

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XI Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ ЧАСТИНА I

24 – 25 вересня 2020 р.

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

Миколаїв • НУК • 2020

УДК 001.895:629.5
І 66

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
АСОЦІАЦІЯ ВЕТЕРАНІВ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ УКРАЇНИ
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ШАНЬДУНСЬКИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
ГДАНЬСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальний за випуск:
Блінцов Володимир Степанович

І 66 **Інновації** в судобудуванні та океанотехніці : Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, в 2 ч. — Ч. 1. — Миколаїв : НУК, 2020. — 640 с.

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

УДК 001.895:629.5

ISBN:978-966-321-XXX-X

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2020

Висновки.

1. Наближений теоретичний аналіз дозволив з'ясувати фізичну модель першопричини утворення явища «торцевого ефекту», що виникає в обмеженому просторі вихрових камер під дією поля відцентрових сил та впливає на структуру вихідного потоку.

2. Проведені експериментальні дослідження доводять можливість спрямованого керування структурою потоку (інтенсивністю пульсацій та рівномірністю розподілу середньої швидкості) на виході з вихрових камер комплексним варіюванням певних сполучень таких геометричних параметрів, як осьовий кут установки впускного сопла та глибина тупикової частини камер.

3. Результати дослідження можуть бути застосовані для раціональної організації робочих процесів вихрових апаратів силового та допоміжного устаткування суднових систем відповідно до технічних умов.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

- [1] Wormley D. N. An Analytical Model for the Incompressible Flow in Short Vortex Chambers / D. N. Wormley // Trans. ASME. Ser. D. — 1969. — Vol. 91, No. 2. — P. 264–276.
- [2] Гольдштик М.А. Вихревые потоки : [монография] / М.А. Гольдштик – Новосибирск : Наука, Сиб.отд-ние, 1981. – 366 с.
- [3] Кутателадзе С. С. Аэродинамика и теплообмен в ограниченных вихревых потоках: [монография] / С. С. Кутателадзе, Э. П. Волчков, В. И. Терехов. — Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1987. — 282 с.
- [4] Makarenko R.A. Kinematics of Flow in a Dead End Part of a Vortex Chamber / R.A. Makarenko, V.N.Turick // International Journal of Fluid Mechanics Research. – 2004. – Vol. 31, No. 3. – P. 299–306.
- [5] Бабенко В. В. Макет вихревых структур при течении потока в вихревой камере / В. В. Бабенко, В. Н. Турик // Прикладна гідромеханіка. — 2008. — Т. 10 (82), № 3. — С. 3–19.

V. Kochin, V. Moroz, V. Turick

STATIC CONTROL OF KINEMATIC PARAMETERS OF THE OUTPUT FLOW OF VORTEX CHAMBERS

Annotation. Theoretical estimates of flow formation and results of thermoanemometric measurements of velocity and pulse intensity profiles in the output flow of mixing vortex chambers depending on their geometrical parameters are given. The obtained data can be used in the design of equipment of ship installations and systems with improved mass, energy and environmental performance.

Keywords: vortex chamber; end effect; thermoanemometry; velocity profiles; fluctuation intensity

УДК 621.438

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАРОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З НИЗЬКОНАПОРНИМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ НА ОСНОВІ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ПОТУЖНІСТЮ 25 МВт

Патлайчук В.М. канд. техн. наук, доцент, Калюжний Д.В. студент гр.6231м
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв
rcvprc@gmail.com

Анотація. Для парогазової установки з низьконапорним парогенератором, яка створена на основі газотурбінного агрегата потужністю 25 МВт, розроблена теплова схема, визначена методика проектування та виконані теплові розрахунки при змінних початкових параметрах газу перед газовою турбіною. Проведений аналіз одержаних протягом дослідження результатів.

Ключові слова: парогазова установка; газотурбінний агрегат; низьконапорний парогенератор; парова турбіна; ефективність.

В даний час існує велика кількість комбінованих установок з паровими турбінами і газотурбінними двигунами, які відрізняються за тепловими схемами і за використанням устаткування. Усе різноманіття відомих теплових схем можна розподілити по групах, в межах яких установки мають ряд характерних загальних властивостей.

