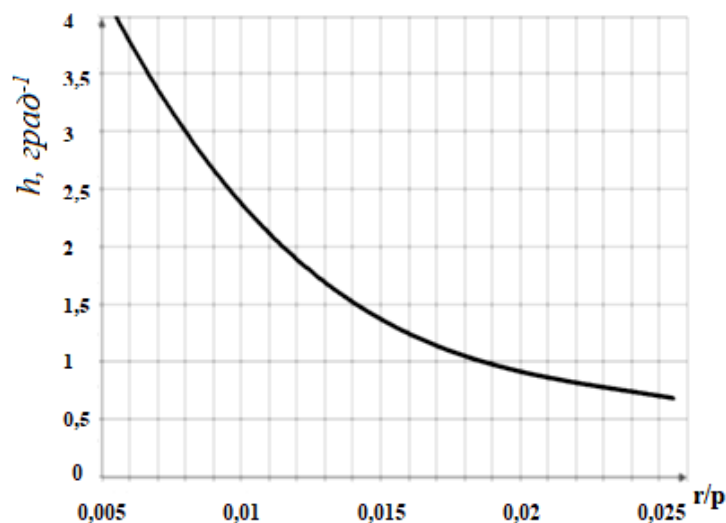


Рис. 2.3. Залежність коефіцієнту h , від радіусу фокального зображення r/p

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Прийmemo, що досліджувана точка A лежить на площині L , яка віддалена від фокальної на відстань l та розташована від оптичної вісі на відстані r . Точка M оточена площадкою dS та створює в точці A певний променевий вектор.

Радіус-вектор на фокальній площині, відстань від фокуса [20]:

$$r = p \cdot \sin \varphi, \quad (2.19)$$

де p – відстань від фокусу до певної точки кривої та визначається з рівняння конічного перерізу [24]:

$$p = \frac{p}{1 + \cos U_m}. \quad (2.20)$$

Оскільки $\sin \varphi \approx \varphi$, тоді $r = p \cdot \varphi$.

Коефіцієнт h_1 є основною відмінністю, яку потрібно враховувати при обрахунку $E_{f(p)}$ та $E_{f(i)}$. Даний коефіцієнт при визначенні опромінення у фокусі реального відбивача розраховують по формулі (2.18), а для розрахунку ідеального відбивача приймають за 236 та є сталою величиною.

Тому, опромінення у фокусі реального параболоциліндричного концентратора визначають за наступною формулою [26]:

$$E_{f(p)}^{\text{ПЦ}} = 8,36 \cdot 10^3 \cdot E_0 \cdot R_s \cdot A_m \cdot h^2. \quad (2.21)$$

2.2. Розрахунок енергоефективності вакуумної трубки та сонячного концентратора на її базі загалом

Вакуумні трубки, як теплоізолятор здобули широку популярність для сонячних перетворювачі сонячної енергії у всьому світі. Вони високоефективно зберігають тепло та можуть працювати навіть при температурі -45°C . В основному такі трубки використовують для сонячних колекторів, де вони показали свою ефективність та стійкість до різних погодних умов.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Через те, що між трубками утворений вакуум, а він є відмінним теплоізолятором, тому тепловтрати вакуумних трубчастих колекторів удвічі менші за плоскі колектори. Порівнюючи колектори на основі вакуумних трубок з плоскими колекторами під час експлуатації, зазначимо, що вони мають перевагу при низьких температурах через вищий ККД. Для колекторів на основі вакуумних трубок дуже важливим є збереження вакууму протягом всього періоду експлуатації.

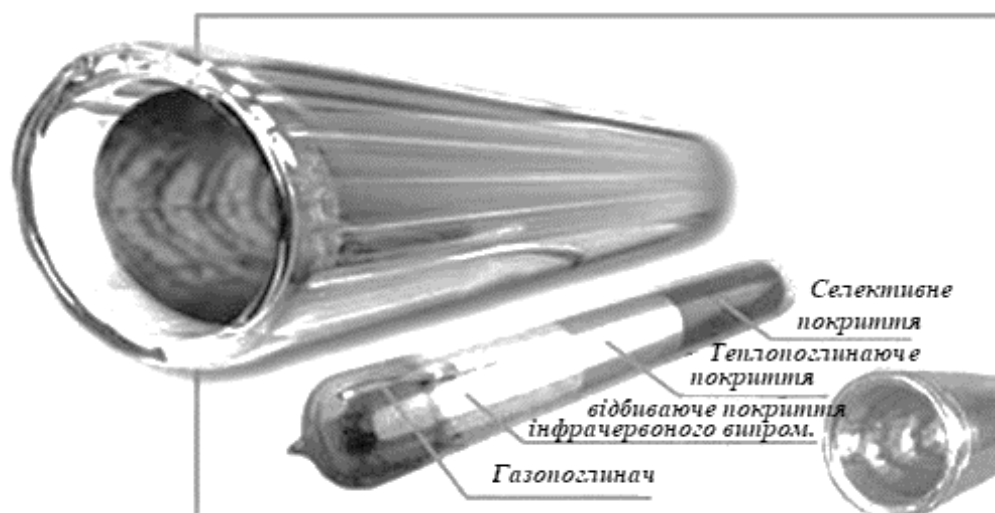


Рис. 2.4. Схематичне зображення вакуумної трубки

Згідно з рис. 2.4, конструкційно вакуумна трубка схожа на термос: трубку меншого діаметру вміщено у трубку більшого діаметру, а у просторі між трубками створено технічний вакуум (як повідомляють виробники, менше $5 \cdot 10^{-3}$ Па). Зовнішня трубка виконує захисну функцію та виготовлена, як і для плоских колекторів, з високоякісного та міцного боросилікатного скла. А це забезпечує захист від механічних пошкоджень та навіть граду діаметром до 35 мм. Сонячна енергія, яка поглинається багат шаровим покриттям вакуумної трубки, перетворюється у теплову енергію та передається мідній/алюмінієвій поглинаючій пластині. Поглинаюча пластина забезпечує максимальний рівень поглинання сонячної енергії та низьке теплове випромінювання. Під поглинаючою пластиною (абсорбером) розміщена поглинача трубка, у якій циркулює теплоносій, що й відбирає тепло [27].

Сонячні перетворювачі енергії на основі вакуумних трубок здатні генерувати теплову енергію більш високого потенціалу. Високопотенціальна енергія може підійти для технологічних потреб, таких як поєднання з перетворювачем теплової енергії – двигуном Стирлінга.

Для обрахунку ККД вакуумної трубки можна використати формулу обчислення сонячних колекторів:

$$\eta = \eta_0 - k \cdot \frac{\Delta T}{E_0}, \quad (2.22)$$

де η_0 – ККД оптичної системи;

k – коефіцієнт теплових втрат, даний коефіцієнт вказують виробники вакуумних теплових трубок, Вт/К·м²;

ΔT – різниця температур, °К;

E_0 – густина потоку сонячного випромінювання, Вт/м².

Згідно (2.22) ККД є залежністю між різницею температури (навколишнім повітрям і теплоносієм) в сонячному колекторі та сонячного випромінювання.

Для більш точних розрахунків використовують наступну формулу:

$$\eta = \eta_0 - \left(k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_0} + k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_0} \right), \quad (2.23)$$

де k_1 та k_2 коефіцієнти теплових втрат, що вказуються виробником вакуумних теплових трубок, Вт/(К · м²) [28].

За (2.23), ККД реального приймача сонячної енергії можна оцінити залежність ККД від різниці температури теплоносія та зовнішнього середовища при опроміненні у фокусі параболоциліндричного концентратора.

Коефіцієнти k_1 та k_2 сучасні виробники отримують шляхом експериментальних досліджень, та відрізняються від моделі та виробника вакуумних теплових трубок.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані коефіцієнти є схожими для більшості виробників. Для подальших розрахунків енергоефективності системи сонячного концентратора разом з двигуном Стирлінга можна використати подані дані у виробника – Paradigma.

За даними Paradigma з сайту представника в Україні коефіцієнти коефіцієнти теплових втрат мають наступні значення [29]:

- $k_1 = 0,613$;
- $k_2 = 0,003$.

Даного виробника обрано через високу якість його продукції, популярність систем та застосування технології плазмового напилення, за плазмового напилення покриття утворюється з частинок розплавленого силікату. Вони переносяться на поверхню трубки та оптимізують процес перетворення сонячного випромінювання у теплову енергію.

Як описує виробник, за рахунок нових технологій було досягнуто нових робочих температурних показників від 60 до 160°C. Тому використовувати такі установки стало можливо навіть при несприятливих умовах за густини сонячного випромінювання у 400 Вт/м, при використанні у сонячних колекторах. А при використанні у парі з сонячними параболоциліндричними концентраторами сонячного випромінювання дає ще вищий ефект.

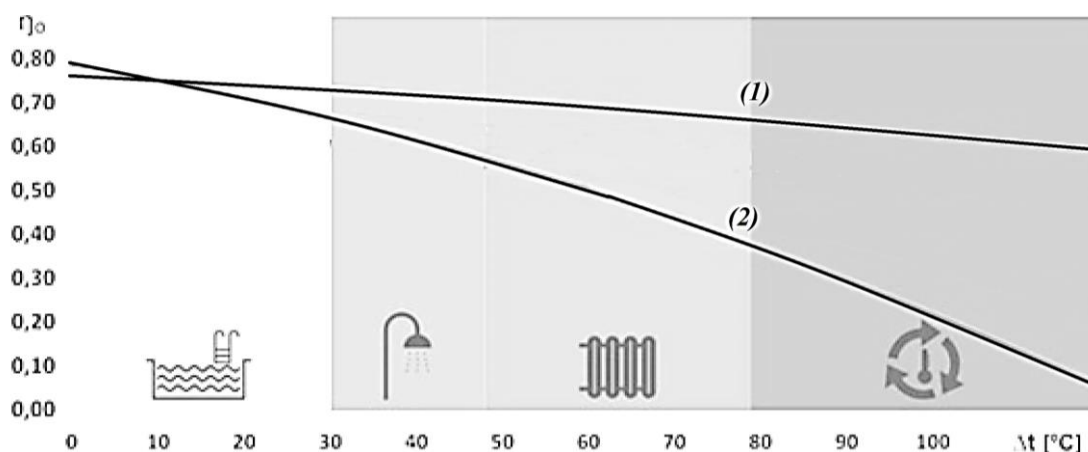


Рис. 2.5. Залежність ККД від різниці температур навколишнього повітря та теплоносія у сонячному колекторі [30]: 1 – колектор з вакуумними трубками; 2 – плоский колектор.

Згідно графіку (рис. 2.5) залежності ККД від різниці температури навколишнього повітря та теплоносія у сонячному колекторі за умов густини

поток соляного випромінювання у 1000 Вт/м^2 видно, що ККД є високим при використанні таких трубок навіть без концентрації соляної енергії.

Згідно (2.17) очевидно, що зі збільшенням інтенсивності випромінювання з Сонця та сталій різниці температур між зовнішнім середовищем та теплоносієм ККД системи у цілому збільшується.

Замінивши у (2.17) інтенсивність випромінювання на опромінення у фокусі реального параболоциліндричного концентратора отримаємо формулу розрахунку ККД для параболоциліндричного концентратора ($E_{f(p)}^{\text{ПЦ}}$):

$$\eta = \eta_0 - \left(k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_{f(p)}^{\text{ПЦ}}} + k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_{f(p)}^{\text{ПЦ}}} \right). \quad (2.24)$$

2.3. Ефективність роботи двигуна Стирлінга

Кількість теплоти, що підводиться і відводиться в циклі Стирлінга збільшується пропорційно до отриманої роботи. Частка підведеної теплоти, перетвореної в роботу (термічний ККД циклу) є однаковою для обох циклів [31].

На ефективність роботи двигуна Стирлінга в реальних умовах впливають наступні параметри:

- робочий тиск;
- мертвий об'єм;
- сили тертя, що зростають з температурою, тиском;
- різниця температур холодильника та нагрівача, як і для ідеального випадку;
- номінальна частота обертання двигуна.

Під час експлуатації на кінцевий ККД все більшої ролі відіграють наступні параметри:

- як зазначалося вище, сили тертя, вплив яких збільшується у процесі експлуатації;

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- просочування газу з робочих камер двигуна, внаслідок чого знижується тиск газу, що, у свою чергу, негативно впливає на ККД.

Головна відмінність дійсного циклу від ідеального полягає у так званому "мертвому" об'ємі, тобто неможливості поширення на всю масу робочого тіла єдності місця, стану і часу. Навіть у разі переривчастих рухів поршнів ідеальний двигун Стирлінга повинен мати певний "мертвий" об'єм, який займається регенератором і іншими теплообмінниками, що зумовлює зменшення амплітуди тиску при переміщенні робочого тіла з порожнини стиснення в порожнину розширення.

