

УДК 621.438

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
ПРОФІЛЮВАННЯМ ТРУБНИХ ПУЧКІВ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ
ЛУНКОВИМИ СИСТЕМАМИ**

Кузнецов В. В.¹, Шевцов А. П.²

¹ *кандидат технічних наук, доцент*

*доцент кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

valeriy.kuznetsov@nuos.edu.ua

² *доктор технічних наук, професор*

*професор Навчально-наукового центру Морської інфраструктури
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

anatoliy.shevtsov@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто напрямок підвищення ефективності суднових енергетичних установок шляхом використання в їх складі теплообмінних елементів, що реалізують інтенсивні способи переносу теплоти, які характеризуються переважаним зростанням тепловіддачі над аеродинамічним опором. Методом дослідження є математичне моделювання процесів в енергетичних установках на рівні їх окремих елементів – теплового двигуна, енергетичних та технологічних теплообмінних апаратів. Адекватність математичної моделі, для дослідження ефективності енергетичних установок, обґрунтована за результатами верифікації та валідації шляхом порівняння результатів розрахунків з результатами фізичного експерименту, що мають розбіжність не вище 9,3%. Метою дослідження є вдосконалення економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик енергетичних установок шляхом використання теплообмінних елементів з інтенсифікацією процесів конвективного переносу теплоти і маси шляхом використання оребрених поверхонь з лунками. Завдяки виконанню лункових систем на ребрах круглих труб зі спіральнo-стрічковим оребренням та еліптичних труб з пластинчастим оребренням можливе підвищення коефіцієнту тепловіддачі до 36%, при цьому коефіцієнт опору пучка залишається незмінним. Використання теплообмінних апаратів із запропонованими теплопередавальними елементами у складі суднових енергетичних установок з малооборотовими двигунами та газопаротурбінних установок дозволяє покращити їх економічні та екологічні характеристики. Отримано, що для танкерів типу PANAMAX підвищення коефіцієнта корисної дії суднової енергетичної установки складає 1,3% завдяки використанню в утилізаційному котлі еліптичних поверхонь з пластинчастим оребренням і лунковими системами на ребрах. Індекс EEDI судна при цьому знизився на 1,7%. Для контейнеровозів дедвейтом понад 100000 т зміна цих показників відповідно склала 2,5 та 2,7% відповідно. Для суднової газопаротурбінної установки підвищення ККД склало 2,4%.

Ключові слова: суднова енергетична установка, ефективність, теплообмінний апарат, трубний пучок, інтенсифікація, оребрення, лунка

Одним зі способів підвищення ефективності суднових енергетичних установок є вдосконалення процесів перетворення теплоти і маси в їх елементах. Ці процеси визначаються законами термодинаміки, гідрогазо-динаміки, тепломасообміну і впливають на ефективний ККД, рівень теплових та шкідливих викидів, ресурс та компактність установок. Значний вплив на ці показники мають їх теплообмінні апарати як елементи енергетичних установок, що в залежності від впливу на робоче тіло підрозділяються на енергетичні і технологічні.

Сучасний стан проблеми вдосконалення процесів перетворення теплоти і маси в теплопередавальних елементах суднових енергетичних установок [1 - 4] свідчить про обмеженість результатів і рекомендацій щодо інтенсифікації процесів конвективного переносу теплоти і маси за умов компактності їх теплообмінних апаратів та створення на їх основі обладнання з поліпшеними економічними, екологічними, ресурсними і масогабаритними показниками.

Таким чином, метою представленої роботи є вдосконалення економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик енергетичних установок шляхом використання теплообмінних елементів з інтенсифікацією процесів конвективного переносу теплоти і маси.

Для інтенсифікації процесів конвективного переносу теплоти і маси в теплообмінних елементах енергетичних установок широко використовуються різні способи. Використання оребрених поверхонь характеризується переважанням зростання аеродинамічного опору над зростанням тепловіддачі. Переважне зростання тепловіддачі над аеродинамічним опором спостерігається при використанні лункових систем. Це стимулює розвиток досліджень у напрямку розробки теплообмінних елементів з переважанням зростання теплообміну над аеродинамічним опором шляхом використання оребрених поверхонь з лунками.

