

## Використання двигуна Стірлінга для промислового глибоководного видобування поліметалевих конкрецій в океані

*Юрій Баранов, Ігор Косминський, Микита Мельниченко*

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680, e-mail: boys60@yandex.ru

**Анотація.** У статті проаналізовано існуючі конструкції двигуна Стірлінга для підводного буріння. Модифікація традиційного двигуна Стірлінга полягає в тому, щоб повністю замінити вид палива (бензин, газ, дизельне паливо та ін.) і паливну систему для роботи на хімічному паливі, а також модифікувати конструкцію з додаванням вакуумної герметичності і агрегату охолоджуючої дії. В результаті отримуємо: повністю екологічний і безпечний для навколишнього середовища двигун; повністю економічне і недороге у виробництві паливо; мінімальну витрату масла; простоту конструкції; низьку вартість витратних матеріалів; збільшену потужність і ККД за рахунок вакууму.

**Ключові слова:** двигун Стірлінга, вакуумна герметичність, охолоджувач примусової дії.

### МЕТА

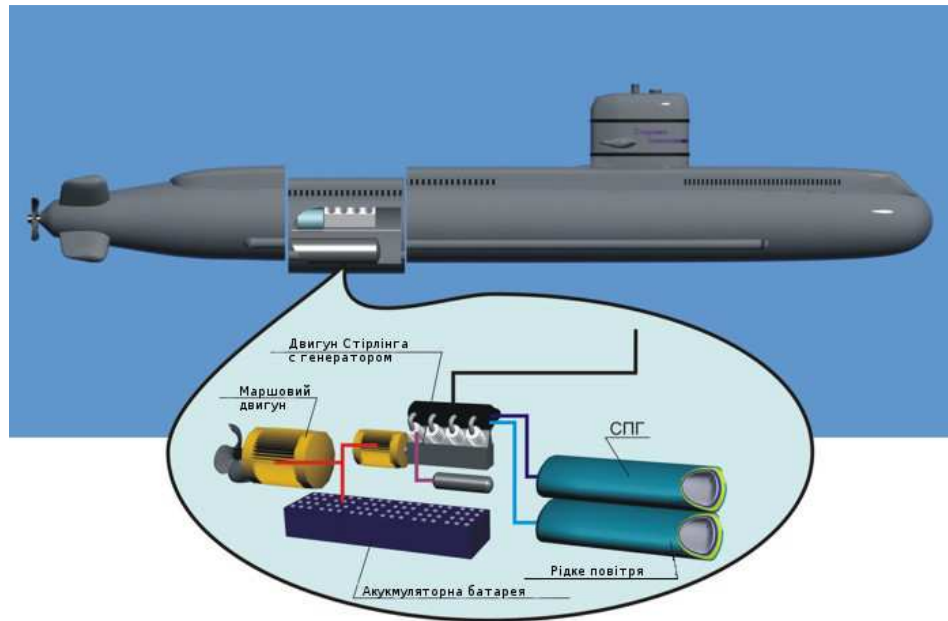
Проаналізувати існуючі конструкції двигунів. Порівняти двигун Стірлінга з іншими двигунами внутрішнього згорання, що використовуються для промислового видобутку поліметалевих конкрецій в океані. Та внести на розгляд авторську розробку двигуна, що зміг би стати альтернативою двигуну внутрішнього згорання в межах проекту програми Greenpeace по збереженню довкілля [1].

### ПРОБЛЕМА

На сьогоднішній день екологічна проблема в світі досягла критичного рівня. І постала три проблеми, які потребують негайно розгляду. Перша проблема це глобальне потепління, що зумовлене не раціональним та надмірним використанням тепла і призводить до катастрофічних наслідків. Друга проблема це шкідливі газі, що дуже швидко отруюють нашу планету. Третя проблема – стрімке використання нафтових продуктів та мале використання альтернативних типів палив. Що призвело за 60 років до 10 кратного скорочення нафтових запасів планети. За останніми даними світових запасів вистачить близько на століття. Що призведе до, зупинки багатьох промислових підприємств, та зникнення ДВЗ в цілому.

### АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Двигун Стірлінга був уперше запатентований Робертом Стірлінгом 27 вересня 1816 (англійський патент № 4081). Він застосовувався на заводі, де працював сам винахідник, незабаром став дуже популярним. Але з часом двигуни внутрішнього згорання витиснули двигуни



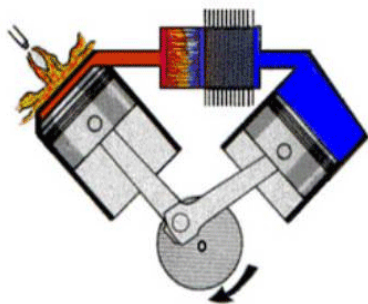
**Рис. 1.** Підводний човен з силовою установкою двигуна Стірлінга  
**Fig. 1.** Submarine Stirling engine

Стірлінга і про них на деякий час забули. У 30-х роках ХХ століття компанія «Philips» почала роботи по розробці невеликого, з низьким рівнем шуму, електричного генератора з тепловим приводом для живлення радіоапаратури.

У сучасних умовах США і Японія виробляють даний тип двигуна для підводних човнів – невидимок типу “Сорю” та “Готланд” (Рис.1).

Двигуни Стірлінга бувають чотирьох видів [2-4]:

1.  $\alpha$ -Стірлінг (Рис. 2) містить два окремих силових поршня в роздільних циліндрах – один гарячий, другий холодний.



**Рис. 2.** Схема  $\alpha$ -Стірлінга  
**Fig. 2.**  $\alpha$ -Stirling

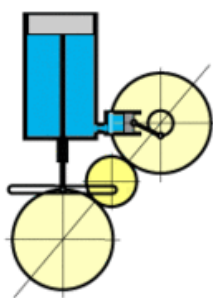
2.  $\beta$ -Стірлінг (Рис. 3) містить всього один циліндр, гарячий з одного кінця і холодний – з іншого. Усередині циліндра рухаються поршень (з якого знімається потужність) і витискувач, що змінює обсяг гарячої порожнини.

3.  $\gamma$ -Стірлінг (Рис. 4) має так само поршень і витискувач, але при цьому два циліндра – один холодний (там рухається поршень, з якого знімається потужність), а другий гарячий з одного кінця і холодний з іншого (там рухається витискувач).

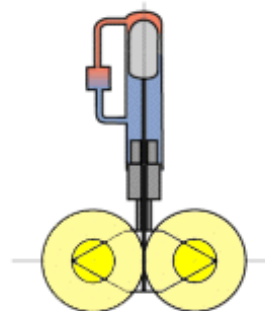
4. Роторний двигун Стірлінга – патент Мухіна на герметичне введення обертання (ГВО), (відсутній кривошипно-шатунний механізм) [5].

Перші три типи цих двигунів застосовуватися в різних сферах промисловості: електростанції, холодильні установки, насоси, кораблі і т.д.

Екологи та вчені всього світу шукають альтернативу існуючим двигунам, які могли б працювати на будь-якому виді палива, були безпечними і надійними. Так, наприклад, електродвигун буде працювати до тих пір, поки є заряд в батареї або світить сонце. При цьому вартість батареї буде дуже висока. Двигуни, що працюють



**Рис. 3.** Схема β-Стірлінга  
**Fig. 3** β-Stirling



**Рис.4.** Схема γ-Стірлінга  
**Fig. 4.** γ-Stirling

на водні і газі мають дуже високий ступінь вибухонебезпечності і низький ККД. До того ж водень має високу собівартість виробництва, а газ високу токсичність.

Що ж стосується традиційних двигунів внутрішнього згоряння, то вони ризикують зовсім зникнути, оскільки за прогнозами вчених запасів нафти вистачить приблизно на 100 років. До того ж ці двигуни досить сильно забруднюють навколишнє середовище і на них витрачається велика кількість металу, що призводить збільшення ваги конструкції.

На відміну від наведених типів, двигуни Стірлінга мають цілий низку переваг:

- 1) можуть працювати на будь-якому паливі (на дровах, тирсі тощо);
- 2) працюють тихо, мають великий моторесурс і малу витрату масла;
- 3) прості в обслуговуванні;
- 4) мають досить високий ККД –

приблизно такий, як у двигунах внутрішнього згоряння;

5) абсолютно не токсичні (Табл.1) та майже повністю безпечні.

Разом з тим, у двигуна Стірлінга є й низка недоліків, зокрема величезні габарити і маса, висока собівартість і витрати палива (двигун компанії General Motors витрачає близько 20...23 кг палива на 100 км). На жаль, потенціал двигуна Стірлінга використовується всього на 45 % від його можливостей.

Основна проблема сьогоденних двигунів зовнішнього згоряння це нерівноцінна витрата тепла та енергії і той вид палива, який використовується. Саме тому двигун мало популярний. Але, не дивлячись на це, двигун використовується в США, Швеції, Японії, інших країнах і зовсім недавно почав застосовуватись у Росії та Китаї.

