



**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

Національний університет кораблебудування

**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

**МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ**

7–8 листопада 2019 р.

МАТЕРІАЛИ



Миколаїв ■ 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
ДП НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ КОМПЛЕКС
ГАЗОТУРБОБУДУВАННЯ «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ»
РЕГІСТР СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ЗАХІДНОПОМОРСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)
MV WERFTEN WISMAR GMBH (НІМЕЧЧИНА)

«Суднова енергетика: стан та проблеми»

МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

7-8 листопада 2019 року

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

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Миколаїв

Видавець Торубара В.В.

2019

УДК 62-8
С89

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
ДП НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ КОМПЛЕКС
ГАЗОТУРБОБУДУВАННЯ «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ»
РЕГІСТР СУДНОПЛАВСТВА УКРАЇНИ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ЗАХІДНОПОМОРСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)
MV WERFTEN WISMAR GMBH (НІМЕЧЧИНА)

Матеріали публікуються за оригіналами, які представленні авторами.

Претензії щодо змісту та якості матеріалів не приймаються.

Відповідальний за випуск:

Московко Олексій Олексійович

У66 Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : Видавець Торубара В.В., 2019. — 360 с.

ISBN 978-617-7472-49-9

У збірнику наведенні матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 62-8

ISBN 978-617-7472-49-9

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Варбанец Р. А., Залож В. И., Абросимов В. Г. Метод аналитической синхронизации данных мониторинга рабочего процесса транспортных дизелей в условиях эксплуатации	3
Коробко В. В., Шевцов А.П., Вен Хуабинг Енергетичні установки з термоакустичними системами утилізації теплових викидів	4
Савчук В.П., Білоусов Є.В., Зінченко Д.О., Дзигар А.К. Аналіз напружено-деформованого стану поршнів дизельних двигунів RT-FLEX 96C фірми Wartsila	9
Кузнецов В.В. Оценка эффективности процессов теплопередачи в теплообменных аппаратах энергетических установок	13
Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапо Д.О. Исследование волнового эффекта в топливной аппаратуре при использовании добавок водорода к дизельному топливу	16
Чередніченко О. К. Розробка технології термохімічної утилізації вторинних енергоресурсів теплових двигунів суднових енергетичних установок	18