В результаті потужність двигуна знижується, хоча ККД двигуна в цьому випадку дорівнює ККД ідеального циклу.

Достатньо великий вплив на загальний ККД вносять сили тертя. Механічне тертя виникає при роботі поршневих кілець робочого поршня, гумових ущільнень, підшипників, масляного насоса та у інших частинах у залежності від конструкції агрегату. В режимі холостого ходу, коли двигун не виконує корисної роботи, потужність механічного тертя може бути значною. Механічне тертя збільшується зі зростанням тиску і частоти обертання, що призводить до зниження потужності і ККД. Вплив механічних втрат вказано на рис. 2.9.

Гідравлічний опір викликає інший важливий вид втрат потужності в двигуні Стирлінга, що пов'язано з падінням тиску робочого тіла при проходженні його через нагрівач, регенератор і холодильник. Виникає перепад тиску між порожнинами стиснення і розширення, що призводить до зменшення тиску в порожнині розширення. Внаслідок цього площа робочої порожнини розширення зменшується, що призводить до зниження корисної роботи.

Величина падіння тиску пропорційна щільності і квадрату швидкості робочого тіла. Вплив гідравлічного опору на характеристики двигуна показано на рис. 2.9 (крива Н-Н), де зображено залежність потужності від тиску робочого тіла [31].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

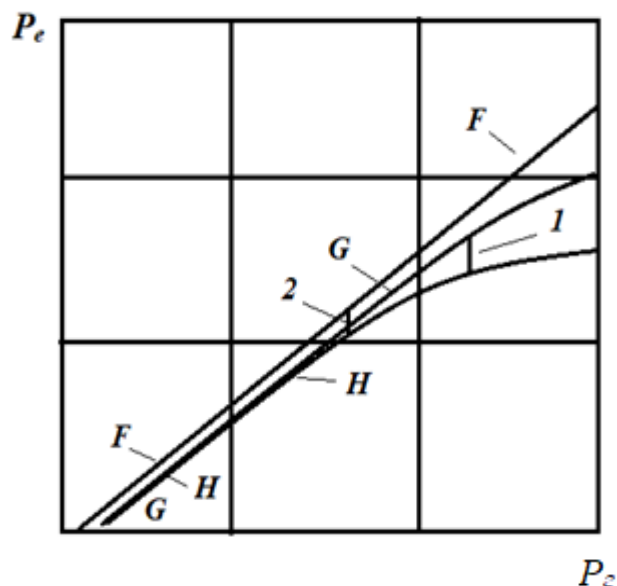


Рис. 2.9. Графік впливу механічних та гідравлічних втрат:

1 – гідравлічні втрати, P_z ; 2 – механічні втрати, P_m

Ефективність роботи реального двигуна можна оцінити на прикладі двигуна Стирлінга компанії Philips з ефективною потужністю у 30 кВт (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Характеристики двигуна Стирлінга виробництва "Philips"

Технічні характеристики двигуна Стирлінга компанії Philips	
Номінальна потужність, кВт	30,0
Робоче тіло	водень
Номінальна температура, °C:	
нагрівача	700
холодильника	15
Максимальний тиск, МПа	13,7
Відношення тисків	2
Діаметр поршня	88
Хід поршня	60

Двигун Стирлінга має високі показники крутного моменту, починаючи вже з низьких обертів, що видно з графіку крутного моменту від швидкості

обертання (рис. 2.10). Також йому притаманні хороші циклічні характеристики крутного моменту, тобто незначна зміна крутного моменту за один оборот валу. Нерівномірність зміни крутного моменту за цикл двигуна Стирлінга є набагато нижчою, ніж у ДВЗ тієї ж потужності [31].

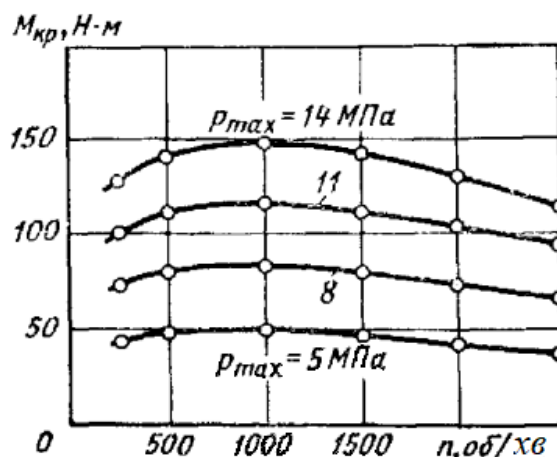


Рис. 2.10. Залежність крутного моменту $M_{кр}$ одноциліндрового двигуна Стирлінга з ромбічним приводом фірми "Philips" від частоти обертання валу при різному максимальному тиску

Як вже згадувалось раніше, при збільшенні робочого тиску збільшується відповідно й ККД двигуна, що підтверджують наступні графіки роботи двигуна компанії Philips.

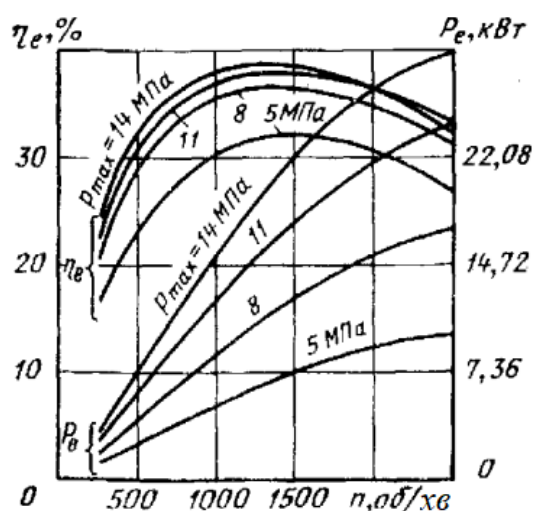


Рис. 2.11. Залежно ефективного ККД η_e і ефективної потужності P_e одноциліндрового з ромбічним приводом двигуна Стирлінга фірми Philips при різному максимальному тиску.

Отже, зі збільшенням тиску газу можна суттєво підвищити ККД двигуна зовнішнього згорання, хоча це потребує більш складнішого устаткування, використання досконаліших, дороговартісних матеріалів та більшої уваги при експлуатації. А це веде до збільшення ціни самого обладнання та обслуговування у подальшій роботі.

Згідно (2.25) та опису роботи двигуна Стирлінга поданого вище, його ККД залежить у найбільшій мірі від різниці температур нагрівача та охолоджувача. Залежність ефективної потужності й ефективного ККД двигуна від температур нагрівача і холодильника представлені на рис.2.12. Вони однозначно відображають покращення цих характеристик при підвищенні температури нагрівача і зниженні температури холодильника [31].

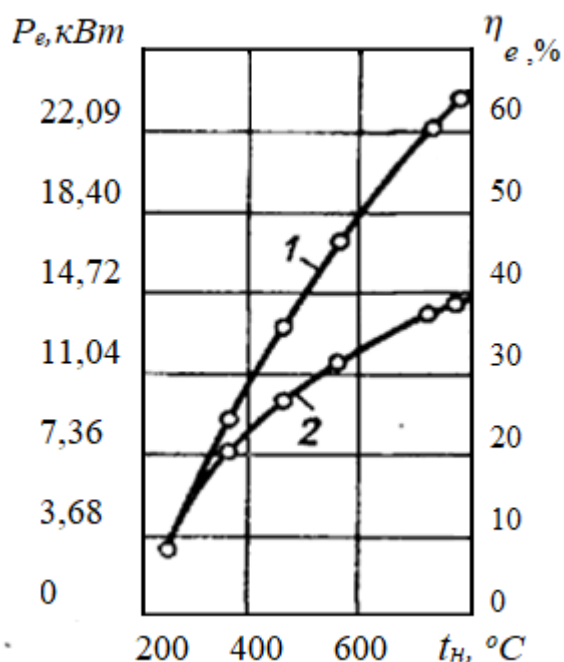


Рис. 2.12. Залежність ефективної потужності P_e і ефективного ККД η_e одноциліндрового двигуна Стирлінга з ромбічним приводом компанії Philips

Згідно рис. 2.12 видно, що максимальний ККД реального двигуна при різниці температур у близько 800°C наближається до відмітки 40 %.

За допомогою засобів Excel змодельовано графік для ідеального двигуна Стирлінга за (2.25). За вхідні дані візьмемо температуру для холодильника у 15°C (згідно технічної характеристики двигуна фірми Philips).

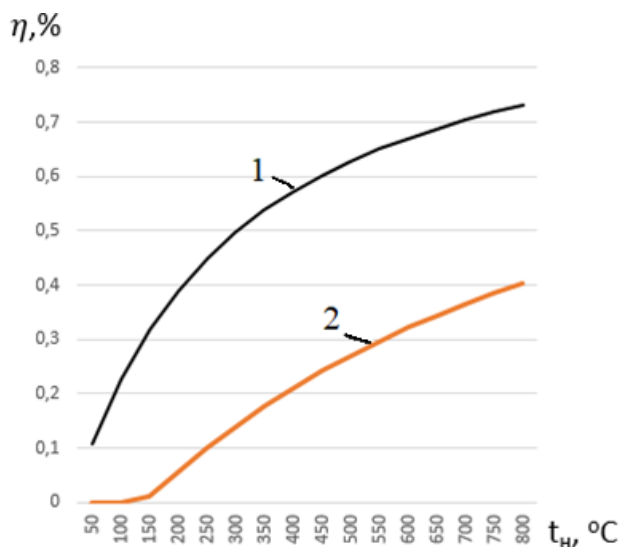


Рис. 2.13. Порівняння ідеального та реального ККД для двигуна компанії Philips: 1 – ККД ідеального двигуна Стирлінга; 2 – ККД двигуна компанії Philips.

За отриманим графіком ККД для ідеального двигуна Стирлінга згідно циклу Карно та поданим графікам для реального двигуна фірми Philips очевидно, що дані кривих ідеального та реального ККД кардинально різняться. Для подальшого спрощення обчислення ефективності у наступних розрахунках введемо коефіцієнт K . Таким чином отримаємо формулу для розрахунку реального ККД двигуна Стирлінга:

$$\eta_p = K \cdot \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}}, \quad (2.26)$$

де K – коефіцієнт, що враховує неідеальність механізмів та роботу в цілому реального ДЗЗ.

Згідно реального та ідеального графіків ККД було виведено коефіцієнт K для двигуна зовнішнього згорання виробництва Philips:

$$K = 0,2 - (T_{max}^{0.091} - \eta_i^{-0.26}), \quad (2.27)$$

де η_i – ККД ідеального двигуна Стирлінга, циклу Карно;

T_{max} – температура нагрівача двигуна Стирлінга.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Підставивши коефіцієнт K у (2.26), отримаємо:

$$\eta_p = (0,2 - (T_{max}^{0,091} - \eta_i^{-0,26})) \cdot (T_{max} - T_{min})/T_{max}. \quad (2.28)$$

Для подальших розрахунків ефективності системи на основі двигуна Стирлінга та концентратора сонячної енергії, підставимо у (2.28) значення (2.25), та отримаємо кінцеву формулу для розрахунку:

$$\eta_p = \left(0,2 - \left(T_{max}^{0,091} - (T_{max} - T_{min})/T_{max} \right)^{-0,26} \right) \cdot (T_{max} - T_{min})/T_{max}. \quad (2.29)$$

Отже, після підстановки коригуючого коефіцієнту K для обраного ДЗЗ фірми Philips, ми отримали кінцеву формулу для розрахунку ККД. Як впливає з графіку (рис. 2.13), ККД двигуна Стирлінга компанії Philips складе від 3% при температурі $T_{max} = 150^\circ\text{C}$ до 55% при температурі $T_{max} = 800^\circ\text{C}$ від ККД ідеального циклу Карно.

2.4. Ефективність перетворення механічної енергії у електричну генератором змінної напруги

Важливою частиною СЕС на базі ДЗЗ є генератор напруги, який перетворює енергію обертання ДЗЗ Стирлінга у електричну енергію. Оскільки вироблену енергію доцільно вдень віддавати у електричну мережу, то необхідно для такої СЕС встановити генератор змінної напруги. У ночі ж можна навпаки використовувати електроенергію мережі. Існують два типи генераторів: асинхронний та синхронний. Обидва мають свої переваги та недоліки.

