

10.31653/smf42.2021.97-103

Богданов М.С., кер. проф. Голюков В.А.
Національний університет «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОРСЬКОГО СУДНА В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТАНСФОРМАЦІЄЮ СКИДНОЇ ТЕПЛОТИ

Актуальними проблемами експлуатації суден річкового та морського транспорту, на даний період, стали: розроблення технічних заходів для підвищення надійності і енергетичності транспортних систем та створення умов для високоефективного використання суден з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища.

В першу чергу, це стосується проблеми екологічності судна, яке для просування під час перевезень вантажів та пасажирів викидає в навколишнє середовище значну кількість шкідливих вихлопних газів та скидної теплоти від роботи теплових двигунів.

Останні три десятиріччя Міжнародна Морська Організація (ІМО) та Міжнародна організація стандартів (ІСО) неухильно постійно підсилюють вимоги до граничних норм викидів CO_x , NO_x і SO_x та кількості скидного тепла.

У зв'язку з викладеним, розробка технологічних схем засобів по утилізації скидного тепла для підвищення енергетичної ефективності силової установки судна лежить в основі представлених результатів дослідження.

За своїм змістом робота повністю відповідає шостому пункту наукових напрямків досліджень за спеціальністю 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» і направлена на удосконалення методів паливної економічності та поліпшення екологічних показників судна в умовах експлуатації, а також розроблення ресурсозберігаючих екологічно чистих технологій експлуатації судна.

На відміну від уже захищених дисертаційних досліджень Голубева Максима Віталійовича, пов'язаного з фільтруванням вихлопних газів дизеля під час їх абсорбції шляхом їх «борботажу», та Тарасенко Тетяни Владиславовни, присвяченого підвищенню енергоефективності суден при роботі на коротких морських лініях, які виконувались на кафедрі ТЕФ, представлене дослідження відрізняє: тривалість процесу експлуатації судна у різних кліматичних зонах світового оке-

ану; необхідність утилізації скидної теплоти вихлопних газів та створення способу її трансформації направлених на збільшення питомого вагового заряду надувного повітря у судновому малооборотовому дизелі (МОД).

Об'єктом дослідження став процес тривалого руху морського судна у різних кліматичних районах світового океану.

Предметом дослідження – тепломасообмінні процеси трансформації скидної теплоти вихлопних газів суднового МОД для збільшення циклової подачі надувного повітря від турбокомпресора шляхом охолодження (рис.1) [1].

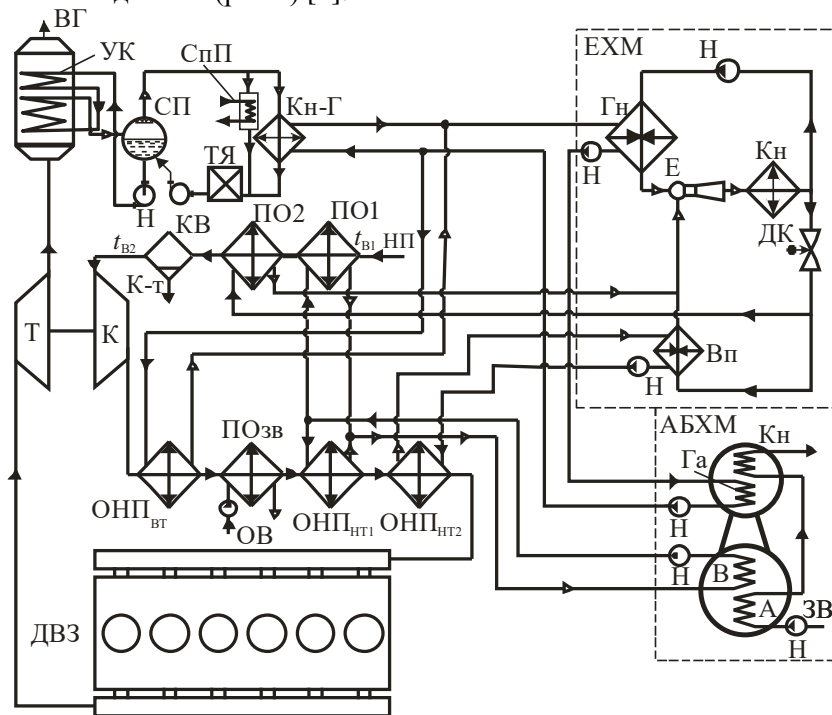


Рис. 1. Схема системи **комбінованого** охолодження циклового повітря на вході ТК МОД в АБХМ і надувного повітря в ЕХМ утилізацією теплоти відповідно випускних газів і надувного повітря: К і Т – компресор і турбіна ТК; ОНП_{ВТ} – високотемпературний (когенераційний) ступінь охолодження надувного повітря ОНП; ОНП_{ЗВ} – ступінь охолодження надувного повітря забортною водою; ОНП_{НТ} – низькотемпературний ступінь охолодження надувного повітря;