Поділ комбінованих установок слід здійснювати насамперед за принципом використання теплоти високого потенціалу, тобто теплоти згорання палива. Якщо основна частина теплоти доводиться на паровий контур (парову частину), то такі установки називають "парогазовими" [1].

Одним з головних типів парогазової установки є установка з низьконапорним парогенератором. У цій установці газ, що відходить після газотурбінного двигуна, скидається в топку звичайного котла і за рахунок кисню, що міститься в них (коефіцієнт надлишку повітря після камери згоряння газотурбінного двигуна значний, зазвичай більше трьох), використовуються для спалювання палива в топці котла. Оскільки димососи у таких котлів відсутні, то тиск газу в ньому виявляється незначно вище атмосферного, а цей котел називають "низьконапорним парогенератором" (НПГ). Тому й установка носить назву "парогазової установки з низьконапорним парогенератором", а її позначення скорочено буде "ПГУ з НПГ".

У ПГУ з НПГ паливо підводиться як в камері згоряння газотурбінного двигуна, так і в парогенераторі. У літературі цю установку іноді також називають "ПГУ зі скиданням" або "ПГУ скидного типу" [2].

Конструктивно низьконапорийний парогенератор мало відрізняється від звичайних котлів, тому може працювати на різних видах палива, в тому числі і на твердому. По розташуванню обладнання в цій схемі газотурбінний двигун є як би надбудовою паротурбінної установки, тому така схема широко використовується для реконструкції паротурбінних установок, які працюють на знижених параметрах пари.

Відомо, що при спалюванні палива в повітрі вміст кисню в цьому повітрі стрімко зменшується. Тому вміст кисню у випускних газах газотурбінного двигуна менше, ніж в атмосферному повітрі, де він становить 21%. Внаслідок експериментальних досліджень встановлено, що ефективне спалювання палива в низьконапорному парогенераторі буде відбуватися лише тоді, коли вміст кисню в газах не буде меншим, ніж 15% при спалюванні природного газу, 16% при спалюванні рідкого палива та 17% при спалюванні твердого палива. Якщо вміст кисню у випускних газах газотурбінного двигуна є меншим, ніж потрібно, тоді необхідно за допомогою додаткового вентилятора докачувати в топку парогенератора певну кількість повітря з атмосфери.

Метою проведеного дослідження було визначення впливу початкових параметрів газу газотурбінного двигуна на ефективність та показники парогазової установки з низьконапорним парогенератором, створеної на основі газотурбінного двигуна потужністю 25 МВт.

Відповідно до поставленої мети були визначені завдання, об'єкт, предмет та метод дослідження.

Дослідження параметрів проводилося для парогазової установки, тепла схема якої зображена на рис. 1.

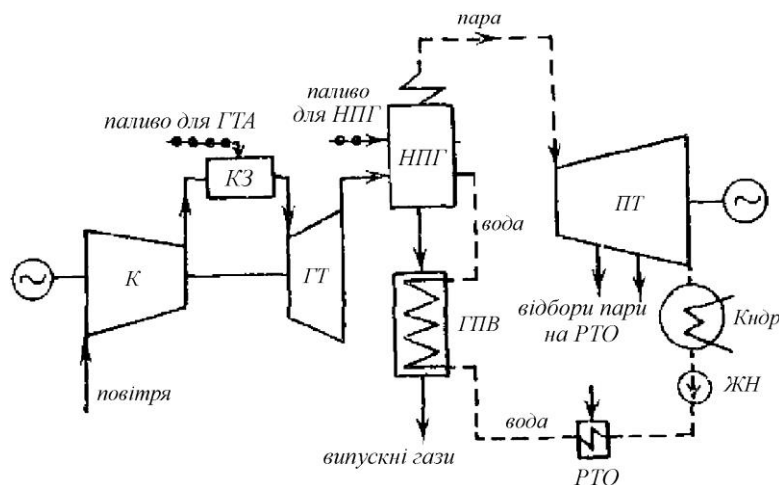


Рис. 1. Розрахункова тепла схема парогазової установки:

К – компресор газотурбінного агрегата; КЗ – камера згоряння газотурбінного агрегата; ГТ – турбіна газотурбінного агрегата; НПГ – низьконапорийний парогенератор; ГПВ – газовий підігрівач води; ПТ – парова турбіна; Кндр – конденсатор; ЖН – живильний насос; РТО – теплообмінники системи регенерації (зображений лише один з них)

Передбачалося використання низьконапорийного парогенератора з П-подібним компонуванням та природньою циркуляцією робочого тіла. Слід зауважити, що на відміну від традиційних парогенераторів низьконапорийний парогенератор не має пакета труб для підігріву повітря, яке йде з атмосфери до топки. (Даний пакет розташовується в парогенераторі останнім за рухом газів.) Натомість останнім за рухом газів розташований газовий водопідігрівач, який у даній схемі може розглядатися як перша частина економайзера. Після газового водопідігрівача гази викидаються у атмосферу.