**Таблиця 1.** Порівняльні дані за вмістом токсичних компонентів у вихлопних газах різних двигунів

Тип двигуна	Порівняльні дані по вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах різних двигунів мг/к.с.* с		
	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>
Бензиновий	0,6...2	40...100	15...120
Дизельний	0,4...2	0,2...5	0,6...12
Двигун Стірлінга	0,1...0,2	0,05...0,2	0,0015...0,007
Газова турбіна	0,7...2	2...3,6	0,012...0,07
Двигун за нормами Євро 5	0,414	0,311	0,095

З 80-х років минулого століття в якості джерела енергії використовується атомний реактор. Що дає відносно не обмежений запас ходу, але разом з тим високу небезпеку у випадку аварії реактора. Цілком можливо, що в перспективі реактори стануть менші в розмірах і з'явиться практично вічний двигун і разом з тим зникнуть проблеми з паливом. У запропонованій конструкції пропонується один з способів їх розв'язання.

### МОДИФІКАЦІЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

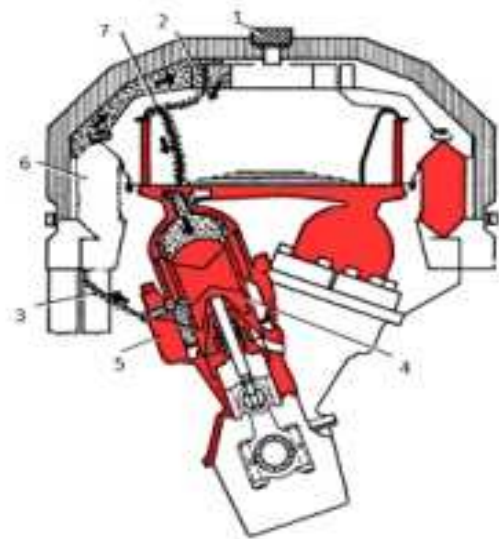
Модифікація традиційного двигуна полягає в тому, що повністю замінити вид палива (бензин, газ, дизельне паливо та ін.) і паливну систему для роботи на хімічному паливі, а також модифікувати конструкцію з додаванням вакуумної герметичності і агрегату охолоджуючої дії. В результаті отримуємо: повністю екологічний і безпечний для навколишнього середовища двигун; повністю економічне і недороге у виробництві паливо; мінімальну витрату масла; простоту конструкції; низьку вартість витратних матеріалів; збільшену потужність і ККД за рахунок вакууму. До того ж вартість даної конструкції майже однакова з ДВЗ.

Двигун має 4 циліндри – два холодного і два гарячого згоряння. Працювати вони будуть протилежно-попарно. В процесі реакції хімічного палива відбувається виділення теплоти. Однією з умов при виборі хімічного палива і паливної системи є абсолютна не токсичність і відсутність забруднення навколишнього середовища. Гарячі і холодні циліндри з'єднані між собою патрубками, в яких циркулює газ, наприклад, гелій (Рис. 5, 6).

Патрубок у центрі обмотаний кожухом примусового охолодження, що дає різницю температур в клапанах, за рахунок якого і буде працювати двигун. Основним плюсом такого двигуна буде його безшумність, незважаючи на високі оберти. Також

двигун буде обладнано датчиками, щоб уникнути перегріву. У випадку перевищення максимальної температури хімічної реакції, реакція буде призупинена для охолодження введенням каталізатора або прискорення за допомогою інгібіторів.

Управління реакцією в камері згоряння відбувається в автоматичному режимі за допомогою комп'ютера. Незалежно від типу палива конструкція буде оснащена двома баками різних модифікацій (бак для палива і бак для відходу під утилізацію).



**Рис. 5.** Пропонована конструкція двигуна:

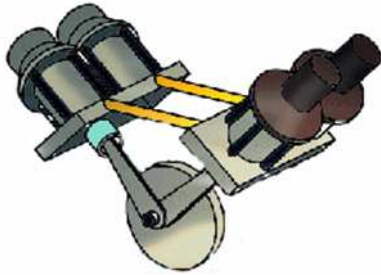
1 – охолоджувач; 2 – камера реакції хімічного палива; 3 – трубки нагрівача; 4 – гарячий поршень; 5 – клапан скидання теплоти; 6 – термокожух; 7 – патрубок з проходом робочого речовини (гелій або інший газ)

**Fig. 5.** The proposed engine design:

1 – cooler; 2 – Camera chemical reaction of fuel; 3 – tube heater; 4 – hot piston; 5 – heat relief valve; 6 – Thermos-housings 7 – tube with the passage of the working medium (helium or another gas)

При серійному виробництві дана конструкція не буде більш витратною в порівнянні з традиційними ДВЗ, оскільки не передбачається використання досить дорогих і складних у виробництві деталей.

