

УДК 629.123

ПЕРЕДАЧА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ УТИЛИЗАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ НА ГРЕБНОЙ ВИНТ

Терлыч Станислав Владимирович¹, декан факультета судовождения и судовой энергетики, кандидат технических наук

e-mail: slavus_limanskii@mail.ru

Енин Игорь Алексеевич¹, курсант

e-mail: slavus_limanskii@mail.ru

Мосашвили Иван Алексеевич², курсант

e-mail: rn6ay@yandex.ru

¹ Херсонская государственная морская академия, Херсон, Россия

² Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

Аннотация. Предложена и проанализирована принципиальная схема механики движительной установки с малооборотным судовым дизельным двигателем внутреннего сгорания и утилизационным гребным турбозубчатым агрегатом. Выяснено, что при наличии утилизационного турбозубчатого агрегата расширяются возможности выбора рационального движения судна и его пропульсивной установки в каждом отдельном рейсе.

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

TRANSFER OF MECHANICAL ENERGY FROM THE RECOVERY TURBINE TO THE SHIPS PROPELLER

Stanislav V. Terlych¹, Dean of the Faculty of Navigation and Ship Power Engineering, Candidate of Technical Sciences

e-mail: slavus_limanskii@mail.ru

Igor A. Enin¹, Student

e-mail: slavus_limanskii@mail.ru

Ivan A. Mosashvili², Student

e-mail: rn6ay@yandex.ru

¹ Kherson State Maritime Academy, Kherson, Russia

² Admiral F.F. Ushakov State Maritime State University, Novorossiysk, Russia

Abstract. A basic scheme of the propulsion system mechanics with a low-speed marine diesel internal combustion engine and a recycling propeller turbo-gear unit has been proposed and analyzed. It has been found that the presence of a recycling turbo-gear unit expands the

possibilities for choosing the optimal movement of the vessel and its propulsion system on each individual voyage.

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

Введение

За последние 5-10 лет в мировом судостроении проводятся исследования с использованием комбинированных главных силовых установок. В этих энергетических комплексах основная часть механической энергии вырабатывается и передаётся на движитель (как правило – гребной винт) главным малооборотным дизельным двигателем (МОД), остальная часть – энергии от систем глубокой утилизации вторичных энергетических ресурсов (ГУВЭР). Вопросы использования систем утилизации, с одной стороны, связаны с экономическими аспектами, а с другого – экологическими. Так, Международной морской организацией (International maritime organization – ИМО) были выдвинуты требования относительно снижения выбросов парниковых газов (одним из которых выделен особо диоксид углерода – CO_2) с морских транспортных судов. Инструментом для оценивания допустимых его значений является выполнение требования про обеспечение нормального уровня конструктивного коэффициента энергетической эффективности EEDI (ККЭЭ) [1]. Одним из путей выполнения этих требований может быть использование системы ГУВЭР.

Анализ последних исследований теме статьи

С ростом грузоподъёмности и как следствие водоизмещения и буксировочного сопротивления транспортных судов увеличивается также и количество вторичной низкопотенциальной теплоты. Закономерно возрастает и мощность главного МОД. С возрастанием мощности механическая энергия утилизационной установки растёт быстрее, чем потребность судна в электроэнергии и паре [2-4]. Таким образом, возникает важная инженерная задача как на стадии проектирования и конструирования, так и во время эксплуатации судна использовать утилизационную мощность, незадействованную для вспомогательных нужд для повышения ККЭЭ. В связи с этим появилась новое направление в судовой энергетике – силовые установки с системами ГУВЭР.

Известно, что в 2007 г был построен первый из восьми серийных контейнеровозов «Emma Maersk», на котором нашла своё применение система глубокой утилизации. Наряду с этим, ведущие дизелестроительные фирмы MAN B&W, Wärtsilä, Sulzer Aktiengesellschaft стали разрабатывать рекомендации применения систем ГУВЭР [5-8]. Как правило, это комбинированная энергетическая и утилизационная установка, которая состоит из малооборотного дизельного двигателя и обратной электрической машины [9-11]. Основными её недостатками являются:

- двойная переработка энергии (механическая → электрическая → механическая);
- неполное использование теплоты наддувочного воздуха.

