

УДК 621.472

ДОВГИЙ С.С., ЄМАНОВА Н.О., СТУДЕНЕЦЬ В.П.

ДОСЛІДНИЦЬКИЙ СТЕНД «ПАРАБОЛОЇДНИЙ СОНЯЧНИЙ КОНЦЕНТРАТОР - ДВИГУН СТИРЛІНГА УДС-1 - ЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР» ТА ЙОГО БАЗОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розглянуто питання перетворення сонячної енергії в електричну на базі створеного дослідницького стенду «параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга УДС-1 – електричний генератор». Наведено методику розрахунку та здійснено аналіз основних характеристик складових елементів стенду.

Ключові слова: параболоїдний сонячний концентратор, двигун Стірлінга, електричний генератор.

ДОВГИЙ С.С., ЄМАНОВА Н.А., СТУДЕНЕЦЬ В.П.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД «ПАРАБОЛОИДНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ КОНЦЕНТРАТОР – ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА УДС-1 – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР» И ЕГО БАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Рассмотрен вопрос преобразования солнечной энергии в электрическую на базе созданного исследовательского стенда «параболоидный солнечный концентратор – двигатель Стирлинга – электрический генератор». Изложена методика расчета и выполнен анализ основных характеристик составных элементов стенда.

Ключевые слова: параболоидный солнечный концентратор, двигатель Стирлинга, электрический генератор.

S.S. DOVGYI, N.O. IEMANOVA, V.P. SToudenets

RESEARCH STAND "PARABOLIC SOLAR CONCENTRATOR - THE STIRLING ENGINE UDS-1 - ELECTRIC GENERATOR" AND ITS BASE CHARACTERISTICS

The solar-electrical energy conversion on the base of assembled research unit “solar dish concentrator – Stirling engine – generator” is considered. The design procedure is observed and the characteristic analysis of unit component elements is performed.

Keywords: solar dish concentrator, Stirling engine, electric generator.

1. Вступ

На лабораторній базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» створено експериментальну сонячну енергетичну установку СЕУ (рис. 1.1), яка складається з:

- 1 – параболоїдного сонячного концентратора (СК), вкритого тонкою дзеркальною плівкою,
- 2 – двигуна УДС-1, гаряча порожнина якого знаходиться у фокусі СК,
- 3 – електрогенератора (ЕГ) ДП-2-26, з'єднаного за допомогою ремінної передачі зі шківом ДС,
- 4 – вимірювального обладнання (вимірювання сонячної радіації, температури гарячої та холодної порожнин ДС, швидкості обертання ДС, вихідної потужності ЕГ).

Робота стосується дослідження перетворення сонячної енергії в електричну на базі створеного дослідницького стенду «параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга УДС-1 – електричний генератор».

Метою роботи є аналітичний і експериментальний аналіз ключових характеристик та ефективності СЕУ та її основних компонентів.