У розглянутій парогазовій установці парова і газова турбіни приводять у обертання кожна свій генератор електричного струму.

Теплова схема парогазової установки не передбачала проміжний перегрів пари у парогенераторі.

Тепловий розрахунок парогазової установки проводився відповідно до розробленої методики при деяких змінних початкових параметрах газу в газотурбінному агрегаті. Дискретно варіювалися температура газу перед газовою турбіною (від 1100 до 1500 К) та міра підвищення тиску у компресорі (від 5 до 25).

При розрахунку були використані рекомендації, наведені у роботах [3] та [4].

У всіх варіантах розрахунок проводився для однакової потужності газотурбінного агрегата на клеммах генератора 25 МВт [5], [6]. У ролі палива як в газотурбінному агрегаті, так і в парогенераторі використовувався природний газ з теплотворною здатністю 50 032 кДж/кг.

Розрахунок параметрів паротурбінного блоку проводився в усіх варіантах для генерації пари тиском 12,8 МПа (130 кгс/см²) та температурою 535 °С. Тиск в конденсаторі приймався рівним 4 кПа (температура конденсації – 29 °С), температура живильної води на вході в парогенератор становила 235 °С. Кількість регенеративних теплообмінників дорівнювала 5.

Результати проведенного дослідження свідчать про те, що:

1) Ефективність парогазової установки з низьконапорним парогенератором при розглянутих вихідних даних становила 0,403...0,423. Менші значення характерні для температури газу перед газовою турбіною 1100 К, більші значення – для температури 1500 К. Порівняно з аналогічними показниками ПГУ з утилізацією тепла ці показники є суттєво меншими.

2) Залежність ККД парогазової установки від міри підвищення тиску у компресорі має оптимум (максимум). В розглянутому діапазоні значень вихідних параметрів він лежить в межах від 10 до 22. У порівнянні з аналогічною залежністю для газотурбінного агрегата (ГТА) простого циклу даний графік, по-перше, є більш пологим, тому відхилення від оптимуму ведуть до меншого погіршення ККД, а по-друге, оптимальні значення міри підвищення тиску є дещо меншими, що спрощує конструкцію компресора газотурбінного агрегата.

3) Збільшення температури газу перед газовою турбіною веде як до збільшення ККД газотурбінного агрегата, так і до збільшення ККД паротурбінної частини установки. Через що зростає і ККД парогазової установки в цілому.

4) Ефективність паротурбінної частини установки зі збільшенням міри підвищення тиску у компресорі газотурбінного агрегата зменшується. Це пояснюється її суттєвою залежністю від температури випускних газів цього агрегата, яка залежить від міри підвищення тиску аналогічним чином. При температурі випускних газів менше, ніж 600 К, ККД паротурбінної частини ПГУ з НПП майже нічим не відрізняється від ККД паротурбінної установки без впуску газів з газової турбіни.

5) При фіксованій потужності газотурбінного агрегата (25 МВт) залежність потужності паротурбінної частини установки (а отже і потужності ПГУ в цілому) від міри підвищення тиску у компресорі ГТА має мінімум. При цьому оптимальні значення міри підвищення тиску майже співпадають зі значеннями цього параметра для залежності від нього ККД парогазової установки. Це пояснюється впливом на потужність паротурбінної частини температури і кількості випускних газів газотурбінного агрегата.

6) При прийнятих вихідних параметрах доля потужності газотурбінного агрегата в сумарній потужності парогазової установки становить від 12 до 21%. Більші значення – для більшої температури газів перед турбіною ГТА.