СЕКЦІЯ № 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Грицук І.В., Погорлицький Д.С., Худяков І.В., Володарець М.В., Черненко В.В., Дзигар А.К. Теплова підготовка двигуна суднової енергетичної установки для покращення її екологічних показників	22
Горобець В.Г., Богдан Ю.О., Троханяк В.І., Антіпов Є.О., Масюк М.Ю. Узагальнення результатів експерименту та чисельного моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки компактного пучку гладких труб малого діаметру	25
Mykola Bulgakov Requirements for the circulation oil purity for me engine series.....	30
Чередніченко О.К., Коробейнікова Н.В., Плюсина Д.В., Сапельник П.П. Аналіз умов ефективного використання продуктів термохімічної обробки вуглеводневих палив в суднових енергетичних установках	33
Шостак В.П., Личко Б.М., Манзюк А.Ю. Передача механічної енергії від утилізаційної турбіни на гребний гвинт	35
Мошенцев Ю. Л., Гогоренко А. А., Исследование схем систем охлаждения двс с доохлаждением наддувочного воздуха.....	37
Колесник Д.В. Особенности взаимодействия судового дизеля с винторулевой колонкой.....	43
Шостак В. П., Кісарова А. І. Математична модель для визначення раціонального параметра узгодження ДВЗ-ТК.....	45
Мітенкова В.С. Корнелюк О.М. Покращення техніко-економічних показників пропульсивного комплексу судна шляхом впровадження новітніх розробок інженерії у сучасне суднобудування	48
Шостак В.П., Личко Б.М., Манзюк А.Ю. Ефективність комбінованої пропульсивної установки транспортного судна	52
Свиридов В.І., Бондаренко А.В., Бруйко В.М. Дослідження засобів очищення суднових вод від нафтопродуктів	54
Кісєтов Ю.В., Багіров Е.Я. Виявлення несправностей і пошкоджень підшипників суднових механізмів методами діагностування	59
Кісєтов Ю.В., Кукліна О.Ю., Дзісь П. І. Особливості розслідування аварій енергетичної установки.....	60
Кісєтов Ю.В., Дікусар О.М. До питання підвищення безпеки експлуатації суднової енергетичної установки	63
Кісєтов Ю.В., Довженко О. М. Перспективні напрямки підвищення безпеки експлуатації суднових енергетичних установок	66
Кісєтов Ю.В., Вишнев А. О. Особливості створення інформаційної моделі аварій суднового енергетичного обладнання	68
Кісарова А. І. Рейсові витрати палива судновим головним двигуном.....	70
Єсін І.П., Гіржев І. В. Вибір установки для обробки баластних вод на прикладі танкера дедвейтом 75000 т	73
Соломонюк Д.М., Циганок А.О. Вдосконалення атомних енергетичних установок за рахунок використання газотурбінних двигунів.....	76
Чередніченко О.К., Коробейнікова Н.В., Литвинюк А.О., Работаєв О.В., Старов М.В. Аналіз впливу обмежень, пов'язаних з системою живлення двигуна на енергоефективність термохімічної утилізації.....	79
Личко Б.М., Макаренко О.С. Аналіз сучасних методів очиски відпрацьованих газів суднової енергетичної установки	80
Ратушняк І.О., Ратушняк Л.П. Еколого-економічна ефективність систем очищення суднових нафтовмісних вод та методика її оцінки.....	82
Сагін С.В. Забезпечення оптимального поновлення реологічних характеристик моторного мастила суднових дизелів	85
Куропятнік О.А. Дослідження режимів перепуску випускних газів суднових дизелів.....	91
Севідов С.А., Єлеонська О.С., Бондаренко М.С., Аналіз альтернативних систем очистки стічних вод для судна типу RSD 49.....	95

revealed. Various variants of marine power plants with thermo-chemical heat recovery are presented. Criteria for evaluating the effectiveness of the developed schemes are proposed. The results obtained indicate the effectiveness of the schemes.

Keywords: ship power plant; thermo-chemical recuperation; fuel conversion; syngas

Чередниченко А.К., Коробейникова Н.В., Литвинюк А.О., Работаев О.В., Старов М.В.

Повышение эффективности энергетических установок высокотехнологических судов применением термохимической утилизации

Рассмотрены современные тенденции развития судовой энергетики, требования, предъявляемые к судовым энергетическим установкам в среднесрочной перспективе, подходы к оценке актуальности применения новых энергосберегающих технологий. Показано, что термохимические технологии позволяют расширить сферу применения альтернативных видов топлив и обеспечивают повышение эффективности и экологичности судовых энергетических установок. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании энергетических установок перспективных судов и плавучих объектов нефтегазодобычи

Ключевые слова: судовая энергетическая установка; термохимическая утилизация; конверсия топлива; синтез газ

УДК 629.123

ПЕРЕДАЧА МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД УТИЛІЗАЦІЙНОЇ ТУРБИНИ НА ГРЕБНИЙ ГВИНТ

Шостак В.П. канд. техн. наук, професор;