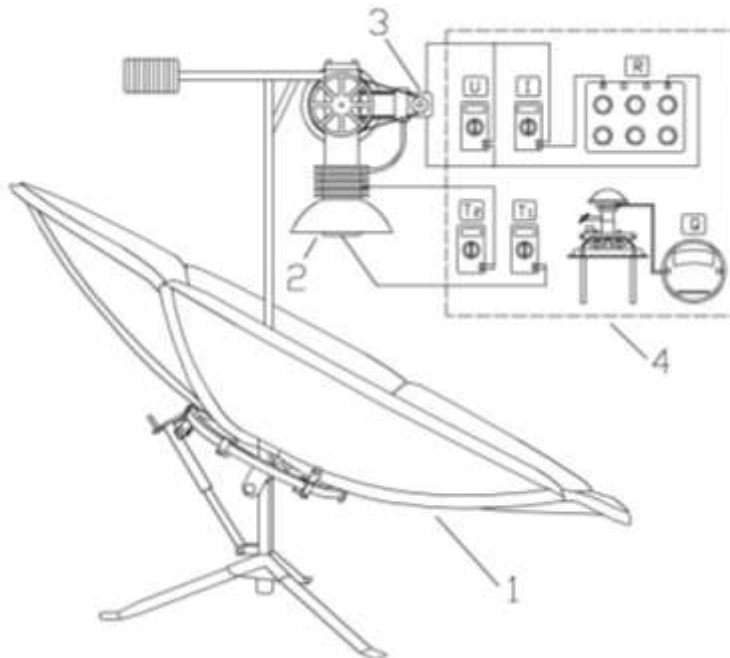


Рис. 1.1 - Експериментальна сонячна енергетична установка

2. Сонячний концентратор

Як сонячний концентратор (СК) було обрано так звану «сонячну кухню» – параболоїдний СК, вкритий тонкою дзеркальною плівкою, встановлений на тринозі з можливістю обертання на 360° і регулювання кута нахилу.

Реальне зображення СК та його характеристики наведені на рис.2.1 та у таблиці 2.1 відповідно.

Таблиця 2.1 – Паспортні характеристики сонячного концентратора

Діаметр антени концентратора	1,5 м
Площа міделя концентратора	1,77 м ²
Фокусна відстань концентратора	0,6 м
Відношення діаметр/фокус	2,5
Кут розкриття концентратора	64°
Діаметр фокальної плями	0,1 м
Площа фокальної плями	7,85 · 10 ⁻³ м ²
Площа зображення Сонця	2,46 · 10 ⁻⁵ м ²
Коефіцієнт ефективності оптичної системи	0,5
Ступінь концентрації	28105
Коефіцієнт концентрації	0,235

Ступінь концентрації – це відношення сонячного потоку в зображенні сонця до сонячного потоку відбитого концентратором одиницею площі, і залежить лише від геометричних показників концентратора:

$$C = \frac{P}{\eta_a \cdot \eta_r \cdot p_0} = 46,1 \cdot 10^3 \cdot \sin^2 \theta.$$

Для приймача у вигляді плоскої пластини, що підкоряється кону Ламберта ($\varepsilon = \varepsilon_n \cos \theta$):

$$C = 30,7 \cdot 10^3 (1 - \cos^3 \theta).$$

Коефіцієнт концентрації – відношення кількості енергії, що отримується в межах сонячного зображення, до загальної кількості енергії, що отримується в фокальній площині (відношення теплового потоку, що падає в області сонячного зображення, до повного потоку, що падає на параболоїдний концентратор).

Для приймача у вигляді плоскої пластини, що підкоряється закону Ламберта:

$$\eta_c = \frac{\varepsilon_n}{6} (1 + \cos \theta) (1 + \cos \theta + \cos^2 \theta).$$



Рис. 2.1 – Сонячний концентратор

3. Двигун Стірлінга УДС-1

Як динамічний перетворювач була вибрана модель УДС-1 (ДС односторонньої дії, витискувального типу, з робочим і додатковим циліндрами, розташованими під кутом 90° [3]), схема якої представлена на рис 3.1 з позначенням її складових елементів.

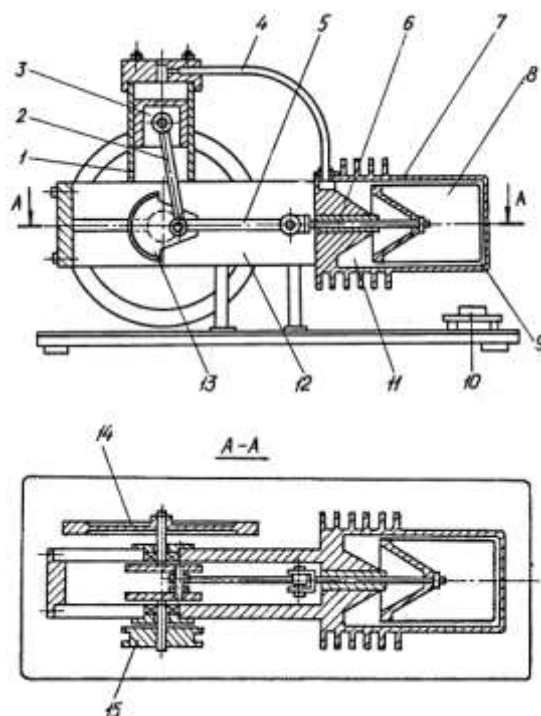


Рис. 3.1 – Учбово-демонстраційна модель двигуна Стірлінга моделі УДС-1:
 1 – робочий циліндр, 2 – шатун, 3 – робочий поршень, 4 – трубка внутрішнього контуру, 5 – шатун, 6 – втулка, 7 – циліндр, 8 – поршень–витискувач, 9 – гаряча порожнина, 10 – місце для зовнішнього підводу теплоти, 11 – холодна порожнина, 12 – корпус, 13 – кривошип, 14 – маховик, 15 – шків.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані двигуна Стірлінга