А в двигунах з паливом, в якому буде перенасичена сіль, може бути виготовлений з карбону або будь-якого легкого, але жаростійкого полімеру.



**Рис. 6.** Модель двигуна  
**Fig. 6.** Model engine

Наприклад, у модифікації для бурової установки двигун має 20 циліндрів: десять холодного і десять гарячого згорання. Проведені попередні розрахунки показали, що двадцятициліндровий двигун на 200 кг хімічного палива може працювати 1,5 години без поповнення паливом камери реакції. У той же час двигун внутрішнього згорання витрачає середньому 500 кг палива на 1 годину.

Запропонована конструкція двигуна знаходиться в процесі оформлення патенту на корисну модель. Створення реальної машини буде мати не лише промислове, а й екологічне майбутнє.

## ВИСНОВКИ

1. У порівнянні з іншими двигунами зовнішнього і внутрішнього згорання, двигун Стірлінга економічніший, має більший ресурс і запас ходу.

2. За рахунок відновлення хімічних реакцій палива він може повторно використовуватися десятки разів, у той час як нафтові паливні продукти – ні.

3. Двигун Стірлінга є абсолютно безшумним і екологічно чистим.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Проект** соглашения международной конференции по проблемам климата. Режим доступа. [http://unfccc.int/files/meetings/-lima\\_dec\\_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/-lima_dec_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf).
2. **Чириков К.Ю., Пронин Е.Н., 1999.** Перспективы применения СПГ на транспорте. Журнал, Газовая промышленность, №10, 28-29.
3. **Ридер Г., Хупер Ч., 1986.** Двигатели Стирлинга. Пер. с англ. Москва, Мир, 1986, 464.
4. **Walker G., 1973.** Stirling-Cycle Machines. Oxford University Press, 156.
5. **Патент 2117802 РФ F02G1/043, 1994.** Машина по циклу Стирлинга. В.А. Мухин, Е.В. Мухин. № 94025916/06, заявл. 12.07.1994, опубл. 20.08.1999.
6. **Urieli I, Berchowitz D.M., 1984.** Stirling Cycle Engine Analysis. Bristol.
7. **Organ A., 1997.** The Regenerator and the Stirling Engine. John Wiley and Sons.
8. **Бундин А.А., 1969.** Изв. вузов, Машиностроение, №12.

## REFERENCES

1. **The draft** agreement of the international conference on climate. Access mode. [http://unfccc.int/files/meetings/lima\\_dec\\_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/lima_dec_2014/in-session/application/pdf/cpl14.pdf).
2. **Tchirikov KY., Pronin E.N., 1999.** Prospects for the use of CNG in transport. Magazine, Gas industry, №10, 28-29.
3. **Reeder G., Hooper Ch., 1986.** Stirling engines. Trans. from English. Moskau, World, 464.
4. **Walker G., 1973.** Stirling-Cycle Machines. Oxford University Press, 156.
5. **Patent 2117802 Russia F02G1/043, 1994.** Stirling cycle machine. № 94025916/06; appl. 12.07.1994, publ. 20.08.1999.
6. **Urieli I, Berchowitz D.M., 1984.** Stirling Cycle Engine Analysis. Bristol,.
7. **Organ A., 1997.** The Regenerator and the Stirling Engine. John Wiley and Sons.
8. **Bundin A.A., 1969.** News of IHE, Engineering, №12.

USING STIRLING ENGINE FOR THE  
INDUSTRIAL PRODUCTION OF  
POLYMETALLIC NODULES  
DEEP IN THE OCEAN

*Yuri Baranov, Igor Kosminsky,  
Mykyta Melnichenko*

Kyiv National University of Construction  
and Architecture  
Povitroflotskyy prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,  
boys60@yandex.ru

**Summary.** To analyze existing structures engines. Compare with other Stirling engine combustion engines used for the polymetallic nodules industrial production in the ocean. And

submit to the authoring of the engine, which could be an alternative to the internal combustion engine in the project application Greenpeace environmental conservation. Modification of the traditional engine is completely replaced fuel (petrol, kerosene, diesel, etc.) And fuel system for work on chemical fuel, and modify the design with the addition of vacuum sealing and cooling unit performance. The result is: completely ecological and environmentally safe engine; quite economical and inexpensive to produce fuel; minimal oil consumption; ease of construction; low cost of consumables; increased power and efficiency by vacuum.

**Key words:** Stirling engine, vacuum leaks, cooler forced action.