Для розрахунку було вибрано синхронний генератор, оскільки він має ряд важливих переваг таких, як:

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- стабільна напруга без перепадів на виході генератора, що забезпечують функцією автоматичного регулювання напруги;
- струм високої якості;
- надійна робота [32].

Перетворення в синхронному генераторі механічної енергії двигуна Стирлінга у електричну супроводжується втратами у потужності ΔP . Такі втрати складаються з електричних втрат, що супроводжуються нагріванням обмоток – P_e , магнітних втрат у сталюму осерді – P_c та механічні втрат у підшипниках та на тертя щіток – $P_{\text{мех}}$:

$$\Delta P = P_e + P_c + P_{\text{мех}}, \quad (2.30)$$

де P_e – електричні втрати;

P_c – магнітні втрати;

$P_{\text{мех}}$ – механічні втрати.

Втрати P_e пов'язані з нагріванням статорних обмоток P_{e1} та обмотки ротора P_{e2} . Величини електричних визначаються за діючими у обмотках струмами I_1, I_2 . Їх можна розрахувати за формулою:

$$P_e = P_{e1} + P_{e2} = mr_1 I_1^2 + r_2 I_2^2, \quad (2.31)$$

де P_{e1} – втрати на нагрівання статорних обмоток;

P_{e2} – втрати на нагрівання роторних обмоток;

m – число фаз для статорних обмоток (у трифазному синхронному генераторі $m = 3$);

r_1 та r_2 – активний опір для роторної та статорних обмоток;

I_1 і I_2 – діючі струми у обмотках.

Зважаючи на те, що навантаження генератора з боку мережі та збудження генератора I_1 і I_2 бувають різними, то P_e є змінною величиною.

Магнітні втрати P_c поділяються на втрати гістерезису та вихрові струми. У синхронному генераторі дані втрати є тільки у осерді статора та не залежать від навантаження синхронного генератора, а в роторі магнітних втрат нема. Це стається тому, що магнітне поле ротора та статора обертається синхронно і не перетинає осердя.

Механічні втрати $P_{\text{мех}}$ виникають через тертя у підшипниках та між щітками і кільцями. Через пропускання холодоносія, що використовують для охолодження машини, виникають вентиляційні втрати.

ККД для синхронного генератора можна визначити за формулою:

$$\eta = \frac{P_e}{P_1 - \Delta P}, \quad (2.32)$$

де $P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos j_1$ – потужність, що генератор віддає у мережу для споживача, визначається, як добуток напруги U_1 струму I_1 і коефіцієнту потужності $\cos j_1$ генератора [33]. Сучасні синхронні генератори малої та середньої потужності мають ККД на рівні 0,92-0,94, а потужні до 0,96. Отже, генератор змінної напруги є одним з найбільш ефективних частин установки. Для подальших розрахунків ККД буде прийматись за 0,95.

2.5. Механізм трекінгу за положенням Сонця

Механізм трекінгу за положенням Сонця є обов'язковою частиною СЕС з параболоциліндричними концентраторами, оскільки при стаціонарному встановлені максимальна потужність такої СЕС буде досягатись лише у полудень. Тому робоча температура теплоносія буде також досягатись практично у полудень та незадовго після цього буде знижуватись. Відповідно максимальний ККД системи СЕС буде лише декілька годин протягом сонячного дня, що одразу б поставило під сумнів доцільність СЕС такого типу.

Для досягнення максимальної продуктивності параболоциліндричних концентраторів потрібна точна орієнтація за Сонцем. При цьому основним

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

завданням пристрою стеження (трекера) є максимально зменшити кут падіння сонячного випромінювання щодо концентратора. Рухома частини трекера при цьому змінюється за допомогою приводу або актуаторів. Таким чином, пристрій стеження за Сонцем встановлює кути нахилу до поверхні рефлектора концентратора сонячної енергії, зорієнтувавши її строго на Сонце, завдяки чому сонячні промені направлені перпендикулярно до концентратора.

Пристрій стеження за Сонцем може бути реалізований на основі багатьох принципів. Серед найбільш доступних є пристрій стеження на основі фотодіодів або фоторезисторів. Такий пристрій має усього декілька фоторезисторів. При зміщенні положення Сонця щодо концентратора освітленість фоторезисторів стає різною. Пристрій аналізує це та передає сигнали на актуатори до моменту однакової освітленості на всіх фотодіодах.

Головною перевагою для такого типу пристрою стеження за положенням Сонця є легкість виготовлення та дешевизна таких схем. Проте вони мають істотний недолік: у хмарну погоду, а також при забрудненні фоторезисторів система стає непрацездатна.

Управління пристроєм стеження за Сонцем за азимутальним і зенітним кутам є більш досконалим рішенням, ніж попереднє. Принцип роботи заснований на правильному позиціонуванні щодо переміщення Землі. Потрібно компенсувати переміщення протягом доби, яке пов'язане з обертанням Землі навколо осі, та річне переміщення, що пов'язане з обертанням Землі навколо Сонця.

До складу пристрою також входить таймер. Актуатори розпочинають свою роботу по добовій програмі за таймером, а при необхідності, і за річною програмою. Точність орієнтації такими пристроями також невелика, оскільки Сонце протягом року увесь час змінює місце сходу, заходу та зенітний кут.

Кращим та найбільш ефективним способом трекінгу є управління за програмою, що постійно розраховує розташування Сонця. За годинником, що розташований у пристрої, програма знаходить значення Азимуту і Зенітного кута. Блок управління при розрахунку обов'язково буде враховувати місце розташування концентратора, його параметри висоти над рівнем моря, широти

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

та довготи. Після цього розраховується необхідне положення для пристрою обертання і проводиться його переміщення [34].

Отже, найбільш ефективним типом трекера за положенням Сонця можна вважати трекер, який за програмою для розрахунку вираховує значення Азимуту і Зенітного кута за введеними параметрами – широтою, довготою і висотою над рівнем моря. Такий пристрій забезпечить генерацію тепла у параболоциліндричному концентраторі з максимально можливою температурою, що однозначно позитивно відобразиться на кількості генерованої електричної енергії.

2.6. Розрахунок втрат у теплопроводі

Теплоносій після поглинання тепла від абсорбера, що знаходиться у вакуумній трубці, отримує високопотенціальну теплову енергію. А це, у свою чергу, веде до значних втрат тепла через теплопровід. Тому правильно підібраний тип теплоізолятора та його достатня товщина – запорука максимального зниження втрат пов'язаних з транспортуванням теплоносія, що у підсумку підвищить загальний ККД системи через незначне пониження потенціалу теплової енергії. Адже, як уже було доведено за (2.29), чим вище потенціал теплової енергії на приймачі тепла двигуна Стирлінга, тим вище ККД його роботи. А в результаті буде згенеровано більше електроенергії.

Вибір утеплювача для труб необхідно виконувати відповідно до ефективності виконання його основної функції – збереження тепла. А тому він повинен відповідати наступним основним вимогам:

- коефіцієнт теплопровідності повинен бути якомога нижчим;
- теплоізолятор має зберігати властивості тривалий час;
- витримувати значні перепади температур, оскільки для роботи двигуна необхідне використання тепла з максимально можливим потенціалом – температурою;
- абсолютна гідроізоляційна властивість теплоізолятору;
- вогнетривкість;

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Враховуючи те, що у теплопроводах буде знаходитись тепла енергія температурою до 700-800°C, коло пошуку типу теплоізолятору значно зменшується. Тому розглянемо декілька типів теплоізоляторів, які все ж можуть працювати з такими температурами. До таких відносять такі волокнисті матеріали, як скловата, шлаковата, базальтова вата.

Недоліками усіх таких матеріалів є:

- слабка стійкість до механічних ушкоджень;
- вплив на органи дихання (при використанні скловати);
- висока гігроскопічність, що може суттєво позначитись на теплопровідності.

До переваг віднесемо:

- надзвичайно низький коефіцієнт теплопровідності;
- зручність при монтажі;
- стійкість до морозу та високих температур, вогнетривкість;
- стійкість до гниття та появи грибків.

Таблиця 2.2

Порівняння характеристик мінеральних ват

Матеріал	Максимальна температура застосування, °C	коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)
Скловата	500	0,03-0,052
Шлаковата	300	0,04-0,07
Базальтова вата	1114	0,035-0,039

Отже, згідно табл. 2.2, очевидно, що для утеплення теплопроводів обрано базальтову вату. Абсолютно всі характеристики базальтової вати задовольняють висунуті вимоги, окрім стійкості до вологи. Оскільки при застосуванні однієї лише базальтової вати неможливо виконати вимогу стійкості до вологи, то пропонуємо після утеплення покрити теплоізолятор суцільним герметичним верхнім шаром. Так він захистить базальтову вату від механічних пошкоджень

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

та унеможливить потрапляння вологи. Таким шаром може слугувати скловолокнисте покриття з подальшим захисним покриттям від впливу ультрафіолету. Таке утеплення з належним обслуговуванням зможе прослужити декілька десятиліть.

Теплові втрати при використанні утеплювача для теплопроводів можна обчислити за наступною формулою:

$$Q_T = k_T \cdot F_T (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}), \quad (2.33)$$

де k_T – коефіцієнт теплопередачі для труб теплопроводу, Вт/(м²·град.°С);

F_T – сумарна площа поверхні труб, м²;

$t_{\text{вн}}$ та $t_{\text{зовн}}$ – температура теплоносія у трубі та зовнішня температура повітря, °С.

Коефіцієнт теплопередачі для труб теплопроводу розрахуємо з формули:

$$k_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.34)$$

де d_1 та d_2 – товщини труб теплопроводу та теплоізолятора для них, м;

λ_1 та λ_2 – коефіцієнти теплопровідності для матеріалу труб теплопроводу та теплоізолятора, Вт/(м·К).

α_1 та α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до стінок труб теплопроводу та від теплоізолятора до зовнішнього повітря.

Сумарну площу поверхні труб можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$F_T = \pi dl, \quad (2.35)$$

де π – математична константа, визначається як відношення довжини кола до його діаметра – 3,14;

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d – зовнішній діаметр труб теплопроводу, м;

l – загальна протяжність теплопроводу, м.

З врахуванням коефіцієнту теплопередачі та поверхневої площі труб формула для розрахунку втрат тепла при транспортуванні теплоносія від сонячних концентраторів до двигуна Стирлінга:

$$Q_T = \frac{\pi d l (t_{BH} - t_{30BH})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (2.36)$$

Висновки

Отже, ККД кожного з компонентів СЕС на основі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами випромінювання є надзвичайно високим. Так, рефлектор параболоциліндричного концентратора відбиває падаюче на нього сонячне випромінювання з ККД, залежно від умов, близьким до 90-95%. Така висока ефективність досягається завдяки високоякісним дзеркалам та рефлекторам правильної форми. Хоча при використанні більш дешевих концентраторів ККД може бути суттєво нижчим.

Ефективність перетворення сонячного випромінювання у тепло вакуумними трубками-приймачами є також високою. У разі використання якісних компонентів ККД значною мірою залежить від різниці температури теплоносія та навколишнього середовища. Також не менш важливою є густина випромінювання, яка надходить з параболоциліндричного концентратора на таку трубку.

Центральною частиною СЕС є двигун Стирлінга. Його ефективність залежить від дуже багатьох факторів. При порушенні використання одного з параметрів ККД стрімко падає. Так, ефективність падає на 1% при підвищенні температури охолоджуючої рідини всього на два градуси. При належному виконанні всіх вимог використаний у розрахунку двигун Стирлінга може досягнути ККД у 55% від циклу Карно.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

А генератор, що використовується для перетворення енергії обертання двигуна Стирлінга у електричну досягає ефективності у – 95%.

Також важливим елементом системи СЕС є теплопровід, що сполучає трубку вакуумного-приймача з двигуном Стирлінга. При його проектуванні необхідно максимально зменшити протяжність такого теплопроводу, щоб забезпечити найменші втрати тепла при транспортуванні теплоносія до кінцевого пункту.

Врахування всіх вище перелічених недоліків та втрат енергії при її перетвореннях повинно забезпечити певну ефективність, таку, яка необхідна для подальшого використання та побудови у майбутньому таких СЕС. Ефективність повинна бути не нижчою за вже застосовані типи СЕС, які мають бути надійними при експлуатації.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Оцінка доцільності встановлення СЕС на основі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами за метеоданими на рік

Обчислення теоретично можливої річної генерації електроенергії для майбутньої СЕС є надзвичайно важливим пунктом. Таке обчислення проводять для оцінки ефективності та доцільності у використанні як кожного компоненту так і майбутньої електростанції загалом.