Номинальна потужність, Вт	5
Кутова швидкість вихідного валу, об/хв	500
Число циліндрів, шт	1
Система згорання	Зовнішня
Охолодження	Повітряне
Робоче тіло	Повітря
Схема	γ-схема
Обертання маховика	За годинниковою стрілкою
Маса, кг, не більше	8
Габаритні розміри, мм, не більше	340x160x170

Таблиця 3.2 – Основні характеристики двигуна Стірлінга

Найменування характеристики ДС	Символ	Величина
1. Діаметр робочого циліндра	D	40 мм
2. Діаметр циліндра витискувача	D _в	65 мм
3. Діаметр витискувача	d _в	63,4 мм
4. Хід поршня та витискувача	S	30 мм
5. Відношення ходу поршня до діаметру циліндра	SD	0,75
6. Робочий об'єм	V _с	37,68 см ³
7. Повний об'єм	V _т	130,86 см ³
8. Мертвий об'єм	V _д	93,18 см ³
9. min тиск у робочих порожнинах	P _{min}	0,1 МПа

4. Електрогенератор

Технічні характеристики електрогенератора (ЕГ) визначаються, в першу чергу, швидкістю обертання УДС-1 600 об/хв. ЕГ з вихідною напругою 220 В і такою номінальною швидкістю обертання характеризуються значними габаритами, що заважає їх використанню в конструкції СЕУ. Встановлення ж мультиплікатора є економічно недоцільним.

На лабораторній базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» проведено ряд дослідів над сімома електричними машинами з метою виявлення найпотужнішої при частоті обертання 400 об/хв, що найбільш відповідає частоті обертання ДС за реальних умов. В якості навантаження було вибрано умовне навантаження 15 Ом (у вигляді магазину опорів).

В якості динамічного перетворювача було обрано двигун марки ДП-2-26, що є машиною постійного струму зі збудженням від постійного магніту. Його зображення приведене на рис. 4.1, а паспортні характеристики наведені у таблиці 4.1.

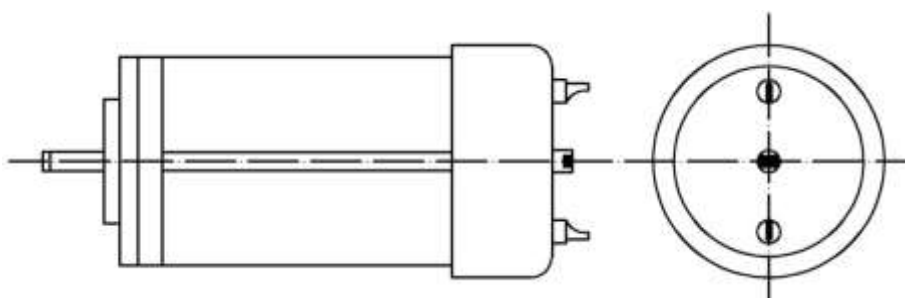


Рис. 4.1 – Електродвигун марки ДП-2-26

Таблиця 4.1 – Паспортні характеристики ДП-2-26

Частота обертання	3800 об/хв
Напруга	27 В
Струм	1,2 А
Обертаючий момент	29,4 (мН·м)
Напруга живлення	27В ± 2,7 В
Номінальна потужність	12Вт
Номінальний обертаючий момент	0,0294 Нм
Маса	0,3 кг
Довжина	90 мм
Діаметр	39мм
Мінімальне напрацювання	300 год

5. Експериментальне дослідження СЕУ

Протягом літа 2012 р. було проведено ряд експериментів з сонячною енергетичною установкою на базі двигуна Стірлінга, а саме: дослід у замкненому просторі, дослід у відкритому просторі, дослід у відкритому просторі без однієї, двох та трьох секцій СК.