По мнению автора статьи [12], перспективным является использование утилизационного турбозубчатого агрегата (УТЗА), в котором вся вторичная энергия от дизельного двигателя утилизируется в котле, далее – в паровой турбине выделяется механическая энергия и передаётся на движитель (гребной винт).

Цель статьи – предложение и анализ передачи механической энергии от УТЗА непосредственно на гребной вал.



Результаты исследования

На рисунке изображена предложенная авторами настоящей статьи схема передачи на движитель (гребной винт) в комбинированной утилизационной энергетической установке. Обоснованием для разработки указанной схемы и подбора элементов послужил ряд нижеперечисленных достижений в судовой энергетике:

1) Решен вопрос существенного снижения влияния на зубчатые передачи крутильных колебаний, обусловленных конечным числом цилиндров и неравномерностью работы гребного винта, поскольку редуктор нуждается в защите от этих колебаний. Ведущей дизелестроительной компанией MAN Energy Solutions предлагаются к использованию так называемые системы "турбокомпаунд". В данных системах мощность от утилизационной силовой газовой турбины через редуктор передается на судовой валопровод. При этом компенсатором крутильных колебаний служит эластичная демпферная муфта. Именно такая муфта 10 используется в приведенной на Рисунке 1 схеме.

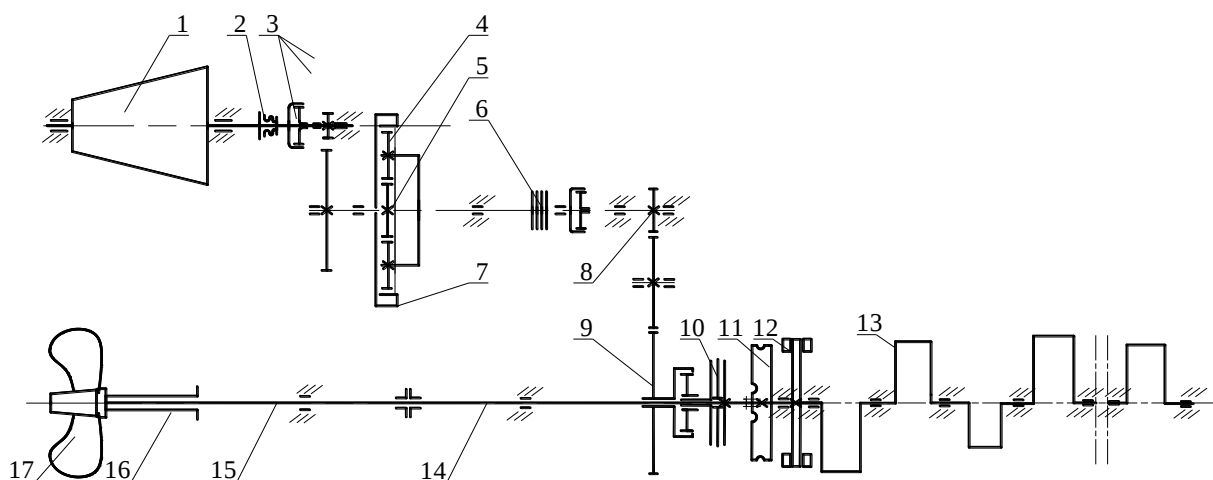


Рисунок 1 – Принципиальная механическая схема пропульсивной установки малооборотного дизеля с утилизационным турбозубчатым агрегатом:

1 – конденсационная турбина; 2 – полугибкая соединительная муфта; 3 – зубчатая муфта; 4 – планетарные шестерни; 5 – солнечная шестерня; 6 – многодисковая разъединительная муфта; 7 – эпицикл; 8 – шестерни; 9 – шестерня с частотой вращения МОД; 10 – эластичная демпферная муфта; 11 – маховик; 12 – главный упорный подшипник; 13 – коленчатый вал главного двигателя; 14 – промежуточный вал; 15 – гребной вал; 16 – дейдвудное устройство; 17 – гребной винт

2) Важным вопросом является синхронизация частоты вращения конденсационной турбины и валопровода. В эксплуатации работа дизельного двигателя характеризуется различными режимами, а следовательно, и частотой вращения коленчатого вала, которая передается к валопроводу. Немецкой фирмой Renk в середине прошлого века был разработан эксклюзивный планетарный редуктор, который позволяет на ходовом режиме независимо от частоты вращения вала судового малооборотного двигателя обеспечивать постоянную частоту вращения на выходе.

