



ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ



ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ



**SHIPBUILDING
& MARINE INFRASTRUCTURE**
СУДОБУДОВАННЯ І МОРСЬКА ІНФРАСТРУКТУРА



СУДОХОДСТВО
SHIPPING

Науково-дослідна частина
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
Тел.: (0512) 70-91-04; <http://conference.nuos.edu.ua>
e-mail: conference@nuos.edu.ua

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

2024



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ
ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

XV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

26-27 вересня 2024 року



Миколаїв ■ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XV Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

26–27 вересня 2024 рік

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9*



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2024

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І
НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Таджикиський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикистан); Кошалінський технічний університет, ректор (Польща); Гданьський технологічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ Національний антарктичний науковий центр.

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство»

Відповідальний за випуск
Павлов Геннадій Вікторович

*Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність наведених даних та посилань.
Матеріали публікуються в авторській редакції*

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XV Міжнародна науково-технічна
I-66 конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2024. – 1032 с.

ISBN 978-966-321-473-3

У збірнику наведені матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 001.895:629.5

ISBN 978-966-321-473-3

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

УДК 621.438(075)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ В ЦИКЛІ АЛЛАМА НА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ

Патлайчук В. М.*кандидат технічних наук,**завідувач кафедри турбін**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова**м. Миколаїв, Україна**volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua*

Анотація. Проведене дослідження впливу робочого тиску в камері згоряння на ефективність енергетичної установки, виконаної за термодинамічним циклом Аллама. Проаналізований вплив цього параметра на головні показники установки.

Ключові слова: енергетична установка; кисневе спалювання; цикл Аллама; вуглекислий газ; ефективність.

В останні роки у зв'язку із загальною тенденцією до зменшення викидів вуглекислого газу до атмосфери набувають розвитку енергетичні установки, в яких спалювання палива відбувається не в традиційному середовищі атмосферного повітря, а в середовищі чистого кисню. Висока ефективність подібних конструкцій та повна відсутність будь-яких викидів від них в атмосферу створюють гарні перспективи для їх використання в енергетиці.

Різновидом енергетичних установок на чистому кисні є установки, виконані за термодинамічним циклом Аллама, які в даний час ще знаходяться на стадії теоретичних та експериментальних досліджень [1–2].

Базова теплова схема подібної установки (рис. 1) проаналізована в роботах [2–4].

Ефективність термодинамічного циклу Аллама залежить від багатьох факторів. З них одними з головних є параметри (тиск та температура) робочого тіла за камерою згоряння.

Аналіз впливу максимального тиску в циклі Аллама на його ефективність проводився для енергетичної установки, що використовує у ролі палива природний газ. Зміна тиску в камері згоряння досліджувалася в діапазоні від 20 до 40 МПа. Температура випускних газів з камери згоряння при варіюванні приймалася постійною – 1150 °С. Також постійним підтримувався тиск газів за турбіною – 3 МПа.

При аналізі за необхідністю використовувались результати експериментальних досліджень демонстраційної установки компанії NET Power, проведені у м. Ла-Порте (США) [1–2, 5].

Передбачалося, що приготування кисню здійснюється в установці розділення повітря криогенного типу високої продуктивності. В розрахунках використовувалась типова установка даного типу, яка генерує на виході кисень з тиском 14,7 МПа (150 кгс/см²). Витрату електроенергії на отримання 1 м³ О₂ чистотою не менше 99,2 % приймаємо 0,60 кВт·год [4].