Розрахунок буде проводитись на основі метеоданих з 24.11.2018 по 23.11.2019 для м. Тернопіль поданих у [35].

Таблиця 3.1

Середня хмарність по місяцях для Тернополя

Місяць	Ступінь хмарності, %
Січень	88,6%
Лютий	70,7%
Березень	66,2%
Квітень	57,6%
Травень	74,4%
Червень	57,0%
Липень	57,4%
Серпень	48,5%
Вересень	53,1%
Жовтень	53,3%
Листопад	80,5%
Грудень	90,5%

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Парашук В.Р.								
Перевір.		Тарасенко М.Г.							64	104
Консульт.		Тарасенко М.Г.						ТНТУ, ФПТ, ЕММ-61		
Н. Контр.		Коваль В.П.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.								

Згідно архівних даних більшість днів впродовж року є хмарними. Також хмарність світлового дня у Тернопільській області є дуже високою. Кількість хмарних днів та ступінь хмарності подано у табл. 3.1. Ступінь хмарності складений відповідно до середньої хмарності для кожного дня у місяці. Тобто необов'язково, що увесь день, для прикладу в червні, є захмарений у 57%.

Таблиця 3.2

Розподіл кількості абсолютно хмарних та ясних днів по місяцях для
Тернополя

Місяць	К-сть абсолютно хмарних днів	К-сть абсолютно ясних днів
Січень	20	0
Лютий	10	2
Березень	4	1
Квітень	6	4
Травень	9	0
Червень	2	1
Липень	0	0
Серпень	1	2
Вересень	1	2
Жовтень	3	3
Листопад	12	0
Грудень	25	0

Згідно поданої вище табл. 3.2 можна побачити, що у нашому регіоні лише 15 днів у році є абсолютно ясними. А для ефективної генерації електроенергії необхідно максимально можливу кількість таких ясних днів. Генерація електроенергії на СЕС може виконуватись і за невеликої хмарності. Але, згідно архівних метеоданих, отриманих за рік, дослідження абсолютно хмарних днів у

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

році занадто велика – 93 дні. Тобто 3 з 12 місяців у році є цілком непридатними для генерації електроенергії шляхом нагріву теплоносія у концентраторах сонячним випромінюванням. Адже при такій хмарності випромінювання є розсіяним та надходить із занадто низькою густиною на одиницю площі поверхні. Тому не може застосовуватись ефективно при генерації тепла.

Засновуючись на вище поданих даних, вважаю, що генерація електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами є недоцільною та не вигідною для Тернопільської області.

Тому пропоную обрати більш придатний для цього регіон – Херсонську область. Згідно архівних даних, поданих у табл. 3.3 для цієї області, кількість ясних та малохмарних днів є значно вищою за Тернопільську область.

Таблиця 3.3

Середня хмарність по місяцях для Херсону та Тернополя

Місяць	Ступінь хмарності (у Херсоні), %	Ступінь хмарності (у Тернополі), %
Січень	64,9%	88,6%
Лютий	58,5%	70,7%
Березень	42,6%	66,2%
Квітень	36,5%	57,6%
Травень	51,8%	74,4%
Червень	40,0%	57,0%
Липень	34,4%	57,4%
Серпень	26,5%	48,5%
Вересень	31,5%	53,1%
Жовтень	44,2%	53,3%
Листопад	56,2%	80,5%
Грудень	74,5%	90,5%

Практично у кожному місяці ступінь хмарності для Херсону на 20% нижче, ніж у Тернополі. Враховуючи те, що густина потоку випромінювання у

регіоні Херсону є також вища, то кінцева річна кількість генерованої енергії також повинна бути набагато вища. Тому термін окупності такої СЕС буде значно нижчим.

Абсолютно непридатних для генерації, згідно табл. 3.4 – 68 днів, що на третину нижче за такий показник для Тернополя.

Таблиця 3.4

Розподіл кількості абсолютно хмарних та ясних днів по місяцях для
Херсону

Місяць	К-сть абсолютно хмарних днів	К-сть абсолютно ясних днів
Січень	14	0
Лютий	12	2
Березень	2	4
Квітень	4	9
Травень	1	0
Червень	1	6
Липень	0	5
Серпень	0	9
Вересень	0	9
Жовтень	5	6
Листопад	6	1
Грудень	23	0

Згідно табл. 3.4 кількість абсолютно ясних днів – 51 день. У порівнянні з Тернополем – лише 15 днів, що у 3,4 рази більше. При цьому більшість таких днів розподіляються у місяці з максимально можливою густиною потоку сонячного випромінювання. Тому очевидно, що розташування СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами на території

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Херсонської області є суттєво вигіднішим, ніж у Тернопільській області. А з точки зору кількості генерованої енергії, таке розташування у декілька разів збільшить сумарну річну генерацію електроенергії.

3.2. Розрахунок теоретично можливої кількості річної генерації електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами

Враховуючи інформацію, подану у попередньому підрозділі, проведемо розрахунок сумарної річної генерації електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами.

Таблиця 3.5

Розподіл кількості абсолютно хмарних та ясних днів по місяцях для
Херсону

Місяць	Кількість енергії, що потрапляє на поверхню за місяць на одиницю поверхні, Вт/м ²
Січень	43573
Лютий	64974
Березень	146795
Квітень	227988
Травень	263200
Червень	370714
Липень	370066
Серпень	355576
Вересень	236363
Жовтень	121100
Листопад	66259
Грудень	30690

Розпочнемо розрахунок з обчислення щоденної кількості енергії, що потрапляє на поверхню, з врахуванням ступені хмарності та густини потоку

сонячного випромінювання для певного періоду року. З отриманих даних обрахуємо кількість енергії, що потрапляє на поверхню за місяць.

Згідно табл. 3.5, можна оцінити потенціал використання сонячної енергії. У червні-липні на кожен м² поверхні лише за один місяць минулого року надійшло близько 370 кВт енергії. Тому навколишнє середовище не було забруднене не тільки СО₂, а й іншими більш небезпечними побічними продуктами горіння викопного палива.

Таку кількість енергії можливо отримати з Сонця абсолютно безкоштовно, не використовуючи жодного з викопних видів палива. Хоча отриману в кінці електричну енергію неможна вважати безкоштовною через роботу механізмів, персоналу та необхідність обслуговування обладнання.

Таблиця 3.6

Розподіл кількості генерованої електроенергії по місяцях для Херсону

Місяць	Генерація ел. ен. за місяць, кВт · год
Січень	187,1
Лютий	609,6
Березень	2307,2
Квітень	5034,5
Травень	5364,2
Червень	9810,4
Липень	9752,7
Серпень	9615,1
Вересень	5428,0
Жовтень	1755,1
Листопад	565,0
Грудень	60,4

У табл. 3.6 розписано кількість генерації електроенергії відповідно до місяця СЕС на базі двигуна Стирлінга виробництва "Philips" з параболоциліндричними концентраторами. При розрахунку було враховано всі

перераховані у розділі 2 втрати, враховано використання трекінгової системи та час на розігрів теплоносія у системі СЕС у розмірі – 1 год. Також враховано такі метеодані, як ступінь хмарності, температуру навколишнього середовища, густину потоку сонячного випромінювання у різні періоди року та середню кількість годин світлового дня для кожного з місяців.

Висновки

Згідно розрахунків, вважаємо, що встановлення СЕС даного типу є доцільним та виправданим з врахуванням річної кількості генерованої енергії та спеціального тарифу на такі види електростанцій. Також для покращення результатів сумарної річної кількості генерованої електроенергії можна встановити додатковий ДЗЗ меншої потужності.

Такий додатковий ДЗЗ зможе працювати при значно нижчих показниках густини потоку сонячного випромінювання. Тобто навіть у хмарний день зможе генерувати електроенергію і тим самим збільшить річну кількість генерованої енергії практично у двічі, коли ДЗЗ компанії "Philips" потужністю у 30кВт працювати не може узагалі, оскільки, ККД такого двигуна при температурах нижче за 150°C дорівнює 0. Тільки за температури вище 250-300°C його використання є доцільним.

Такий додатковий двигун може працювати у піки кількості генерації сонячного тепла, коли для основного ДЗЗ кількості теплової енергії є забагато, а надлишок викидається теплообмінниками у зовнішнє середовище. Адже через перевищення температурних режимів обладнання може вийти з ладу.

Тому встановлення додаткового двигуна Стирлінга є необхідним для повноцінної роботи такої СЕС.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Методи розрахунку економічної ефективності

Ефективність – інтегрована економічна категорія, що відображає у випадку з СЕС відносини щодо економії сукупних затрат на експлуатацію установки та працю персоналу, що обслуговує дану електростанцію до отримання кінцевого результату. Тобто, до отриманої генерованої енергії конвертованої у грошову одиницю.

Процес генерації електроенергії на СЕС здійснюється за належної взаємодії наступних чинників: персоналу, засобів праці та належних умов для генерації електроенергії з сонячного випромінювання. Використовуючи наявні засоби виробництва, персонал підприємства належно обслуговує усі необхідні агрегати. Такі, як своєчасне очищення поверхонь рефлекторів параболоциліндричних концентраторів, нагляд за справністю вакуумних поглиначів сонячного випромінювання, огляд двигуна Стирлінга у час, визначений виробником. Засоби праці, як і основне обладнання необхідно постійно підтримувати у справному стані для забезпечення потрібної якості обслуговування основних засобів генерації – концентраторів сонячного випромінювання, вакуумних трубок та самого двигуна Стирлінга. Отже, з одного боку мають місце затрати праці персоналу, а з другого – результати генерації основними засобами.

Ефективність на рівні енергетичного підприємства характеризує зв'язок між величиною отриманої кількості генерованої електроенергії від його діяльності конвертованого у грошову одиницю та кількості інвестованих або витрачених в установку ресурсів.

Підвищення ефективності можливо досягти шляхом використання

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ						
Розроб.		Паращук В.Р.									
Перевір.		Тарасенко М.Г.									
Консульт.		Мельник Л.М.									
Н. Контр.		Коваль В.П.									
Затверд.		Тарасенко М.Г.									
					Літ.	Арк.	Акрушів				
							71	104			
					ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61						

меншої кількості ресурсів для створення такого ж результату. Іншим шляхом можна досягти цього за використанням однакової кількості ресурсів, збільшивши рівень результату. Останній шлях підвищення ефективності є неможливим, оскільки кількість енергії сонячного випромінювання є незмінною. Тому, у випадку з СЕС, можливо зменшити кількість витрачених ресурсів за однакової кількості результату шляхом автоматизації процесів. Більшість видів робіт людської праці можна замінити автоматизованими системами. Хоча вони потребують вкладення коштів для придбання, але впродовж експлуатації вони цілком себе окупляють та приносять значну економію.

Розкриттю сутності ефективності діяльності енергетичного підприємства допоможе розмежування і визначення таких категорій: ефект, результат діяльності підприємства, ефективність діяльності підприємства, критерій ефективності.

Теорія ефективності розмежовує поняття ефективності та ефекту, розуміючи під першим співвідношення ефекту та витрат, що його викликали, а під другим – результат тих чи інших заходів. Ефект не може вказати, вигідна певна справа чи ні. Через те, що один і той же ефект може бути отриманий за допомогою різних засобів та з різними витратами. А також при однакових витрати, можуть бути досягнуті різні результати. Тому, за ефектом неможливо судити про ефективність діяльності енергетичного підприємства. Необхідно зіставити ефект з витратами на його одержання та визначити, за яких вкладень він досягнутий. У разі, якщо результати економічної діяльності перевищують витрати, можна спостерігати позитивний ефект, у протилежному випадку – це негативний ефект. Отже, економічний зміст ефективності полягає у збільшенні результату (ефекту) з експлуатаційних затрат та одиниці праці.

Слід зазначити, що існує відмінність між поняттями "ефективність" та "результативність". По своїй суті результативність має цільову природу і належить до сфери оцінювання отриманих наслідків від реалізації у даному випадку електроенергії за певний період. Водночас, ефективність

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

використовується для характеристики використання ресурсів для досягнення поставлених цілей – генерації максимальної кількості електроенергії.

Ефективність генерації відображає дію об'єктивних економічних законів, які проявляються в її результативності. Вона є тією формою, в якій реалізується мета суспільного виробництва. Економічна ефективність показує кінцевий корисний ефект від застосування засобів виробництва, праці людей та їхніх сукупних вкладень. У підсумку поняття ефективності визначається об'єктивно діючим законом економії робочого часу, що є основоположною субстанцією багатства й мірилом витрат, необхідних для його нагромадження та використання суспільством.