СП – сепаратор пари; Кн-Гв (Кн-ВН) – конденсатор водяної пари – нагрівач води для випарної секції генератора ЕХМ; Ек – економайзерний нагрівач води конденсатом; ОК-Ге – охолоджувач водяного конденсату-економайзерна секція генератора ЕХМ (нагріву конденсату); СТ – споживач тепла; КВ – конденсатовідвідник; ТЯ – теплий ящик; Н – насос; ВГ – випускні гази; НП – навколишнє повітря на вході ТК; К-т – конденсат; Е – ежектор; Г – генератор; В-ПО – випарник-повітроохолоджувач; ДК – дросельний клапан; Кн – конденсатор хладону; Г_а – генератор АБХМ; Кн – конденсатор АБХМ; В_а випарник АБХМ; А – абсорбер; ЗВ – забортна вода

Метою наукового дослідження стало підвищення енергоефективності судна під час океанських переходів шляхом впливу на режим роботи суднового МОД.

Згідно **робочої гіпотези**, мета досягається шляхом комплексного охолодження циклового повітря МОД тепловикористовуючими холодильними машинами, які живляться від утилізаційного котла дизеля та/або інших суднових систем теплопостачання.

Головною задачею наукового дослідження стало визначення раціональних параметрів процесів комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД, які забезпечують високу тривалу паливну економічність морського судна при підвищених температурах навколишнього середовища.

Для вирішення головної задачі здійснене рішення наступних **допоміжних задач**:

формалізація математичної моделі для розрахунку параметрів тепломасообмінних процесів комплексного охолодження циклового повітря МОД для змінних теплових навантажень;

встановлення характеру взаємозв'язку між паливною економічністю судна, зовнішніми збуреннями, пов'язаними зі зміною температури навколишнього повітря та заборотної води упродовж рейсу, та параметрів процесів охолодження циклового повітря МОД з утилізацією горячої води системи теплопостачання;

створення способу раціональної організації процесів в системах комплексного охолодження циклового повітря МОД, який забезпечує стабілізацію його низької температури незалежно від зміни температурних збурень по лінії маршрута.

Для перевірки адекватності процесів трансформації скидної теплоти

шляхом верифікації викликала додаткова науково-прикладна практична задача пов'язана з розробкою схемно-конструктивних рішень систем комплексного охолодження циклового (надувочного) повітря МОД при експлуатації судна на відповідній океанській лінії [2,3].

Методика і методи дослідження передбачає застосування системного аналізу, який передбачає параметричну і кількісну визначеність показника енергоефективності судна, параметризацію та формалізацію математичної моделі процесів, які пов'язані з предметом дослідження, аналіз процесів направлений на перевірку робочої гіпотези з подальшим синтезом його результатів для створення способу утилізації скидної теплоти для стабілізації низької температури циклового повітря МОД. Такий методологічний підхід дозволив розробити схемно-конструктивні рішення по підтвердженню робочої гіпотези.

Наукові результати, що захищаються автором, та їхня новизна:

1. Вперше розроблені:

- системи комплексного охолодження циклового повітря (повітря на вході наддувного ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри) судових МОД когенераційного типу утилізацією скидної теплоти наддувного повітря і випускних газів у вигляді теплоти гарячої води системи теплопостачання, що за холодного клімату витрачається на теплофікаційні потреби, тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ) різного типу, які забезпечують високу паливну економічність МОД при підвищених температурах повітря і забортої води упродовж рейсу;

- способи раціональної організації процесів комплексного охолодження циклового повітря судових МОД трансформацією теплоти гарячої води системи теплопостачання сумісно ТХМ різного типу, які забезпечують підтримання стабільно низької температури циклового повітря незалежно від зміни кліматичних умов експлуатації упродовж рейсу шляхом перерозподілу теплового навантаження між системами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД;

- математична модель для розрахунку параметрів процесів комплексного охолодження циклового повітря судового МОД когенераційного типу з використанням теплоти гарячої води системи теплопостачання, що враховує зміну теплових навантажень когенераційного високотемпературного і низькотемпературних ступенів охолодження

циклового повітря та дає змогу визначати надлишок/дефіцит холодопродуктивності і способи її раціонального розподілу між системами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря;

- схемно-конструктивні рішення тепловикористовуючих систем комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД когенераційного типу, які реалізують розроблені способи організації процесів охолодження повітря з перерозподілом холодопродуктивності відповідно до кліматичних умов експлуатації на рейсовій лінії і забезпечують високу паливну економічність МОД за рахунок підтримання стабільно низької температури циклового повітря упродовж рейсу.

2. Запропонований принципово новий підхід до підвищення ефективності охолодження циклового повітря суднового МОД, згідно з яким раціональну холодильну потужність ТХМ вибирають з урахуванням зміни співвідношення поточних теплових навантажень при охолодженні повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД на конкретній рейсовій лінії.