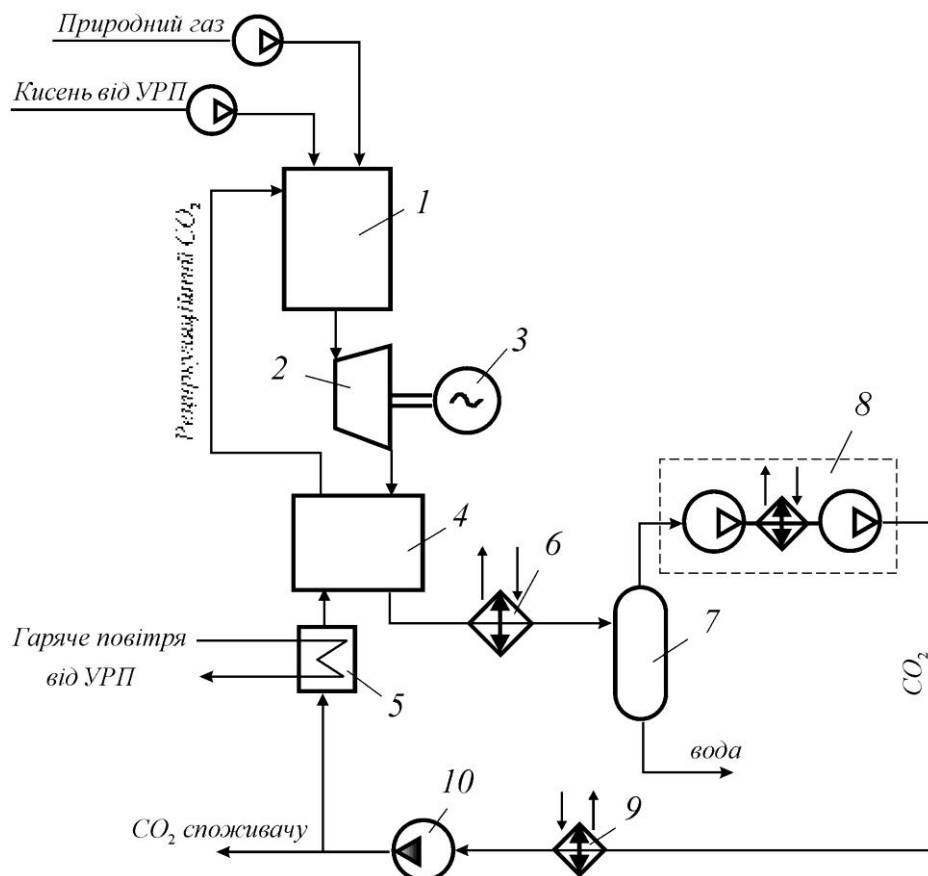


Рисунок 1 – Базова теплова схема установки, виконаної за циклом Аллама:

УРП – установка розділення повітря; 1 – камера згоряння; 2 – турбіна;
3 – електрогенератор; 4 та 5 – високотемпературна та низькотемпературна секції
рекуператора; 6 – охолоджувач; 7 – сепараційна установка; 8 – двосекційний компресор
CO₂; 9 – охолоджувач CO₂; 10 – насос CO₂

Приймалося, що природний газ подається до камери згоряння з магістрального газопроводу. Орієнтовна зміна тиску на ділянці газопроводу становить від 7,5 до 5,0 МПа (відповідно від початку ділянки до її закінчення). Для розрахунку обиралося деяке середнє значення цього тиску – 6,25 МПа при температурі газу 288 К.

Оскільки тиск і кисню, і природного газу на вході до установки був значно меншим, ніж розрахунковий тиск в камері згоряння, то для підвищення тиску цих реагентів використовувались дотискні компресори.

З метою зменшення температури утворюваних в камері згоряння газів до цієї камери додавався рециркуляційний потік CO₂, який відокремлювався у хвостових частинах установки з продуктів згоряння. Наслідком такого технічного рішення було те, що робоче тіло перед турбіною приблизно на 97 % складалося з вуглекислого газу і на 3 % з водяної пари.

Рекуператор містить дві секції: високотемпературну 4 та низькотемпературну 5. В низькотемпературній секції рециркуляційний CO₂ підігрівається за рахунок тепла повітря, нагрітого в компресорі установки розділення. У високотемпературній секції вуглекислий газ підігрівається до потрібної температури входу в камеру згоряння за рахунок тепла випускних газів.

Важливим етапом функціонування енергетичної установки, виконаної за цилом Аллама, є відокремлення від випускних газів водяної пари і формування надалі майже чистого потоку вуглекислого газу. Для цього випускні гази після рекуператора поступають в охолоджувач 6. При тиску за турбіною 3 МПа конденсація водяної пари з випускних газів починається при температурі 234 °С. Відокремлення крапель води відбувається в системі очищення, головним елементом якої є циклонний сепаратор.

Подальше підвищення тиску CO₂ проводиться у двосекційному компресорі 8 з проміжним охолодженням між секціями. В першій секції тиск підвищується до 5 МПа, у другій – до 8 МПа.

В надкритичному діапазоні тиску (критичний тиск для CO₂ становить 7,36 МПа) та температурі, близької до атмосферної (30...60 °С), вуглекислий газ має дещо зріджений стан і його густина дорівнює приблизно 500 кг/м³. Тому подальше підвищення тиску вуглекислого газу можна здійснювати насосом 10.

Графічні залежності ефективності досліджуваної енергетичної установки наведені на рис. 2 та 3.