Ефективність підприємства з генерації електроенергії визначається співвідношенням між результатами діяльності підприємства і використаними для одержання цих результатів матеріальними, трудовими та фінансовими ресурсами.

Економічна ефективність означає виробництво певного виду продукції з мінімальними витратами затрачених ресурсів. Також у закордонній літературі цей показник частіше називають продуктивністю [36].

4.2. Розрахунок річних доходів заснованих на теоретично можливій кількості річної генерації електроенергії СЕС

Єдиним доходом СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами є електроенергія, що генерується з сонячного випромінювання за сприятливих для цього умов.

Нажаль, як було обраховано згідно метеоданих для Тернопільської області, розташування СЕС такого типу у нашій місцевості є абсолютно недоцільним. Оскільки сонячних днів, необхідних для генерації електроенергії за допомогою сонячних концентраторів, є занадто мало. А за хмарних днів результат роботи СЕС є занадто низьким для застосування.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, як було обраховано згідно табл. 4.1 сумарно за 2019 рік СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами теоретично могла б генерувати більше 50,4 МВт·год електроенергії.

Таблиця 4.1

Розподіл теоретично можливої кількості генерації електроенергії на СЕС

Місяць	Генерація ел.ен. за місяць, кВт·год
Січень	187,1
Лютий	609,6
Березень	2307,2
Квітень	5034,5
Травень	5364,2
Червень	9810,4
Липень	9752,7
Серпень	9615,1
Вересень	5428,0
Жовтень	1755,1
Листопад	565,0
Грудень	60,4
Сумарна генерація ел.ен. за рік	50489,4

Електроенергію, вироблену на СЕС, купляють за спеціальним (зеленим) тарифом, згідно якого ціна на сьогодні складає 414,57 коп. за кожен 1 кВт·год генерований нею.

Зелений тариф в Україні був прийнятий ще 25 вересня 2008 року. Закон України "Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого тарифу " передбачає обов'язкове придбання постачальниками електроенергії (енергоринком) від таких джерел, як малі гідроелектростанції, встановленою потужністю до 10 МВт, вітрові електростанції, сонячні

електростанції та електростанції, що використовують біомасу як паливо. З врахуванням ціни за 1 кВт·год у 414,57 коп. розраховано річний дохід від генерації електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами у табл. 4.2. Номінальна потужність СЕС для якої розраховано дохід складає лише 30 кВт.

Таблиця 4.2

Розподіл теоретично можливої кількості генерації електроенергії на СЕС
виражену у грошовій одиниці

Місяць	Генерація ел.ен. за місяць, грн.
Січень	775,8
Лютий	2527,4
Березень	9564,8
Квітень	20871,5
Травень	22238,5
Червень	40671,1
Липень	40431,9
Серпень	39861,5
Вересень	22503,0
Жовтень	7276,0
Листопад	2342,2
Грудень	250,3
Сумарна генерація ел.ен. за рік, конвертована у грн.	209313,9

Сумарний дохід від такої СЕС, згідно теоретичних розрахунків, склав більше, ніж 209 тис. грн. на рік. Враховуючи, що нами застосована мінімальна конфігурація такої електростанції та існує можливість її масштабування, вважаємо дохід високим. Адже при масштабуванні зменшаться витрати,

пов'язані з обслуговуючим персоналом, що є вирішальним при таких малих розмірах СЕС.

4.3. Розрахунок річних витрат пов'язаних з експлуатацією СЕС

Витрати, що пов'язані з експлуатацією СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами складаються з багатьох складових.

Основною частиною витрат при експлуатації займає оплата персоналу. У день є необхідність постійного догляду за обладнанням та обслуговування його згідно регламенту. Отже, необхідним є своєчасний обхід та перевірка технічної справності всіх складових СЕС. Для різних складових така перевірка може складати від 1 разу на рік до щоденної, та можливо, погодинної перевірки. Також для найбільш ефективної роботи установки вдень потрібна постійна очистка рефлекторів параболоциліндричних концентраторів.

Враховуючи складність такої роботи, а також рівень зарплат на сьогодні оплата щомісяця повинна складати на рівні 10 тис. грн.

Після роботи вдень, існує необхідність охорони вночі, оскільки на СЕС знаходиться багато цінних матеріалів та обладнання. Оплата такого персоналу, згідно більшості оголошень з працевлаштування, складає близько 6-7 тис. грн.

Згідно розподілу надходжень також очевидно, що з грудня до січень включно немає необхідності у роботі СЕС через надто низьку генерацію електроенергії у такі місяці. Тому є потреба лише у охороні об'єкту через його закриття на цей час.

Наступною високовартісною частиною відрахувань є амортизація основних засобів. Амортизація – це систематичний розподіл вартості, що амортизується, необоротних активів протягом строку їх експлуатації. Вартістю, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість необоротних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості.

Тобто, амортизацію можна визначити як поступове перенесення вартості основних фондів на вироблену електроенергію для накопичення коштів для повного їх відновлення (реновації).

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Грошовим вираженням розміру амортизації є амортизаційні відрахування, що відповідають ступеню спрацювання основних фондів.

Амортизаційні відрахування є дуже важливою частиною поточних витрат на генерацію СЕС [37].

Невід’ємною складовою витрат є оплата за обслуговування та ремонт обладнання, що не може виконати основний персонал. До таких можна віднести ремонт основного двигуна – двигуна Стирлінга, генератора, який перетворює механічну енергію ДЗЗ у електричну, трансформатора для підвищення потенціалу електроенергії та передачі її у мережу, а також ряд іншим можливих поломок, які неможливо передбачити. Хоча таких поломок може й не відбутись.

Існує також багато інших, неврахованих, можливих витрат, що у тій чи іншій мірі можуть вплинути на кінцевий прибуток підприємства генерації електричної енергії з сонячного випромінювання. Проте для загального розрахунку витрат, пов’язаних з експлуатацією СЕС, цього достатньо.

4.4. Розрахунок економічної ефективності СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами

Прийнявши до уваги вище подані дані, можна обрахувати економічну ефективність СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами. Враховуючи те, що електростанцію потужністю у 30 кВт неможна вважати промисловою через низьку потужність, змасштабуємо її до наступного номіналу вище 100 кВт, тобто електростанції потужністю 120 кВт. У табл. 4.3 наведено основні витрати та доходи для такої електростанції.

Таблиця 4.3

Розрахунок доходу та витрат по місяцях

Місяць	Дохід від ел. ен. за місяць, грн.	Тип витрат	Ціна, грн	Витрати за місяць, грн
Січень	0	оплата персоналу	13000	38100
		амортизація основних засобів	16700	

		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Лютий	10109,52608	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Березень	38259,12472	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Квітень	83486,00304	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Травень	88953,97042	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Червень	162684,3364	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Липень	161727,4094	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Серпень	159445,8948	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Вересень	90012,06204	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	

Жовтень	29103,90187	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Листопад	9368,990543	оплата персоналу	16500	41600
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Грудень	0	оплата персоналу	13000	38100
		амортизація основних засобів	16700	
		збереження для покриття оплати можливого ремонту	8400	
Сумарна генерація ел. ен. за рік	833151,2194			492200

Отже, згідно табл. 4.3 дохід протягом 2019 року СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами склав більше 833 тис. грн. Можливі витрати – 492200 грн. Прибуток енергетичного підприємства складе майже 341 тис. грн. на рік. Вважаємо такий показник високим для такого типу електростанцій.

Така електростанція може масштабуватись практично до будь яких розмірів, при цьому зі збільшенням розміру частка витрат буде знижуватись, а отже, збільшуватись дохідність установки.

Враховуючи те, що первинним продуктом такої СЕС є тепло, у місяці, несприятливі для генерації енергії, його можна використати для опалення навколишніх підприємств та будинків. Це також збільшить ефективність такої СЕС та суттєво дозволить отримувати прибуток на протязі зими.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці

5.1.1. Технічні засоби безпеки. Технічні засоби безпеки при експлуатації СЕС на базі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання – це технічні засоби, системи, прилади та обладнання для виявлення, оповіщення й попередження про наявність небезпеки для життя людей та/або майна.

Під час діяльності об'єкти з підвищеною небезпекою для життя, здоров'я людини необхідно належно охороняти та обмежувати доступ для людей недотичних до таких об'єктів. У сучасному світі необхідно застосовувати науковий підхід до вирішення проблем і задач охорони об'єктів, перш за все, якщо це особливо важливі, особливо небезпечні об'єкти, об'єкти підвищеного ризику або об'єкти [38].

Так, установка на базі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання є джерелом підвищеної небезпеки, оскільки встановлені концентратори обертаються за рахунок автоматичного пристрою слідкування за положенням Сонця над горизонтом.

Система слідкування за положенням Сонця над горизонтом є автоматичною та не зважає на оточуючий простір, тому необхідно додатково встановити певні технічні засоби безпеки. Також у фокусі концентратора сонячної енергії існує небезпека опіку (температура теплоносія у трубці 400°C) або засліплення концентрованим потоком випромінювання, що перевищує звичайний у десятки та сотні разів.

Сам двигун Стирлінга є джерелом механічної енергії, що у свою чергу, перетворюється генератором змінної напруги у електричну. Це потенційно несе небезпеку ураження електричним струмом.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ				Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.	Паращук В.Р.										80	104	
Перевір.	Тарасенко М.Г.								ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61				
Консульт.	Гурик О. Я.												
Н. Контр.	Коваль В.П.												
Затверд.	Тарасенко М.Г.												

Головними завданнями, які повинні вирішувати технічні засоби безпеки, є сприяння підвищенню надійності охорони, мінімізація небезпеки для оточуючих та персоналу об'єктів при максимальній надійності та ефективності роботи технічних засобів [38].

Технічні засоби безпеки можна класифікувати за природою потенційної загрози об'єктам, що підлягають захисту від загроз:

- природні – загрози, що викликані впливом стихійних явищ та/або фізичних процесів, що не залежать від діяльності людини;
- штучні – загрози, які викликані впливом людини.

Для об'єкту магістерської роботи, а саме електроустановки на базі двигуна Стирлінга з сонячним концентратором необхідно застосування технічних засобів безпеки для забезпечення належних умов праці обслуговуючого персоналу та безпечної експлуатації установки загалом.

Для такого типу об'єкту пропонується оснащення наступними технічними засобами безпеки:

- контроль доступу на територію об'єкту;
- комплекс заходів для протипожежного захисту;
- комплекс заходів для електричної безпеки.

Контроль доступу на територію об'єкту передбачає встановлення засобів і систем захисту пропорційно адекватно можливій загрозі, засоби системи повинні бути достатні для належного контролю. Крім того, використана апаратура не повинна створювати ускладнень та додаткових перешкод для належного функціонування основного обладнання електроустановки. Для невеликого об'єкту встановлення електронного входу/виходу разом з обладнанням відеоспостереження буде цілком достатньо.

Комплекс заходів для протипожежного захисту повинно виконувати ефективно і своєчасне виявлення місця загорання, автоматичне оповіщення служби безпеки та працівників, вжиття заходів щодо гасіння пожежі у автоматичному режимі, також необхідне встановлення додаткових засобів пожежогасіння електрообладнання для індивідуального типу застосування.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

На об'єкті необхідне встановлення пожежної сигналізації, датчиків диму, тепла, а також ручних сигналізаторів пожежі.

Комплекс заходів для електричної безпеки передбачає комплекс організаційних і технічних заходів та засобів, які гарантують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики, а також запобігання коротких замикань та загорань електроустаткування.

У підсумку необхідним є встановлення комплексу заходів, до яких віднесемо забезпечення недосяжності струмоведучих частин, їх ізоляція, встановлення огорожі, знаки безпеки, забезпечення захисного заземлення, занулення, встановлення різних типів електронних запобіжних систем.

5.1.2. Фізичні основи електробезпеки. Величина струму, що проходить через тіло людини при її потраплянні під напругу, найбільшою мірою визначає тяжкість ураження. Технічні та організаційно-технічні заходи і засоби профілактики електротравм розробляються залежно від конструктивних особливостей електроустановки, її величини, робочих параметрів і стану.

Важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, що встановлені у СЕС на базі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання, чітко розуміли причини та чим обумовлені встановлені вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками. Розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки.

У реальній електричній мережі (повітряній та кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі – опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

чинними від 1 вересня 2002 року, затверджені міністерством палива та енергетики України, нормативами – ГКД 34.20.302-2002 [39]. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, опір ізоляції знижується. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, струмопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками з великим опором.

У разі дотику людини до неізольованої струмопровідної частини функціонуючої електромережі струм через людину зумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної системи, тобто:

$$I = I_A + I_C, \quad (5.1)$$

де I_A – складова струму, що обумовлена напругою дотику, A ;

I_C – ємнісна складова струму замикання на землю, A .

Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу I_C в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень.

До початку робіт на СЕС на базі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячної енергії необхідним є відімкнення не тільки від загальної мережі, а й від генератора, що приводиться у дію двигуном Стирлінга.

Тому роботи на СЕС такого типу є більш небезпечними ніж у більшості об'єктів. Навіть при відімкненій мережі існує небезпека ураження від джерела генерації, тобто генератора змінної напруги. Тому для ремонтно-профілактичних робіт на СЕС необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням. Після цього та після перевірки відсутності напруги можна допускати персонал до роботи.

Отже, основними чинниками, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом можна вважати: напругу живлення мережі,

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

величину напруги дотику, конструктивні особливості мережі живлення – кількість фаз та режим нейтралі, величину опору і стан ізоляції, протяжність і розгалуженість мережі живлення.

Вплив перерахованих чинників і особливостей середовища експлуатації електроустановок на небезпеку електротравм враховується при розробці нормативних актів з питань електробезпеки, технічних і організаційних заходів попередження електротравм та електрозахисних засобів [40].

5.1.3. Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.

Пожежна безпека підприємства, у якому використовуються електроустановки, забезпечується шляхом проведення організаційно-технічних та інших заходів з попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих матеріальних збитків, зменшення негативних екологічних наслідків, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж, а також евакуації з зони виникнення та можливого розповсюдження пожежі людей, документів і матеріальних цінностей.

Установка на базі двигуна Стирлінга з концентраторами сонячного випромінювання передбачає встановлення генератора змінної напруги та трансформатора для забезпечення необхідної напруги. Такі електроустановки при неналежному нагляді можуть стати епіцентрами спалаху. Тому до них необхідний особливий нагляд та встановлення відповідних табличок.

Під час пожежної небезпеки гасіння таких електроустановок можна розділити на дві категорії:

- гасіння електроустановок під напругою;
- гасіння електроустановок відведених від напруги мережі.

Однією з основних вимог є підготовка персоналу, адже навчений персонал – це запорука пожежної безпеки на підприємстві. Персонал повинен, не рідше одного разу на рік проходити спеціальний інструктаж з особливостей експлуатації енергетичних установок та техніки безпеки при пожежах, проходити

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулярні протипожежні тренування з черговим персоналом, а також спільні з пожежними частинами пожежно-тактичні навчання [41].

У електроустановках має бути встановлене належне заземлення з гнучкого мідного голого проводу перерізом не менше 25 мм², що приєднується до заземлених конструкцій. Місця приєднання до заземлених конструкцій визначаються спеціалістами енергетичних об'єктів спільно з представниками гарнізону пожежної охорони, позначаються знаком заземлення та вносяться до графічної частини плану пожежогасіння.

Для забезпечення безпеки персоналу та пожежників, які беруть участь у гасінні пожежі електроустановок під напругою, застосовуються індивідуальні ізолюючі електрозахисні засоби (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килими).

Кількість заземлень та індивідуальних ізолюючих захисних засобів і місця їх зберігання визначаються керівниками енергетичних об'єктів з розрахунку подачі вогнегасних засобів на електроустановки, які знаходяться під напругою.

Випробування електрозахисних засобів виконується енергетичним об'єктом в установленому порядку.

При виникненні пожежі на електроустановці особа, що першою виявила загорання, повинна негайно повідомити керівника та відповідальних за пожежну безпеку осіб для недопускання подальшого загорання.

На відмінну від гасіння електроустановок, відімкнених від напруги, на електроустановках під напругою забороняється: використання усіх видів піни, проводити будь-які відключення та інші операції з електричним обладнанням особовому складу пожежних підрозділів, використовувати воду зі змочувачами при подаванні компактних струменів води, як для гасіння, так і для охолодження електрообладнання та будівельних конструкцій, наближатися до машин і механізмів, які застосовуються для подачі води (вогнегасних речовин) на електроустановки під напругою, особам, безпосередньо не зайнятим на гасінні пожежі [41].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1. Протипожежна стійкість електротехнічних систем електроспоживання під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Протипожежна стійкість електротехнічних систем електроспоживання – це здатність електротехнічних систем запобігати небезпеці виникнення пожежі під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за допомогою різних засобів безпеки, що встановлюються у потенційно пожежонебезпечних частинах електротехнічних систем електроспоживання.

Надзвичайна ситуація техногенного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті унаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо [42].

Під час надзвичайної ситуації техногенного характеру у більшості випадків виникає коротке замикання електротехнічних систем, що спричинено різними факторами: обвалом споруди, вибухом, пожежею тощо. У свою чергу, коротке замикання веде до перегріву струмоведучих частин (кабелів та їх ізоляції), те ж відбувається у інших частинах електротехнічних систем електроспоживання, таких як трансформатори, перемикачі. У трансформаторах струмове перевантаження веде до того ж перегріву струмоведучих частин, що, у свою чергу, може призвести до википання масла та подальшого його загорання.

Надзвичайна ситуація природного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Паращук В.Р.					86	104
Перевір.		Тарасенко М.Г.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61		
Консульт.		Стручок В.С.						
Н. Контр.		Коваль В.П.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

водному об'єкті, пов'язане з небезпечним геофізичним, геологічним, метеорологічним або гідрологічним явищем, деградацією ґрунтів чи надр, пожежею у природних екологічних системах, тощо [42].

Надзвичайні ситуації природного характеру у більшості своїх випадків у підсумку ведуть до коротких замикань, обривів мереж тощо. Єдиною відмінністю є те, що з усього виду небезпек вони належать до розряду найбільш стабільних і становлять стабільну загрозу для людства впродовж всього його існування. Природні явища за причиною виникнення поділяються на:

- тектонічні — пов'язані з процесами, що виникають з змінами предметів і явищ Землі;
- топологічні — причиною їх є процеси, що виникають на поверхні Землі;
- метеорологічні — пов'язані з процесами в атмосфері [43].

Пожежна небезпека виникає при створенні великих перехідних опорів в місцях контакту струмопровідників між собою, з'єднання струмопровідників з електрообладнанням, при яких може виникати велика кількість тепла, що призводить до перегріву струмопровідників та веде до запалення ізоляції і горючих матеріалів. В цих місцях також можуть виникати іскри, які теж утворюють небезпеку запалення або вибуху.

З'єднання струмопровідних елементів необхідно проводити зварюванням, паянням або стисканням, а приєднання до споживачів захисної і пускорегулювальної апаратури за допомогою наконечників або затискачів. В місцях, які піддаються великим вібраціям, встановлюють пружинні шайби або контргайки.

Для запобігання виникненню пожежі від струмів короткого замикання і перевантаження електроустановок застосовують захисні пристрої, такі як плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, теплові реле та інші. Правильний підбір захисних пристроїв забезпечує мінімальний час їх спрацювання і таким чином підвищує пожежну безпеку електроустановок. Категорично забороняється застосування нестандартних елементів захисних пристроїв.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим заходом пожежної безпеки є відповідний вибір типів і виконання електроприладів, електродвигунів та іншого електрообладнання із урахуванням умов навколишнього середовища, можливості виникнення надзвичайних ситуацій та їх експлуатації [44].

Отже, враховуючи все вищезазначене, електротехнічні системи електроспоживання необхідно обирати та використовувати враховуючи місцевість їх застосування для попередження пожежної небезпеки під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Для можливого попередження пожежонебезпечних ситуацій необхідне встановлення захисних пристроїв тільки стандартного виконання у всіх потенційно небезпечних вузлах.

5.2.2. Дія електричного струму на персонал, що експлуатує об'єкти енергетики. Перша допомога при електротравмах. Основною небезпекою при роботі персоналу при обслуговуванні об'єктів енергетики є ураження електричним струмом. Хоча у більшості випадків компанія, яка експлуатує енергетичні об'єкти намагається максимально мінімізувати можливість ураження персоналу струмом та все ж це трапляється.

Електричний струм, проходячи через організм людини, спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дії [45].

Термічна дія струму полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи, що викликає опіки, обвуглювання тканин та їх розриву парою. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору проходженню струму та часу проходження. За короткочасної дії струму термічна складова може бути визначальною в характері і тяжкості ураження.

Електролітична дія струму проявляється в розкладі органічної речовини (її електролізі), в тому числі і крові, що призводить до зміни їх фізико-хімічних і біохімічних властивостей. А це, в свою чергу, призводить до порушення біохімічних процесів у тканинах і органах, які є основою забезпечення життєдіяльності організму.

Біологічна дія струму проявляється у подразненні і збуренні живих тканин організму, в тому числі і на клітинному рівні. При цьому порушуються

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

внутрішні біоелектричні процеси, що протікають в організмі, який нормально функціонує, і пов'язані з його життєвими функціями. Збурення, спричинене подразнюючою дією струму, може проявлятися у вигляді мимовільного непередбачуваного скорочення м'язів. Це, так звана, пряма або безпосередня збуджуюча дія струму на тканини, по яких він протікає. Разом із цим, збуджуюча дія струму на тканини може бути і не прямою, а рефлекторною — через центральну нервову систему. Механізм такої дії полягає в тому, що збурення рецепторів під дією електричного струму передається центральній нервовій системі, яка опрацьовує цю інформацію і видає команди щодо нормалізації процесів життєдіяльності у відповідних тканинах і органах. При перевантаженні інформацією (збуреннях клітин і рецепторів) центральна нервова система може видавати недоцільну, неадекватну інформації виконавчу команду.

Останнє може призвести до серйозних порушень діяльності життєво важливих органів, у тому числі серця та легенів, навіть коли ці органи не знаходяться на шляху проходження струму.

Крім зазначеного, протікання струму через організм негативно впливає на поле біопотенціалів в організмі. Зовнішній струм, взаємодіючи з біострумами, може порушити нормальний характер дії біострумів на тканини і органи людини, подавити біоструми і тим самим спричиняти специфічні розлади в організмі [46].

Електротравма – особливий вид травм, що виникають в результаті впливу електричного струму. Це пов'язано з тим, що електрична енергія надає кілька ефектів одночасно, як внутрішніх, так і зовнішніх.

Залежно від сили, напруження і тривалості впливу струму, стану організму, факторів зовнішнього середовища, місця проходження петлі струму та інших факторів можуть виникати різні види електротравм. Проходячи через організм, електричний струм викликає ряд впливів – опіки окремих ділянок тіла і внутрішніх тканин, порушення фізико – хімічного складу крові, розрив тканин і переломи кісток, порушення внутрішніх біоелектричних процесів [47].

Людину, яка отримала електротравму, потрібно обов'язково доставити в лікувальний заклад. Наслідки від впливу електричного струму можуть проявитися через кілька годин і призвести до ускладнень, навіть до загибелі.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частими є випадки, коли після удару струмом перші 10-30 хвилин потерпілий знаходиться у свідомості і відчуває себе добре, після чого настає фібриляція і смерть від "серцевого нападу" [48].

Якщо сталося так, що людина була уражена електричним струмом, то необхідно виконати наступні дії:

- зупинити дію електричного струму (звільнити від контакту з носієм струму). Слід пам'ятати про те, що доторкатися до постраждалого можна тільки після знеструмлення електричної мережі або в спеціальному ізольованому костюмі (резинових рукавицях та ін.). Інакше, можливе ураження струмом людини, яка надає першу допомогу. Для безпеки рекомендують видалити проводи з тіла постраждалого дерев'яним предметом (дошкою) перемістити тіло в безпечне місце взявши його за краї одягу;
- провести реанімаційні заходи при наявності показань до них (при ознаках клінічної смерті) [47].

Потрібно перевірити пульс, поклавши два пальці на сонну артерію. Для порятунку життя дорога кожна секунда: не витрачайте час на перевірку реакції зіниць на світло або пошук дзеркала для перевірки дихання:

а) якщо пульсу немає, постраждалий перебуває у стані клінічної смерті. Тривалість клінічної смерті визначається часом з моменту припинення серцевої діяльності і дихання до початку загибелі клітин кори головного мозку; в більшості випадків це 4-6 хв. Якщо в цей період надати реанімаційні заходи: непрямий масаж серця і штучне дихання, можна зберегти людині життя. Навіть якщо час згаяно, не припиняйте спроб реанімації до приїзду швидкої допомоги;

б) якщо пульс присутній, але дихання немає, необхідно очистити носоглотку і провести штучне дихання.