Метод дослідження – математичне моделювання процесів в енергетичних установках і їх елементах.

Оцінка ефективності суднових енергетичних установок з теплообмінними елементами виконувалася математичною моделлю, що складається з процедур «Головний двигун», «Енергетичний теплообмінний апарат», «Технологічний теплообмінний апарат», «Показники ефективності енергетичної установки», «Інтегральний коефіцієнт ефективності» [5].

Виконана верифікація і валідація математичної моделі процесів перенесення теплоти в теплопередавальних елементах шляхом порівняння розрахункових з експериментальними даними [6-12]. Розбіжність не перевищила 9,3%, що обґрунтовує її використання у подальших дослідженнях ефективності енергетичних установок.

Розглянуто ефективність процесів перенесення теплоти при профілюванні лунковими системами спірально-стрічкового оребрення з трубою-основною круглого перерізу та пластинчастого оребрення з трубою-основною еліптичного перерізу.

Отримано, що у першому випадку можливо покращити ефективність тепловіддачі майже до 30% у порівнянні з пучками круглих неоребраних труб.

У другому випадку при послідовному розташуванні лунок на ребрі можливо підвищити коефіцієнт тепловіддачі у порівнянні з пучками круглих неоребраних труб до 36%, при однакових значеннях коефіцієнту опору пучка.

Отримані результати дозволили оцінити ефективність використання теплообмінних апаратів із запропонованими теплопередавальними елементами у складі суднових енергетичних установок.

Запропоновані заходи сприятимуть частковому досягненню зниження індексу *EEDI* при обґрунтуванні проектних рішень по визначенню ефективних схем та характеристик інноваційних суднових енергетичних установок танкерів та балкерів типу *PANAMAX* та контейнеровозів. Очікувані результати впровадження інтенсифікації теплопередачі для підвищення ефективності суднових енергетичних установок таких суден представлені у табл.1. та 2.

Таблиця 1 – Очікувані результати впровадження інтенсифікації теплопередачі для підвищення ефективності СЕУ танкеру

№	Показники, од.виміру	Значення	
		Базове	Розрахункове
1	ККД СЕУ, %	50,8	52,1
2	<i>EEDI</i>	8,02	7,88
3	Рівень теплових викидів	0,968	0,936
4	Зниження рівня шкідливих викидів, %	–	1,3

Таблиця 2 – Очікувані результати впровадження інтенсифікації теплопередачі для підвищення ефективності СЕУ контейнеровозу

№	Показники, од.виміру	Значення	
		Базове	Розрахункове
1	Потужність системи WHRS, МВт	2,48	3,24
2	ККД СЕУ	54,3	56,8
3	<i>EEDI</i>	17,31	16,88
4	Рівень теплових викидів	0,842	0,761
5	Зниження рівня шкідливих викидів, %	–	2,5

Заклучення

Використання теплообмінних елементів в складі суднових енергетичних установок з інтенсифікацією процесів конвективного переносу теплоти в разі переважного зростання тепловіддачі над аеродинамічним опором забезпечує вдосконалення їх економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик наступним чином.

1. Для суднових енергетичних установок покращення показників до 5% економічності, 11% теплових викидів, 5% шкідливих викидів досягається при застосуванні термогазодинамічної інтенсифікації сукупних процесів конвективного переносу теплоти і маси за рахунок використання еліптичних пучків труб з оребренням, профільованими лунковими системами, що є найбільш прийнятним напрямком у порівнянні з існуючими.

3. Доведено, що підвищення ефективності перенесення теплоти до 36% в суднових утилізаційних котлах дизельних та газотурбінних установок досягається додатковим використанням лункових систем на ребрах оребрених спірально-стрічковим оребренням круглих та плоским оребренням еліптичних труб.

3. Розроблена математична модель енергетичної установки з урахуванням вдосконалення процесів перетворення теплоти і маси в їх теплопередаючих елементах, як сукупність процедур «Головний двигун», «Енергетичний теплообмінний апарат», «Технологічний теплообмінний апарат», «Показники ефективності енергетичної установки», «Інтегральний коефіцієнт ефективності», характеризується позитивними результатами апробації для конструктивних і повірочних розрахунках енергетичних установок суднової енергетики, транспорту і промисловості, що підтверджено організаціями проєктантами такої техніки

Література

[1]. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография / Гортышов Ю.Ф. [и др.]; под общ.ред Ю.Ф. Гортышова. – Казань, 2009. – 531 с.