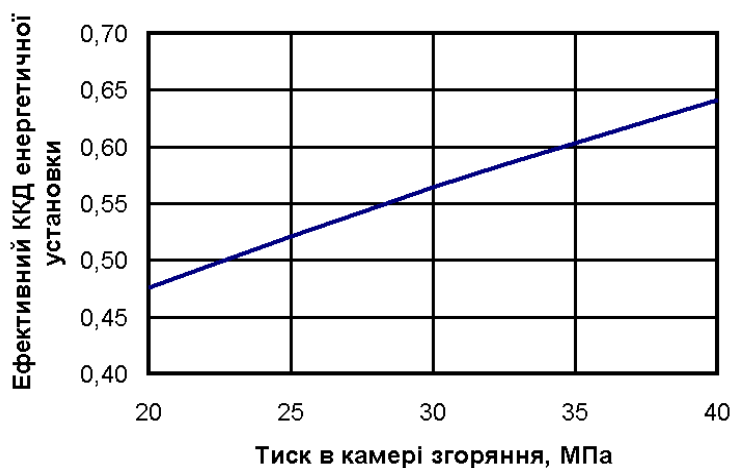


Рисунок 2 – Залежність ефективного ККД установки від тиску в камері згоряння

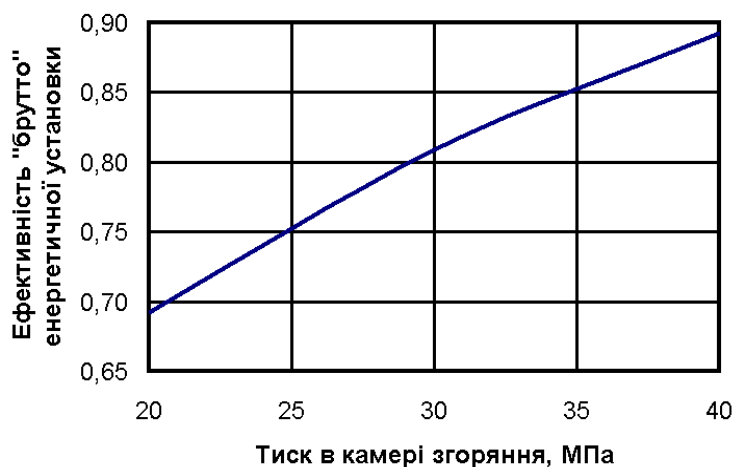


Рисунок 3 – Залежність ефективності установки без урахування відборів потужності на власні потреби від тиску в камері згоряння

Результати розрахунків свідчать про те, що:

1. Збільшення тиску в циклі з 20 до 40 МПа призводить до зростання ефективного ККД установки з 48 до 64 %. Це зростання має майже лінійний характер.
2. При фіксованій корисній потужності установки (100 МВт) зростання ефективного ККД приводить до пропорційного зменшення споживання паливного природного газу (з 15 до 11 т/год).
3. Найбільшою витратою електричної енергії на власні потреби установки є сумарні витрати на стиснення вуглекислого газу, на що витрачається до 19 % від генерованої електрогенератором потужності.
4. На другому місці за витратами є витрати електричної енергії на утворення кисню в установці розділення повітря (9...12 %).
5. При фіксованій температурі газу перед турбіною (1150 °C) і тиску після неї (3 МПа) збільшення тиску у камері згоряння веде до зменшення температури випускних газів за трактом після турбіни

Література

- [1]. Allam R. NET Power's CO₂ cycle: the breakthrough that CCS needs. *Modern Power Systems*. URL: <http://surl.li/flcdax>.
- [2]. Isles J. Gearing up for a new supercritical CO₂ power cycle system. *Gas Turbine World*. 2014. Vol. 44 (6). P. 14–18.
- [3]. Patlaichuk V.M., Patlaichuk O.V. Zero emissions power plant based on the Allam cycle. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XIV Міжн. наук.-техн. конференції*. Миколаїв: НУК, 2023. С. 141–143.
- [4]. Патлайчук В.М., Кутняк І.В. Аналіз параметрів енергетичної установки, виконаної за циклом Аллама. *Суднова енергетика: стан і проблеми: Матеріали XI Міжн. наук.-техн. конференції*. Миколаїв: НУК, 2023. С. 212–215.
- [5]. Dodge E. CCS Breakthrough: CO₂ Power Cycles Offer Improved Efficiency and Integrated Carbon Capture. *Breaking Energy*. URL: <http://surl.li/wygibm>.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MAXIMUM PRESSURE IN THE ALLAM CYCLE ON ITS EFFICIENCY

Patlaichuk V. M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The study of influence of the pressure before the turbine on efficiency of the power plant made according to the Allam thermodynamic cycle was carried out. The influence of this parameter on the main indicators of the power plant is analyzed.

Keywords: power plant; oxy-fuel combustion; Allam cycle; carbon dioxide; efficiency.