Необхідно викликати швидку допомогу. Оператору потрібно повідомити контакти того хто дзвонить, адресу, де стався нещасний випадок. Характер нещасного випадку (електротравма), його серйозність відсутність пульсу та/або дихання, непритомність) [48];

- накладити сухі асептичні пов'язки на ділянки опіків;
- негайно доставити потерпілого до спеціалізованого закладу [47].

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЯ

6.1. Основні шляхи стабільного енергопостачання та зменшення впливу на довкілля

На сьогоднішній день, за даними 2019 року, основними постачальниками електроенергії є:

- АЕС – 53,7%;
- ТЕЦ – 36,9%;
- ГЕС – 5,3%;
- Інші види ВДЕ – 2,3%;
- Блок станції – 0,9% [49].

Згідно поданих вище даних більше 90% усієї електроенергії вироблено з скінченних та екологічно небезпечних джерел енергії. Такі показники є неприпустимими для сучасного світу. У світі, де усі країни намагаються зменшити залежність від викопного палива та перейти на екологічні види енергії в Україні частка ВДЕ лише – 7,6%. Хоча й обійтись лише відновлювальними джерелами енергії також не вийде, оскільки чиста енергія здебільшого носить непостійний характер. Так, сонячна енергетика працює лише у день та за сприятливої погоди, а вітрова за наявності постійного потоку повітря достатньо високої швидкості. Хоча все частіше використовують різні акумулятори енергії, такі як теплоакумулятори, електроакумулятори. Саме у разі несприятливих умов для вироблення «чистої» електроенергії та у часи піку навантаження необхідні інші джерела енергії для покриття потреб споживачів.

В умовах нинішньої ситуації у системі енергопостачання єдиним можливим способом зменшення впливу на екологію та при цьому стабільного – є використання удень енергії сонця у максимально можливій кількості, енергії вітру, а з настанням вечору або піку навантаження максимально доповнювати їх

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЯ			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.	Паращук В.Р.									91	104	
Перевір.	Тарасенко М.Г.							ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61				
Консульт.	Зварич Н.М.											
Н. Контр.	Коваль В.П.											
Затверд.	Тарасенко М.Г.											

такими відновлювальними ВДЕ, як: ГЕС та ГАЕС, електростанціями на біопаливі/біомасі та по можливості найменше задіювати у роботу електростанції на викопному паливі.

Також для меншого забруднення навколишнього середовища доцільно використовувати найновіші досягнення у очисних спорудах відпрацьованого повітря для електростанцій, що працюють на викопному паливі.

Приєднання України до Енергетичного співтовариства тягне за собою виконання екологічних директив ЄС щодо викидів парникових газів – в тому числі, і при модернізації енергетичних об'єктів.

А згідно цього ТЕЦ повинні модернізувати очисні споруди відповідно до вимог ЄС.

Нажаль робота енергоємного очисного устаткування ще більше знизить ефективність роботи теплової генерації, а більшість існуючих ТЕЦ узагалі не підлягають модернізації, оскільки собівартість їх оновлення становитиме 1,25-1,3 млрд доларів з розрахунку на 1 ГВт потужності. При цьому 1 ГВт нових потужностей коштує максимум 1,5 млрд.

Повна ж модернізація зношених і морально застарілих українських ТЕС, за підрахунками експертів, обійдеться у 30 млрд доларів. А це дві третини річного бюджету країни. Такі капіталовкладення гарантують лише досягнення нашою тепловою генерацією середнього європейського рівня, а не наближення до кращих світових взірців [50].

А з боку АЕС шкідливим впливом для екології є газоаерозольні викиди інертних радіоактивних газів, радіонуклідів йоду, довго існуючих нуклідів та водні скиди радіонуклідів цезію-137, кобальту-60, тритію.

Але як запевняють представники діючих АЕС в Україні рівні викидів не перевищують 1,5% допустимих рівнів, опрацьованих на кожній АЕС та погоджених з Міністерством охорони здоров'я України.

Найнижчий рівень викидів зафіксовано на Хмельницькій та Южно-Українській АЕС - менше 0,5% від допустимих норм.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діючі атомні електричні станції задовольняють вимоги безпеки, коли їх радіаційний вплив не призводить до перевищення встановлених дозових меж опромінення персоналу АЕС та населення, а також нормативів на газо-аерозольні викиди та рідкі скиди, на вміст радіоактивних речовин у навколишньому середовищі.

Допустимі рівні розраховують таким чином, щоб радіоактивні речовини, які можуть потрапити з АЕС у навколишнє середовище, не спричинили дози опромінення населення вище межі, встановленої нормами радіаційної безпеки (40 мікроЗіверт від газо-аерозольних радіоактивних речовин та 10 мікроЗіверт від радіоактивних речовин, що потрапляють у навколишнє середовище з водними скидами) [51].

Основними побічними продуктами роботи АЕС, що чинять небезпеку для довкілля є відпрацьоване радіоактивне паливо. Його правильне зберігання та переробка є необхідною складовою роботи АЕС.

Також зважаючи на аварію на ЧАЕС та АЕС у Фукусімі найбільшу потенційну небезпеку довкіллю можуть принести аварії при роботі АЕС. Так, ДП НАЕК «Енергоатом» веде активну роботу з метою запобігання аваріям, подібним тій, що сталася на АЕС «Фукусіма-1» в Японії. Спільно з державним регулюючим органом «Енергоатом» розробив План дій з виконання цільової позачергової перевірки безпеки і подальшого підвищення безпеки енергоблоків АЕС України. Розроблено додаткові кроки з підвищення безпеки енергоблоків [52].

За участю міжнародних експертів на всіх атомних станціях України проведено оперативні перевірки стану безпеки та фізичного захисту АЕС («стрес-тести»), які ще раз підтвердили надійність роботи атомних станцій.

Отже, запорукою стабільного енергопостачання та зменшення впливу на довкілля є максимальне використання потенціалу ВДЕ у часи коли це можливо та максимальне зменшення використання викопного палива, а також максимальне використання останніх розробок у очисних спорудах та безпечне використання потенційно небезпечних матеріалів при виробництві електроенергії.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Екологічний аналіз застосування двигуна Стирлінга з концентраторами сонячної енергії

Двигун Стирлінга відрізняється від двигунів внутрішнього згоряння тим, що в пристрої присутня незмінна кількість робочого тіла. Сучасні ДЗЗ, зазвичай, виконуються герметичними, а як робоче тіло використовують водень, гелій, азот під високим (вище 100 атм) тиском [14]. А оскільки, як робоче тіло використовуються описані вище гази, то сам двигун Стирлінга не чинить при роботі ніякої шкоди навколишньому середовищу.

Також враховуючи, що при роботі двигуна створюється значно менше шуму, ніж двигуни внутрішнього згоряння, оскільки відсутній викид робочого тіла назовні, то й шумове забруднення є на достатньо низькому рівні.

Конструктивно двигун Стирлінга значно простіше двигуна внутрішнього згоряння. В ньому може бути відсутня система запалювання, подачі палива, або вона може бути значно простіша, якщо двигун використовує рідке чи газове паливо. Двигун може бути зроблений так, щоб сам запускався, без допомоги стартера і акумулятора. У двигуна Стирлінга відсутні клапани, розподільчі вали, а тому ресурс ДЗЗ може складати десятки та сотні тисяч годин без обслуговування [14]. Отже, враховуючи те, що у двигуні використовується менше складових, збільшується термін роботи двигуна без поломок, то мінімізується потреба у нових деталях. Тому зменшуються викиди пов'язані з виробництвом нових деталей.

При виробництві двигуна використовуються здебільшого лише нейтральні до екології речовини та не потребуються токсичні гази. А у ході роботи не викидаються жодні викиди оскільки двигун здебільшого виконують герметичним, тому взаємодія з зовнішнім середовищем відбувається лише у вигляді тепла, що поступає від екологічного джерела енергії – Сонця.

Використовуючи сонячний концентратор у якості джерела тепла для роботи вище згаданого двигуна вплив на екологію практично дорівнює 0.

А тому використавши сонячне випромінювання у якості палива на кожен 1 кВт·год використаної енергії, у перерахунку на викиди CO₂, скорочуються на 0,924 кг у порівнянні з використанням вугілля [53]. Разом з вуглекислим газом

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

зменшуються також викиди оксиду азоту, оксиду сірки, пилу виробленого ТЕС тощо. Після використання сонячного тепла двигуном Стирлінга, як побічний продукт роботи є залишкове тепло, що можливо використати для нагріву води та опалення. А це суттєво збільшує ефективність використання енергії сонця.

Використання у конструкції сонячного концентратора, а не наприклад колектора збільшує ефективність перетворення сонячної енергії у електричну шляхом підвищення температури теплоносія. Що у свою чергу дає змогу використати меншу площу для отримання потрібної потужності, а це збільшує можливість використання вільної площі для інших потреб(посіву, лісу тощо) і тому ще зменшує вплив на середовище встановлення даних систем.

Також у конструкції застосовано трекінг для концентратора сонячної енергії. Адже за день сонце постійно змінює кут над горизонтом, обертаючи систему концентрації до сонця під прямим кутом ми забезпечимо найбільш оптимальний кут падіння сонячного випромінювання, тому ефективність поглинання енергії буде відбуватись з максимальною ефективністю.

У разі статичного розташування кількість енергії зібраної поглиначем сонячного випромінювання за різними даними знижується у 2-2,5 рази.

За один тиждень на земну поверхню від Сонця поступає така ж кількість енергії, яка перевершує енергію світових запасів усіх видів палива. Тому можна припустити, що використовуючи лише одну енергію сонця можна покрити практично усі потреби у енергії, як теплової, так і електричної протягом дня. А ввечері та вночі використати акумульовану частину денної енергії доповнивши її іншими видами ВДЕ. А це дозволило б обходитись практично без викопних джерел енергії та звести викиди при вироблені енергії до майже нуля.

Оскільки викопні види палива стрімко закінчуються через виснаження природних ресурсів, а їх подальше використання веде до енергетичної та екологічної кризи. Вже сьогодні ми на собі відчуваємо вплив глобального потепління викликаного саме використанням викопного виду палива. А через зменшення їх кількості відбуваються війни. Тому, найкращим способом вирішити усі проблеми є використання ВДЕ.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

ВИСНОВКИ

В результаті здійсненого нами дослідження можна зробити наступні висновки.

1. Альтернативою викопному паливу, використання якого негативно впливає на навколишнє середовище, є відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) – джерела енергії, які поновлюються природним чином. До них належать: сонячне випромінювання, енергія води та вітру, геотермальне тепло, біопаливо.

2. Основними типами перетворювачів сонячного випромінювання у корисну енергію є: СЕС баштового типу; СЕС параболокругового типу; СЕС на основі параболоциліндричних концентраторів; СЕС на основі фотогальванічних елементів.

3. До основних типів концентраторів сонячної енергії для СЕС належать: плоскі відбивачі, що встановлюються у електростанціях баштового типу навколо центрального приймача-парогенератора, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання; концентратори параболоциліндричного типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм; концентратори параболокругового типу – в фокусі параболокругового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії.

4. Особлива конструкція двигуна Стирлінга робить його унікальною тепловою машиною. Теоретична ефективність двигуна практично дорівнює максимальній ефективності теплових машин (циклу Карно).

5. ККД кожного з компонентів СЕС на основі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами випромінювання є надзвичайно високим. Так, рефлектор параболоциліндричного концентратора відбиває падаюче на нього сонячне випромінювання з ККД, залежно від умов, близьким до 90-95%. Висока ефективність досягається завдяки високоякісним дзеркалам

					<i>ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Паращук В.Р.				ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Тарасенко М.Г.						96	104
Консульт.	Тарасенко М.Г.					<i>ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61</i>		
Н. Контр.	Коваль В.П.							
Затверд.	Тарасенко М.Г.							

та рефлекторам правильної форми. Високою є також ефективність перетворення сонячного випромінювання у тепло вакуумними трубками-приймачами. Висока ефективність забезпечується завдяки здатності параболоциліндричних концентраторів до концентрування з великою кратністю у порівнянні з прямим сонячним випромінюванням. Сонячне випромінювання сконцентроване лише у малій області на поверхні абсорбера, що дає змогу з найбільшою ефективністю перетворити енергію Сонця у тепло. Важливою є саме густина випромінювання, яка надходить з параболоциліндричного концентратора на таку трубку. Зі збільшенням концентруючої можливості концентратора відсоток теплових втрат вакуумною трубкою знижується. Адже вакуумна трубка неспроможна розсіяти у зовнішнє середовище таку кількість енергії, що на неї спрямована. У разі використання якісних компонентів ККД все меншою мірою залежить від різниці температури теплоносія та навколишнього середовища через покращення теплоізоляційних властивостей.