Компания MAN Energy Solutions рекомендует синхронизацию валов генератора и дизельного двигателя именно с помощью этого редуктора. В своих проектных руководствах (Project Guide) она приводит сведения по его подключению к двигателям. По мнению авторов настоящей статьи, для передачи мощности на гребной винт в комбинированной утилизационной установке уместно использовать такой планетарный редуктор. При этом

целесообразно также добавить одноступенчатый редуктор с цилиндрическими зубчатыми шестернями.

Предложенная конструктивная схема может найти применение на судах, где целесообразно использование системы ГУВЭР. Защита зубчатых передач осуществляется демпфирующими устройствами 2, 6 и 10 (Рисунок 1).

Передаточные числа: от турбины к планетарному редуктору ~ 4 ; в планетарном редукторе $\sim 6,5$; от планетарного редуктора к валопроводу ~ 3 . Общее передаточное число ~ 70 . Наличие разъединительных устройств обеспечивает различные режимы работы пропульсивной установки и способствует применению валогенераторов электрических двигателей.

Обсуждение результатов

Жесткие экологические требования международных организаций к транспортным судам привели к обращению внимание ученых к системам глубокой утилизации и развития судовых комбинированных энергетических установок. Одной из нерешенных задач в этом направлении является передача мощности от утилизационной паровой турбины к гребному винту.

Заключение

При наличии утилизационного гребного турбозубчатого агрегата расширяются возможности в выборе рационального режима общей работы судна и его двигательной установки в каждом отдельном рейсе, что способствует минимизации себестоимости предоставления транспортных услуг, а значит и увеличению прибыли судовладельца.

Список литературы:

1. International Mariyime Organization. — URL: <https://www.imo.org/ru/ourwork/environment/pages/improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx/> (дата обращения 31.03.2026)
2. Ширяева Е.В. Паротурбинные установки: Современное применение на судах // 2022. — №4. — С. 1984–1990.
3. Володин Ю.Г. Особенности теплообменных процессов при пуске судового газотурбинного двигателя / Ю.Г. Володин, О.П. Марфина, Ю.И. Матвеев, Н.В. Гречко и др. // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 77. — С. 105 — 111. — EDN TNIELF.
4. Colin R. The WR-21 Intercooled Recuperated Gas Turbine Engine Integration Into Future Warships, Proceedings of the International Gas Turbine Congress. Tokyo, November 2-7, 2003.
5. Wartsila. — URL: <https://www.wartsila.com/> (дата обращения 29.03.2026)
6. MAN Energy Solutions. URL: <https://marine.man-es.com/> (дата обращения 29.03.2026)
7. MAN Diesel & Turbo. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emission and EEDI. Copenhagen, Denmark, 2014. — P. 30.
8. Проектирование судов : пособие для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» / И. В. Качанов. — Минск : БНТУ, 2019. — 266 с. ISBN 978-985-550-890-9.
9. Григорьев А. В. Судовые комбинированные пропульсивные установки: назначение, состав, классификация / А. В. Григорьев, С. М. Малышев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 951–958. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-951-958.



10. Хватов О. С. Судовая пропульсивная гибридная установка / О. С. Хватов, И. А. Тарпанов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 35. — С. 337–340.
11. Capasso C. Design of a Hybrid Propulsion Architecture for Midsized Boats / C. Capasso, E. Notti, O. Veneri // Energy Procedia. — 2019. — Vol. 158. — Pp. 2954–2959. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.01.958.
12. Baldi F. Optimal load allocation of complex ship power plants / F. Baldi, F. Ahlgren, F. Melino, C. Gabrielli, K. Andersson // Energy Conversion and Management. — 2016. — Vol. 124. — Pp. 344–356. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.009.