[2]. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И. В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Т. 7. Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении. Институт технической теплофизики НАН Украины. – Киев, 2008. – 292 с.

[3]. Халатов А.А., Мейрис А.Ж., Доник Т.В., Гамрецькая А.В. Теплообмен и гидродинамическое сопротивление при поперечном обтекании воздухом первого ряда пучка труб со сферическими углублениями. Вісник НТУ „ХПІ”. – 2015. – № 16 (1125). – С. 50–53.

[4]. Халатов А.А., Окишев А.В., Онищенко В.Н. Обобщение опытных данных по фактору аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена различных типов. Пром. Теплотехника. – 2010. – Т.32. №5. – С. 5–13.

[5]. Кузнецов В.В., Шевцов А.П. Математичне моделювання процесів переносу теплоти і маси в суднових енергетичних установках. Матеріали XIV МНПК «СЕУТТОО». – Херсон, ХДМА, 2023. – С. 221-224

[6]. Бэтчелор Д. Введение в механику жидкости. М. «Мир», 1973. – 758 с.

[7]. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука 1974. – 712 с

[8]. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир, 1986. – 184 стр.

[9]. Тепловой расчет котлов: (Нормативный метод). Издание 3-е, перераб. И доп. Изд-во НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 256 с.

[10]. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

[11]. Гогоренко А.А. Создание перспективных конструкций охладителей наддувочного воздуха тепловозных двигателей. Вісник НУК. – 2011. – № 1. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/ru/publication?publicationId=8012> (дата звернення 25.07.2023).

[12]. Кондратюк В.А., Письменний Є.М., Терех О.М. Теплообмін та аеродинаміка пакетів плоскоовальних труб з лунками. Scientific Journal «ScienceRise». – 2015. – №11/2(16). – С.10-14.

Increasing the efficiency of marine power plants by profiling heat exchangers tube bundles by dimple systems

Kuznetsov V. V., Shevtsov A.P.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

The direction of increasing the efficiency of marine power plants by using heat exchange elements that implement intensive methods of heat transfer, which are characterized by a predominant increase in heat transfer over aerodynamic resistance, is considered. The research method is mathematical modeling of processes in power plants at the level of their individual elements – heat engine, power and technological heat exchangers. The adequacy of the mathematical model for research the efficiency of power plants is justified by the results of verification and validation by comparing the results of calculations with the results of a physical experiment that have a discrepancy not exceeding 9.3%. The goal of the research is the improving the economic, environmental, resource and weight-size parameters of power plants by using heat exchange elements with the intensification of the processes of convective transfer of heat and mass by using finned surfaces with dimples. Thanks to the performance of dimple systems on the edges of round pipes with spiral-ribbon finning and elliptical pipes with lamellar finning, it is possible to increase the heat transfer coefficient up to 36%, while the resistance coefficient of the beam remains unchanged. The use of heat exchangers with the proposed heat transfer elements as part of ship power plants with low-speed engines and gas-and-steam turbine units allows to improve their economic and environmental characteristics. It was obtained that for tankers of the PANAMAX type, the increase in the efficiency of the ship's power plant is 1.3% due to the use of elliptical surfaces with plate finning and hole systems on the ribs in the utilization boiler. The ship's EEDI index decreased by 1.7%. For container ships with a deadweight of more than 100,000 tons, the change in these indexes was 2.5 and 2.7%, respectively. For a marine gas-and-steam turbine plant efficiency increase was 2.4%.

Key words: marine power plant, efficiency, heat exchanger, tube bundle, intensification, fins, dimple

УДК 621.6

АНАЛІЗ ПРОПУЛЬСИВНИХ УСТАНОВОК ПЛАВУЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Чередніченко О.К.

доктор технічних наук,

професор кафедри суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua

Коробейнікова Н.В.

асистент кафедри суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв, Україна

natalya.korobeinikova@nuos.edu.ua