6. Ефективність двигуна Стирлінга, який є центральною частиною СЕС, залежить від багатьох факторів. При порушенні використання одного з параметрів ККД стрімко падає. При належному виконанні всіх вимог використаний у розрахунку двигун Стирлінга може досягнути ККД у 55% від циклу Карно, а генератор, що використовується для перетворення енергії обертання двигуна Стирлінга у електричну енергію, досягає ефективності у 95%.

7. Теплопровід, що сполучає трубку вакуумного-приймача з двигуном Стирлінга, також є важливим елементом системи СЕС. При його проектуванні необхідно максимально зменшити протяжність такого теплопроводу, щоб забезпечити найменші втрати тепла при транспортуванні теплоносія до кінцевого пункту.

8. Проаналізовані недоліки та втрати енергії при її перетвореннях повинні забезпечити таку ефективність, яка необхідна для подальшого використання та побудови у майбутньому таких видів СЕС. Ефективність повинна бути не нижчою за вже застосовані види СЕС та бути надійною при експлуатації.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Встановлення СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами є доцільним та виправданим з врахуванням річної кількості генерованої енергії та спеціального тарифу на такі види електростанцій. Для покращення результатів сумарної річної кількості генерованої електроенергії можна встановити додатковий ДЗЗ меншої потужності. Такий двигун зможе працювати при значно нижчих показниках густини потоку сонячного випромінювання.

Додатковий ДЗЗ може працювати також у піки кількості генерації сонячного тепла, коли для основного ДЗЗ кількості теплової енергії забагато, а надлишок викидається теплообмінниками у зовнішнє середовище. Адже через перевищення температурних режимів обладнання може вийти з ладу. Тому встановлення додаткового двигуна Стирлінга є необхідним для повноцінної роботи такої СЕС.

11. Економічна ефективність СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами потужністю у 120кВт (масштабована у 4 рази) є високою для такого типу електростанцій. Даний тип може масштабуватись практично до будь яких розмірів, при цьому зі збільшенням розміру частка витрат буде знижуватись, і, відповідно, збільшуватися дохідність установки. А, враховуючи те, що первинним продуктом такої СЕС є тепло, у місяці, несприятливі для генерації електроенергії, його можна використовувати для опалення навколишніх підприємств та будинків, що також є збільшенням ефективності цього типу СЕС.

12. Технічними засобами безпеки, необхідними для забезпечення належних умов праці обслуговуючого персоналу та безпечної експлуатації електроустановки на базі двигуна Стирлінга з сонячним концентратором є: контроль доступу на територію об'єкту; комплекс заходів для протипожежного захисту; комплекс заходів для електричної безпеки.

13. Запорукою стабільного енергопостачання та зменшення впливу на довкілля є максимальне використання потенціалу ВДЕ у часи, коли це можливо, максимальне зменшення використання викопного палива, максимальне використання останніх наукових розробок у очисних спорудах та безпечне

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

використання потенційно небезпечних матеріалів при виробництві електроенергії.

14. Застосування сучасних методів і засобів виробництва та експлуатації двигунів Стирлінга мінімізує шкідливий вплив на навколишнє природне середовище. Використання під час виробництва двигуна здебільшого нейтральних до екології речовин, відсутність потреби у токсичних газах, відсутність шкідливих викидів, пов'язана з герметичністю двигуна та ін. зводить вплив на екологію до нуля.

В цілому, застосуванням двигуна Стирлінга у парі з концентраторами сонячного випромінювання займаються багато компаній та дослідних площадок у цілому світі. Проте, не було проведено аналізу роботи такої установки саме на території України. Як завершальний етап мною було проведено дослідження теоретично можливої річної виробітки електроенергії для Тернопільської та Херсонської областей. У результаті чого, було прийнято, що територія Тернопільської області непридатна для економічно обґрунтованої генерації електроенергії СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами.

Тому подальший аналіз був проведений саме для Херсонської області, де густина сонячного випромінювання є вищою, а кількість хмарних днів у рази менша за Тернопільську область.

В результаті розрахунку річна генерація для СЕС на базі двигуна Стирлінга з параболоциліндричними концентраторами потужністю у 120 кВт (масштабована з 4 двигунів Стирлінга компанії Philips потужністю у 30 кВт кожен) склала більш ніж 202 МВт·год на рік. У перерахунку на гривні – 833151 грн. А з врахуванням витрат пов'язаних з експлуатацією СЕС, прибуток склав 341 тис. грн. на рік.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. URL: <http://septrans.com.ua/index.php/uk/enerhiia/12-sontse>
2. URL: <https://msd.in.ua/sonyachna-teploelektroenergetika/>
3. Види сонячних електростанцій. URL: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES
4. Теплоенергетика. URL: <https://msd.in.ua/sonyachni-stancii-parabolichnogo-tipu/>
5. Електроенергетика. URL: http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=46
6. «Зелений тариф в Україні». URL: <https://alterair.ua/uk/articles/zelenyy-tarif-v-ukraine/>
7. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2683036-v-ukraini-71-potuznostej-vidnovluvanoi-energetiki-sonacni-elektrostantsii.html>
8. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2647823-v-ukraini-zpracuvala-najbilsa-ta-najpotuznisa-sonacna-elektrostantsia.html>
9. Украинский изобретатель разработал простой и доступный концентратор солнечной энергии для отопления и ГВС. URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/259-ukrainskij-izobretatel-razrabotal-prostoj-i-dostupnyj-kontsentrator-solnechnoj-energii-dlya-otopleniya-i-gvs.html>
10. Проект «Подсолнух» от IBM – солнечная установка, генерирующая электроэнергию с 80 % эффективностью. URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/207-proekt-podsolnukh-ot-ibm-solnechnaya-ustanovka-generiruyushchaya-elektroenergiyu-s-80-effektivnostyu.html>

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Паращук В.Р.									
Перевір.	Тарасенко М.Г.								100	104
Консульт.	Тарасенко М.Г.							ТНТУ, ФПТ, ЕМм-61		
Н. Контр.	Коваль В.П.									
Затверд.	Тарасенко М.Г.									

11. Энергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жовтянський; наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. Київ: Б.в., 2013. 390 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2>

12. URL: http://zinko.lviv.ua/articles/1470899755/_private/Stirling.htm

13. Мержиєвська В. Двигуни зовнішнього згорання (двигуни Стірлінга). URL: <https://sites.google.com/site/yakavoska/articles/stirling>

14. Двигун Стірлінга. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Двигун_Стірлінга

15. Альтернативні джерела енергії: навч. посіб. для студентів вищ. учб. закл. / В. П. Чучуй, С. М. Уминський, С. В. Інютін. Одес. держ. аграр. ун-т. Одеса: ТЕС, 2015. 494с. URL: https://pidruchniki.com/72986/ekologiya/dvigun_stirlinga

16. Двигун Стірлінга. URL: <https://alternative-energy.com.ua/vocabulary/двигун-стірлінга/>

17. Солнечный концентратор Ripasso – самый эффективный способ преобразования солнечной энергии? URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/74-solnechnyj-kontsentrator-ripasso-samyj-effektivnyj-sposob-preobrazovaniya-solnechnoj-energii.html>

18. URL: <https://www.facepla.net/the-news/energy-news-mnu/300-stirling-energykick-off-its-first-plant.html>

19. Электростанция – солнечная башня. URL: <https://engineering.ua/articles/elektrostanciya-solnechnaya-bashnya>

20. Апариси Р.Р. Экспериментальная установка для получения высоких температур / В сб.: Использование солнечной энергии. М.: АН СССР. 1957.

21. Жозе П. Распределение плотности потока энергии в фокальном изображении солнечной печи / В. сб.: Солнечные высокотемпературные печи. М.: АН СССР. 1960. С.229–239.

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Акбаров Р.О., Кучкаров А.А. Аналитическая формула для расчета энергетических характеристик солнечного параболоцилиндрического концентратора. *Гелиотехника*. 2003. С.10-14.

23. Захидов Р.А. Зеркальные системы концентрации. Ташкент: Фан, 1980. 225 с.

24. Захидов Р.А., Умаров Г.Я., Вайнер А.А. Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем. Ташкент: Фан, 1977. 255 с.

25. Захидов Р.А., Кличев Ш.И. Максимальная концентрирующая способность параболоцилиндрических дзеркал. *Гелиотехника*. 1973. С.46-47.

26. Студенець В.П. Чисельний розрахунок параметрів параболоїдного концентратора для сонячної енергетичної установки на базі двигуна Стірлінга. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24678>

27. Сонячні колектори: типи, особливості. Наскільки вони ефективні в умовах українського клімату? URL: <https://alterair.ua/uk/articles/colnechnye-kollektora-v-ukraine/>

28. Сельницын А. С. Сравнение солнечных коллекторов, используемых в целях теплоснабжения и горячего водоснабжения жилого дома в условиях Краснодарского края. *Молодой ученый*. 2016. №1. С. 216-219.

29. Сонячні вакуумні колектори AQUA PLAZMA. URL: <https://www.warm.com.ua/sonyachni-kolektory-paradigma/sonyachni-vakuumni-kolektory-aqua-plasma/>

30. Як вибрати сонячний колектор. URL: <https://www.vaillant.ua/dlia-klientiv/korisna-informatsia/solution-consultant/kak-vibrat-solnechniy-kollektor/>

31. Двигатели Стирлинга / Сокр. пер. с англ. Б. В. Сутугина и Н. В. Сутугина. Москва: Машиностроение, 1985. 408 с.

32. Альтернатор генератора: синхронный (щеточный) или асинхронный (бесщеточный) – принцип работы и особенности. URL: <https://storgom.ua/novosti/alternator-generatora-sinhronnyj-schetochnyj-ili-asinhronnyj-besschetochnyj---printsip-raboty-i-osobennosti.html>

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Втрати потужності і коефіцієнт корисної дії синхронного генератора.
URL: https://studopedia.su/5_48077_vtrati-potuzhnosti-i-koefitsient-korisnoi-dii-sinhronnogo-generatora.html

34. URL: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-0.html>

35. URL: http://rp5.ua/archive.php?wmo_id=33415&lang=ua

36. Економіка і фінанси підприємства: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Л. М. Степасюк, Н. М. Суліма, О. В. Величко; За ред.: В. К. Збарського, В. І. Мацибори; Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: ЦП «Компринт», 2013. 300 с.
URL: https://pidruchniki.com/84327/ekonomika/ekonomika_i_finansi_pidpriyemstva

37. Мельник Л.Г. Економіка енергетики: підручник / За ред.: Л.Г. Мельника, І.М. Сотник. Суми: Університетська книга, 2015. 378 с. URL: https://pidruchniki.com/73739/ekonomika/ekonomika_energetiki

38. Технічні засоби охорони. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Технічні_засоби_охорони

39. Норми випробування електроенергії. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 28.08.2002 р. № 503. URL: <https://forca.com.ua/knigi/pravila/normi-viprobuvannya-elektrobladnannya.html>

40. Основи охорони праці. URL: <https://library.if.ua/book/9/987.html>

41. Косюк В. Гасіння пожеж на енергетичних об'єктах під напругою. *Охорона праці і пожежна безпека*. 2012. № 6. URL: <http://oppb.com.ua/docs/gasinnya-pozhezh-na-energetichnih-objekтах-pid-naprugoyu>

42. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 11.10.2010 № 457 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>

43. Надзвичайна ситуація. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Надзвичайна_ситуація#Причини_виникнення

44. Електробезпека. URL: <https://studopedia.org/7-160362.html>

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

45. Дія струму на організм людини. URL: <http://op.rv.ua/article/diya-strumu-na-organizm-lyudyny>

46. Дія електричного струму на організм людини. URL: <https://library.if.ua/book/9/981.html>

47. Перша допомога при ураженні електричним струмом. URL: <http://opik-center.com.ua/index.php/uk/poradi-likarya/24-persha-dopomoga-pri-urazhenni-elektrichnim-strumom>

48. Правила надання першої допомоги потерпілому від електричного струму. URL: <https://chernigivoblenergo.com.ua/?q=node/747>

49. Електроенергетика України. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електроенергетика_України

50. 30 млрд доларів: щоб українські ТЕС були такі, як європейські. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2593914-30-mlrd-dolariv-sob-ukrainski-tes-buli-taki-ak-evropejski.html>

51. Викиди українських АЕС не перевищують 1 % допустимих норм. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/vykydy-ukrainskykh-aes-ne-perevyshchuiut-1-dopustymykh-norm>

52. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=244916068&cat_id=244916056

53. Зміна клімату. URL: <https://atom.org.ua/?p=359>

					ДРМ 18-319.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104