3. Виявлені:

- особливості процесів охолодження циклового повітря МОД, зумовлені зміною температури повітря і забортної води упродовж рейсу і обмеженим температурним рівнем скидної теплоти (води системи теплопостачання), який визначає ефективність її трансформації в холод (тепловий коефіцієнт ТХМ), відповідно й холодопродуктивність ТХМ і глибину охолодження циклового повітря та паливну ефективність МОД, виходячи з яких розподіляють холодопродуктивність ТХМ різного типу між системами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД;

- раціональні параметри процесів комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД (температурні напори в апаратах охолодження, теплові навантаження на апарати, встановлена холодильна потужність ТХМ), які забезпечують зниження температури наддувного повітря до 20...25 °С і скорочення питомої витрати палива на 2,0...3,0 г/(кВт·год) у порівнянні з традиційною системою охолодження забортною водою при підвищених температурах повітря і забортної води та температури повітря на вході ТК до 15...20 °С і скорочення питомої витрати палива на 2,5...3,5 г/(кВт·год) упродовж експлуатації судна на конкретній рейсовій лінії.

Достовірність результатів дослідження забезпечена застосуванням для розрахунку паливної економічності МОД з охолодженням циклового повітря програми виробника суднових МОД фірми "MAN",

апробованої даними стендових випробувань МОД, збереженням встановлених закономірностей в широкому діапазоні режимів суднової експлуатації, результатами порівняння показників паливної економічності МОД з охолодженням циклового повітря в ТХМ і без нього.

Теоретичне значення мають наступні результати дослідження:

– новий підхід до підвищення ефективності охолодження циклового повітря суднового МОД, в основу якого покладено гіпотезу визначення раціональної холодильної потужності ТХМ з урахуванням зміни співвідношення поточних теплових навантажень при охолодженні повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД на рейсовій лінії;

– особливості процесів охолодження циклового повітря МОД, зумовлені зміною температури повітря і забортної води упродовж рейсу і обмеженим температурним рівнем скидної теплоти (води системи теплопостачання), який визначає ефективність її трансформації в холод (тепловий коефіцієнт ТХМ), відповідно й холодопродуктивність ТХМ і глибину охолодження циклового повітря та паливну ефективність МОД, виходячи з яких розподіляють холодопродуктивність ТХМ різного типу між системами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД;

– способи раціональної організації процесів комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД трансформацією теплоти гарячої води системи теплопостачання в ТХМ різного типу шляхом перерозподілу теплового навантаження між системами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря на вході в робочі циліндри МОД.

Практичну цінність становлять результати дослідження:

– системи комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД когенераційного типу з утилізацією скидної теплоти наддувного повітря і випускних газів тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ), які забезпечують високу паливну ефективність МОД при підвищених темпер теплопостачання атурах повітря і забортної води упродовж рейсу;

– схемно-конструктивні рішення тепловикористовуючих систем комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД когенераційного типу, які реалізують розроблені способи організації процесів охолодження повітря з перерозподілом холодопродуктивності від-

повідно до кліматичних умов експлуатації на рейсовій лінії і забезпечують високу паливну ефективність МОД за рахунок підтримання стабільно низької температури циклового повітря упродовж рейсу;

– методика розрахунку параметрів процесів комплексного охолодження циклового повітря суднового МОД когенераційного типу з використанням теплоти гарячої води системи теплопостачання, що враховує зміну теплових навантажень когенераційного високотемпературного й низькотемпературних ступенів охолодження циклового повітря і дає змогу визначати надлишок/дефіцит холодопродуктивності і способи її раціонального розподілу між контурами охолодження повітря на вході ТК і наддувного повітря;

– рекомендації з раціональних параметрів процесів комплексного охолодження циклового повітря суднових МОД (температурних напорів в апаратах охолодження, теплових навантажень на апарати, встановленої холодильної потужності ТХМ), які забезпечують зниження температури наддувного повітря до 20...25 °С і скорочення питомої витрати палива на 2,0...3,0 г/(кВт·ч) у порівнянні з традиційною системою охолодження забортною водою при підвищених температурах повітря і забортної води та температури повітря на вході ТК до 15...20 °С і скорочення питомої витрати палива на 2,5...3,5 г/(кВт·ч) упродовж експлуатації судна на конкретній рейсовій лінії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голиков В.А. Совершенствование системы охлаждения наддувочного воздуха главного судового дизеля когенерационного типа [текст] / В.А. Голиков, Р.Н. Радченко, Н.С. Богданов. Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – Одесса: ОНМА. – 2015. – Вып. 36. – С. 16-23.

2. Голиков В. А., Радченко Р. Н., Богданов Н. С. Совершенствование системы охлаждения наддувочного воздуха главного судового дизеля когенерационного типа [Текст] Голиков В. А., Радченко Р. Н., Богданов Н. С // Матеріали науково-технічної конференції «Суднові енергетичні установки». Одеса: ОНМА, 2015. - № 36-с.16.

3. Радченко А.Н. Богданов Н.С. Тепловые нагрузки теплоиспользующей системы охлаждения наддувочного воздуха главного судового дизеля на рейсовой линии [Текст] Радченко, А.Н. Богданов Н.С // авиационно-космическая техника и технология. - 2011. - № 5 (82).- с. 61-67.