Личко Б.М. канд. техн. наук, доцент; Манзюк А.Ю. інженер

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

Україна, м. Миколаїв

volodymyr.shostak@nuos.edu.ua; bogdan.lychko@gmail.com, anton.manziuk@gmail.com

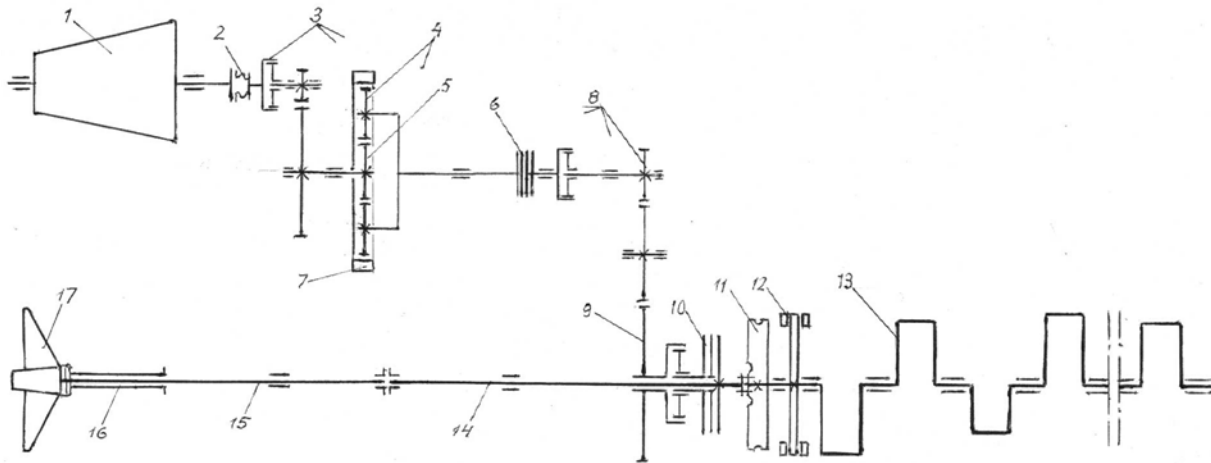
Анотація. Запропоновано та проаналізовано принципову схему механіки рухової установки з малообертовим двигуном і утилізаційним гребним турбозубчастим агрегатом.

Ключові слова: судновий дизель, утилізація теплоти, планетарна передача, редуктор, конденсаційна турбіна.

Останнім часом у світовому суднобудуванні проводяться дослідження із застосування комбінованих головних енергетичних установок. У цих установках основна частина енергії виробляється та передається на гребний гвинт головним малообертовим дизелем (МОД), решта – від систем глибокої утилізації вторинних енергоресурсів (ГУВЕР). Питання застосування систем утилізації, з одного боку пов'язаний з економічними аспектами, а з іншого – екологічними. Так, Міжнародною морською організацією (International maritime organization – IMO) були висунуті вимоги щодо зниження викидів парникових газів (з яких вибраний один – діоксид вуглецю CO₂) з суден. Інструментом для оцінки допустимих його значень є виконання вимог щодо забезпечення нормованого рівня конструктивного коефіцієнта енергетичної ефективності (ККЕЕ) [1]. Одним із шляхів виконання цих вимог є застосування систем ГУВЕР.

Слід зазначити, що з'явилася значна кількість вторинної низькопотенційної теплоти, що пов'язано з ростом водотоннажності суден. Отже, зросла потужність головного МОД. Зі збільшенням потужності механічна енергія утилізаційної установки росте швидше, ніж потреби судна в парі й електроенергії [2]. Природним бажанням стало використовувати усю утилізаційну потужність для підвищення ККЕЕ. Почали з'являтися судна з системами ГУВЕР. Як приклад, у 2007 р. було побудовано перше з восьми серійних контейнеровозів – судно «Emma Maersk», на якому знайшла своє застосування система глибокої утилізації. Поряд з цим провідні дизелебудівні фірми стали розробляти рекомендації щодо застосування систем ГУВЕР [3, 4]. Як правило, це – комбінована енергетична утилізаційна установка, що складається з головного МОД та оборотної електричної машини [5]. Основним її недоліком є подвійне перетворення енергії (механічної в електричну, потім електричну в механічну) і неповне використання теплоти наддувального повітря. Тому, на наш погляд, перспективними є застосування утилізаційного турбозубчастого агрегата (УГТЗА), в якому вся вторинна енергія від МОД утилізується в котлі, далі – в паровій турбіні виробляється механічна енергія та передається на гребний гвинт [6]. Основний зміст (**мета**) даної роботи – пропозиція і аналіз передачі механічної енергії від УГТЗА безпосередньо на судновий валопровід.