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між інтенсивністю сонячного випромінювання і температурами гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі збільшенням сонячної

радіації всі вищезазначені параметри зростають, не залежно від того, проводився дослід у закритому чи відкритому просторі.

Також, розглядаючи погодні умови, вдалося виявити пряму залежність між температурами гарячої і холодної порожнини ДС та швидкістю вітру: чим більше швидкість вітру, тим температури менше.

В таблиці 5.1 представлені усереднені по всім дослідом значення температури гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкості обертання та вихідної електричної потужності СЕУ, віднесені до кількості активних секцій СК з подальшим перерахунком на площу міделя СК (Ак).

Таблиця 5.1 – Параметри СЕУ в залежності від кількості активних секцій СК

Кількість активних секцій СК	Ак, м ²	T ₁ , К	ΔT, К	N, об/хв.	W, Вт
6 (всі)	1,77	897	565	332	1,802
5 (без 1 секції)	1,47	873	542	251	0,919
4 (без 2 секцій)	1,18	858	534	245	0,879
3 (без 3 секцій)	0,88	840	511	162	0,41

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між площею сонячного концентратора і температурами гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі зменшенням площі міделя концентратора всі вищезазначені параметри зменшуються.

6. Розрахунок індикаторних характеристик ДС за ізотермічною моделлю по методу Шмідта та ККД СЕУ в цілому

Даний розрахунок можна провести двома методами: використовуючи експериментальне або розрахункове значення температури робочого тіла в гарячій порожнині ДС.

Розраховані параметри відображені графічно на рис.6.1-6.4, де результати теоретичного розрахунку представлені чорною лінією, а експериментально-теоретичного – червоною. В обох випадках спостерігається пряма залежність між отриманими даними: при збільшенні величини сонячної радіації температура робочого тіла у гарячій порожнині, потужність ДС, ККД ДС та ККД СЕУ зростають.

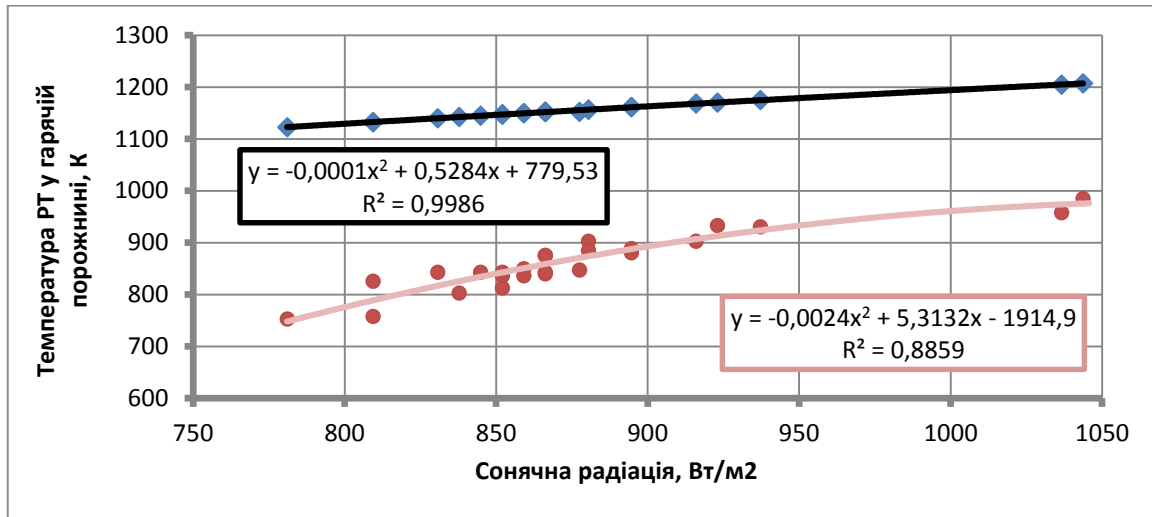


Рис.6.1 – Залежність температури робочого тіла у гарячій порожнині від сонячної радіації