7) Додаткова кількість атмосферного повітря, яке подається в топку парогенератора для збільшення вмісту кисня (до 15%) у робочому тілі, залежить від марки використовуваного палива та від надлишку повітря у камері згоряння ГТА. Для прийнятих вихідних даних додаткове повітря слід подавати в парогенератор при значеннях коефіцієнта надлишку повітря, меншим ніж 3,65. Коефіцієнт надлишку повітря в камері згоряння газотурбінного агрегата зменшується зі збільшенням температури газів на виході з цієї камери та зі зменшенням міри підвищення тиску у компресорі.

8) У розглянутому діапазоні вихідних параметрів доля додаткового повітря у сумарній кількості робочого тіла парогенератора може досягати 37%.

9) Залежність паропроодуктивності парогенератора від міри підвищення тиску аналогічна залежності потужності паротурбінної частини установки від цього параметра і пояснюється тими ж причинами.

REFERENCES

- [1] Арсеньев, Л. В., & Тырышкин, В. Г. (1982). *Комбинированные установки с газовыми турбинами*. Ленинград: Машиностроение.
- [2] Цанев, С. В., Буров, В. Д., & Ремезов, А. Н. (2009). *Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций*. Москва: МЭИ.

- [3] Установки парогазовые стационарные. Методика расчета тепловых схем установок и высоконапорных парогенераторов. РТМ 108.020.22–84. (1984).
- [4] АООТ "НПО ЦКТИ". (1998). *Тепловой расчет котла (нормативный метод)*. С.-Петербург: НПО ЦКТИ.
- [5] Романовський, Г. Ф., Сербін, С. І., & Патлайчук, В. М. (2005). *Сучасні газотурбінні агрегати: Агрегати виробництва України та Росії* (Т. 1). Миколаїв: НУК.
- [6] Романовський, Г. Ф., Сербін, С. І., & Патлайчук, В. М. (2016). *Газотурбінні агрегати: Загальна будова та класифікація* (Т. 1). Миколаїв: НУК.

Patlaichuk V. M., Kaluzhniy D. V.

Research of the parameters of a combined cycle gas turbine plant with a low-pressure steam generator based on a 25 MW gas turbine engine

Text of the annotation. For a combined-cycle plant with a low-pressure steam generator, which is based on a 25 MW gas turbine unit, a thermal circuit has been developed, a design procedure has been determined, and thermal calculations have been performed with variable initial gas parameters in front of the gas turbine. The analysis of the results obtained during the study is carried out.

Keywords: combined-cycle plant; gas turbine unit; low-pressure steam generator; steam turbine; efficiency.

Патлайчук В. Н., Калюжный Д. В.

Исследование параметров парогазовой установки с низконапорным парогенератором на основе газотурбинного двигателя мощностью 25 МВт

Текст аннотации. Для парогазовой установки с низконапорным парогенератором, которая создана на основе газотурбинного агрегата мощностью 25 МВт, разработана тепловая схема, определена методика проектирования и выполнены тепловые расчеты при переменных начальных параметрах газа перед газовой турбиной. Проведен анализ полученных в ходе исследования результатов.

Ключевые слова: парогазовая установка; газотурбинный агрегат; низконапорный парогенератор; паровая турбина; эффективность.

УДК 621.184.4

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРОБКА ТЕРМОСИФОННИХ ЕКОНОМАЙЗЕРІВ ДЛЯ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Єпіфанов Олександр Анатолійович, к.т.н, професор, epifanov.nuk@gmail.com.

Димо Борис Васильович, к.т.н, професор, dymobv@gmail.com.

Долганов Юрій Анатолійович, к.т.н, асистент, yuri.dolganov1987@gmail.com.

Анастасенко Сергій Миколайович, к.т.н, ст. викладач, ondi2008@rambler.ru.

Пацурковський Павел Анатолійович, к.т.н, асистент, pavlo.patsurkovskyi@nuos.edu.ua.

Язловецький Андрій Валерійович, асистент, andrei.yaz83@gmail.com.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

Анотація. Отримано експериментальні дані з теплопередавальної здатності двофазних гравітаційних термосифонів в режимних умовах, характерних для економайзерів котлів малої потужності. Проведено візуальні дослідження процесу кипіння робочої рідини. Рекомендовані залежності для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні і конденсації робочої рідини. Розроблено конструкцію та методику теплового розрахунку термосифонних економайзерів.

Ключові слова: економайзер; термосифон; експериментальні дослідження.