На рисунку зображена запропонована нами схема передачі потужності на гребний гвинт в комбінованій утилізаційній енергетичній установці. Підставою для розробки даної схеми і підбору її елементом стало ряд наукових досягнень.



Принципова схема механіки рухової установки з МОД і УГТЗА:

1 – конденсаційна турбіна; 2 – напівгнучка з'єднувальна муфта; 3 – зубчаста муфта; 4 – планетарні шестерні; 5 – сонячна шестерня; 6 – багатодискова роз'єднувальна муфта; 7 – епіцикл; 8 – шестерні; 9 – шестерня з частотою обертання МОД; 10 – еластична демпферна муфта; 11 – маховик; 12 – головний упорний підшипник; 13 – колінчастий вал МОД; 14 – проміжний вал; 15 – гребний вал; 16 – дейдвудний пристрій; 17 – гвинт фіксованого кроку

По-перше, вирішено питання суттєвого зниження впливу на зубчасті передачі крутильних коливань, обумовлених кінцевим числом циліндрів і нерівномірністю роботи гребного гвинта, оскільки редуктор потребує захисту від цих коливань. Провідною дизелебудівною компанією MAN Energy Solutions пропонуються до використання так звані системи «турбокомпаунд». У даних системах потужність від утилізаційної силової газової турбіни через редуктор передається на судновий валопровід. При цьому компенсатором крутильних коливань служить еластична демпферна муфта. Саме така муфта 10 використовується в наведеній на рисунку схемі.

По-друге, важливим питанням є синхронізація частоти обертання конденсаційної турбіни і валопровода. В експлуатації робота МОД характеризується різними режимами, а отже і частотою обертання колінчастого вала, яка передається до валопровода. Німецькою фірмою Renk в середині минулого століття був розроблений ексклюзивний планетарний редуктор, який дозволяє на ходовому режимі незалежно від частоти обертання валу суднового МОД забезпечувати постійну частоту обертання на виході. Компанія MAN Energy Solutions рекомендує синхронізацію валів ВГ і МОД саме за допомогою цього редуктора. У своїх проектних керівництвах (Project Guide) вона наводить відомості по його підключенню до МОД. На наш погляд, для передачі потужності на гребний гвинт в комбінованій утилізаційній установці доречно використовувати такий планетарний редуктор. При цьому необхідно додати одноступінчатий редуктор з циліндричними зубчастими шестернями.

Дана схема може застосовуватися на судах, на яких, на думку проектувальників, доречно застосування систем ГУВЕР. Захист зубчастих передач здійснюється демпфіруючими пристроями 2, 6 і 10 (див. рисунок). Передавальні числа: від турбіни до планетарного редуктора ~ 4, у планетарному редукторі ~ 6,5, від планетарного редуктора до валопровода ~ 3. Загальне передавальне число ~ 70. Наявність роз'єднувальних пристроїв забезпечує різні режими роботи пропульсивної установки та сприяє застосуванню валогенераторів-електродвигунів.

Висновки.

1. Жорсткі екологічні вимоги міжнародних організацій до транспортних суден призвели до звернення уваги науковців до систем глибокої утилізації та розвитку суднових комбінованих енергетичних установок. Однією з невирішених задач у цьому напрямку є передача потужності від утилізаційної парової турбіни до гребного гвинта.
2. При наявності утилізаційного гребного турбозубчастого агрегата розширюються можливості у виборі раціонального режиму роботи судна та його рухової установки в кожному окремому рейсі, що сприяє мінімізації собівартості надання транспортних послуг, а, значить, і збільшення прибутку судновласника.

REFERENCES

- [1] IMO [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.imo.org (дата звернення: 19.09.2019).
- [2] Баранов, А.П. (1988). Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. Москва: Транспорт.
- [3] Wartsila [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.wartsila.com> (дата звернення: 19.09.2019).