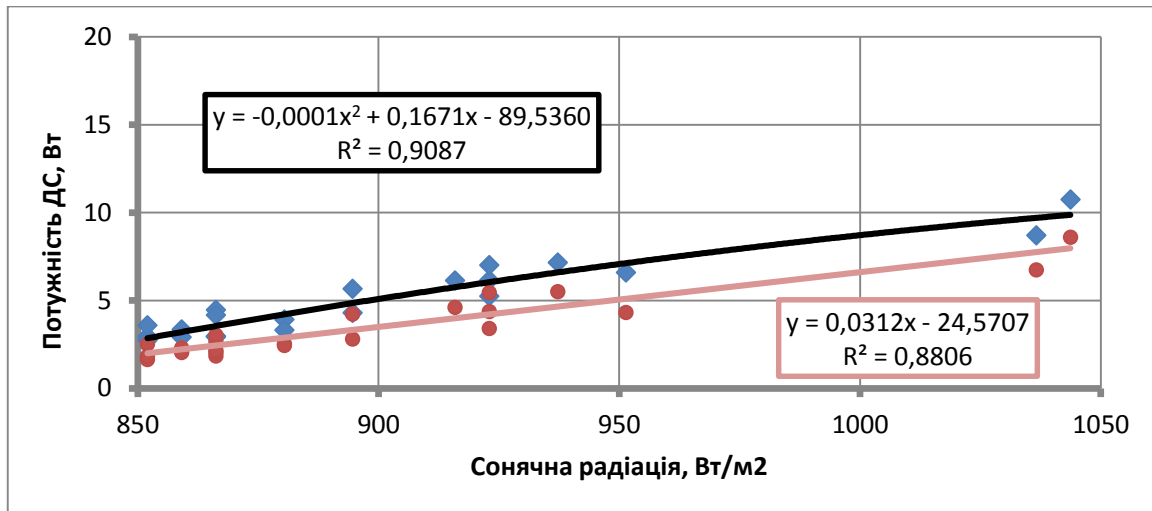


Рис.6.2 – Залежність потужності ДС від сонячної радіації

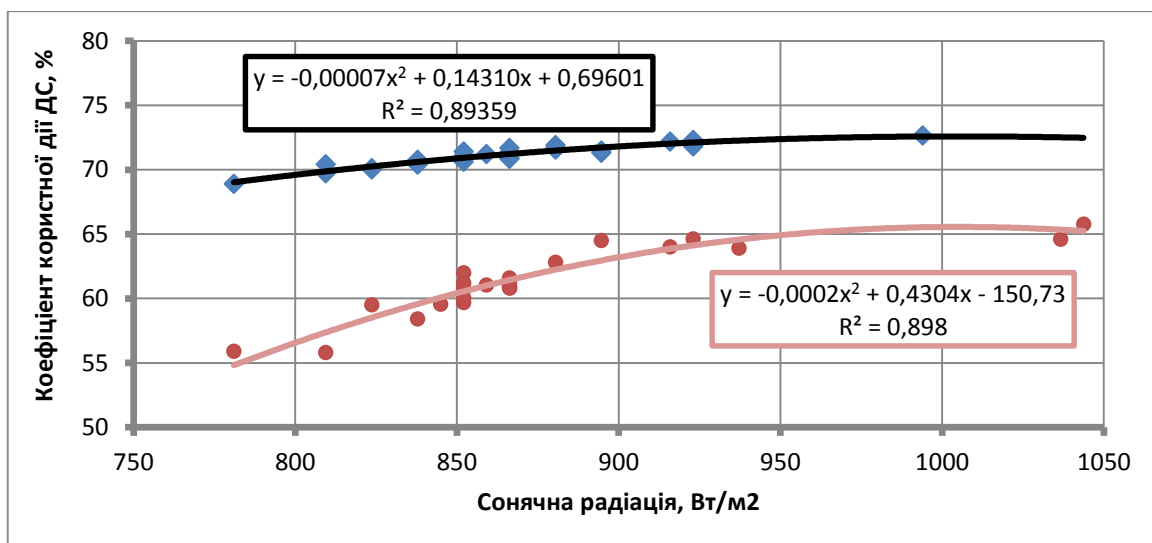


Рис.6.3 – Залежність ККД ДС від сонячної радіації

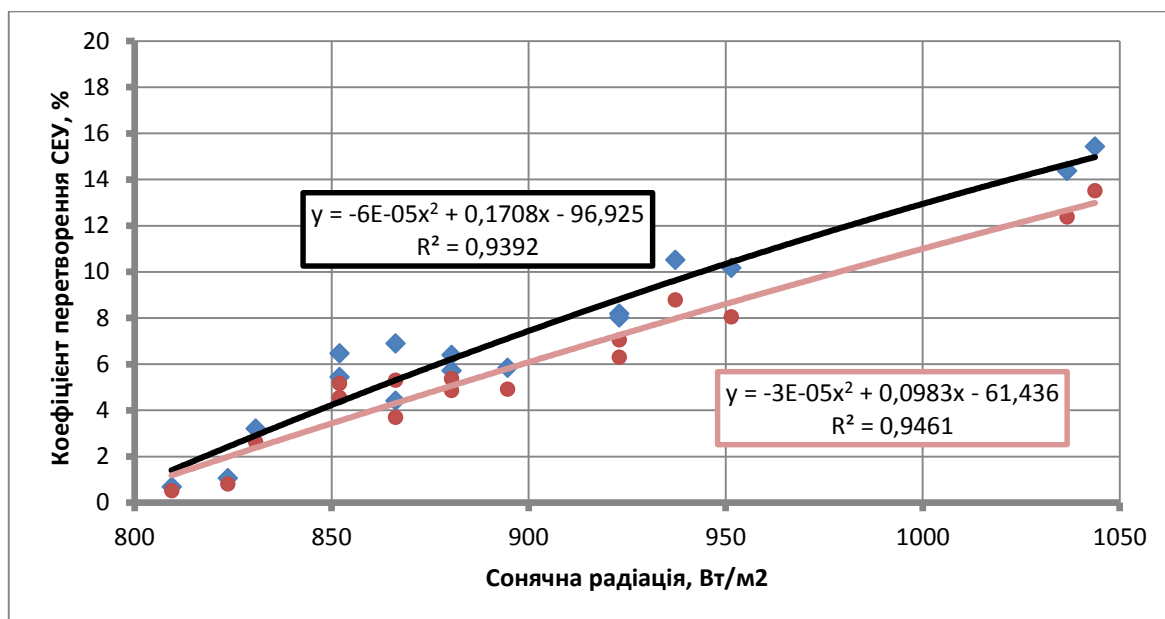


Рис.6.4 – Залежність ККД СЕУ від сонячної радіації

7. Висновки

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між інтенсивністю сонячного випромінювання і температурами гарячої та холодної порожнини ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі збільшенням сонячної радіації всі вищезазначені параметри зростають, незалежно від того, проводився дослід у закритому чи відкритому просторі.

Так само дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між площею сонячного концентратора і температурами гарячої та холодної порожнини ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі зменшенням площі міделя концентратора всі вищезазначені параметри зменшуються.

Результати теоретичного та експериментально-теоретичного розрахунку показують пряму залежність між отриманими даними: при збільшенні величини сонячної радіації температура робочого тіла у гарячій порожнині, потужність ДС, ККД ДС та ККД СЕУ зростають. Остаточні розраховані параметри СЕУ (сонячна радіація 753-1044 Вт/м²) наступні: ККД СК 45%, ККД ДС 55-68%, ККД ЕГ 5-14%, ККД СЕУ 1-14%

ККД СЕУ може бути підвищений шляхом зниження температури холодної порожнини та збільшення тиску робочої порожнини ДС за допомогою наступних конструктивних рішень: примусове охолодження радіатора ДС водою або повітрям; нагнітання робочого тіла (повітря) в робочу порожнину ДС до тиску ~3 атм.

Список посилань

1. S. Bittanti, A.D. Marco, M. Farina, S. Spelta «Modeling and simulation of a dish Stirling solar engine».
2. Г.Ридер, Ч. Хупер «Двигатели Стирлинга» Пер с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
3. Долганов К.Е. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга УДС-1. / К.Е. Долганов, В.П. Лисица // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 28, 33.