- [4] MAN Energy Solutions [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://marine.man-es.com> (дата звернення: 19.09.2019).
- [5] MAN Diesel & Turbo. (2014). Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emission and EEDI. Copenhagen, Denmark, 30.
- [6] Шостак, В.П. Манзюк, А.Ю. (2016). Глибока утилізація теплоти відхідних газів і стисненого повітря сучасного малооборотного двигуна. Віс. НУК, 3(7), 21-28.

Volodymyr P. Shostak, Bohdan M. Lychko, Anton U. Manziuk

TRANSFER OF MECHANICAL ENERGY FROM A RECOVERY TURBINE TO A PROPELLER

Annotation. The schematic diagram of the mechanics of a propulsion system with a low-speed engine and a recycling turbo-gear propulsion unit is proposed and analyzed.

Keywords: marine diesel, heat recovery, planetary gear, gearbox, condensate turbine.

Шостак В.П., Лычко Б.М., Манзюк А.Ю.

ПЕРЕДАЧА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ УТИЛИЗАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ НА ГРЕБНОЙ ВИНТ

Аннотация. Предложена и проанализирована принципиальная схема механики двигательной установки с малооборотным двигателем и утилизационным гребным турбозубчатым агрегатом.

Ключевые слова: судовой дизель, утилизация теплоты, планетарная передача, редуктор, конденсатная турбина.

УДК 621.43.052

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС С ДООХЛАЖДЕНИЕМ НАДДУВЧОГО ВОЗДУХА

Мошенцев Ю. Л., к.т.н., профессор кафедры Двигателей внутреннего сгорания, установок и технической эксплуатации, e-mail: yurimosh@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1377-7498

Гогоренко А. А., к.т.н., доцент кафедры Двигателей внутреннего сгорания, установок и технической эксплуатации, e-mail: oleksiy.gogorenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9157-6659

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина, г. Николаев

Аннотация. Анализ системы жидкостного охлаждения наддувочного воздуха ДВС показал, что правильно организованное жидкостное охлаждение является предельно эффективным и при рекуперативном способе теплообмена не нуждается в каком-либо дополнительном охлаждении.

Ключевые слова: жидкостная система охлаждения, наддувочный воздух, теплообменный аппарат

В последнее время усложнились двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Усложнились и их системы, в том числе схемы систем охлаждения. Возникло разнообразие схем, которые базируются на самых различных принципах. В то же время в качестве единой основы для всех схем систем охлаждения может быть предложена единая схема, основанная на выделении объединенных малорасходного и полнопоточного контуров. В таких системах выполняется так называемое местное переохлаждение теплоносителя внутреннего контура с последующим смешением его потоков для получения необходимо высокой температуры теплоносителя перед двигателем. Сама идея такой системы была разработана и предложена сравнительно давно и использовалась многими авторами. Несмотря на высокую эффективность схемы такого рода, ее применение на новых двигателях не наблюдается. Более того, предлагаемые конструкции схем систем охлаждения достаточно далеки от воплощения такой схемы.

Так, ведущие компании по производству двигателей для грузовых автомобилей в Германии (DEUTZ, MAN, Mercedes-Benz) используют не самые совершенные схемы [1, 2]. Ведущая корпорация по выпуску аналогичной продукции в США (Caterpillar) также выпускает двигатели с иными схемами систем охлаждения. Последнее время Caterpillar оснащает свои двигатели схемами систем охлаждения с так называемым доохлаждением наддувочного воздуха [3]. Иными словами, охлаждение наддувочного воздуха в таких схемах выполняется сначала в жидкостном ОНВ, а затем в воздуховоздушном ОНВ. По нашему мнению, подобное решение сильно усложняет конструкцию системы охлаждения, и не приводит к улучшенному результату по сравнению с параметрами правильно спроектированной схемы. В то же время такой шаг в создании систем охлаждения является новым и требует специальной оценки.

Чтобы оценить возможность системы с доохлаждением наддувочного воздуха, сначала исследовались параметры схемы системы охлаждения с жидкостным ОНВ, в которой применен принцип малорасходности (рис. 1), а затем они сравнивались с параметрами системы с доохлаждением наддувочного воздуха (рис. 2). Последняя