

УДК 621.43 + 621.65 + 629.12
EDN OIKTGU

ИСПЫТАНИЯ НАСОСА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИВОДОМ ЧЕРЕЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ МУФТУ

М.Н. Покусаев, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: pokusaev@astu.org

А.В. Трифонов, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

Н.Д. Шишкин, д-р техн. наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056 Россия, Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, e-mail: n.shishkin-53@mail.ru

В статье содержится описание работ, проводимых на кафедре эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства АГТУ, по изучению проблемы механических потерь на привод вспомогательных механизмов дизельных двигателей. Описаны конструкции испытательного стенда, измерительное оборудование, изложены результаты испытаний и перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: механические потери, вспомогательные механизмы дизельного двигателя, испытания насоса, электромагнитная муфта.

Для цитирования: Покусаев М.Н. Испытания насоса системы охлаждения судового двигателя с приводом через электромагнитную муфту / М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов, Н.Д. Шишкин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 81. — С. 105 — 115. — EDN OIKTGU.

TESTING OF A MARINE ENGINE COOLING SYSTEM PUMP DRIVEN BY AN ELECTROMAGNETIC CLUTCH

M.N. Pokusaev, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: pokusaev@astu.org

A.V. Trifonov, PhD, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: trifonov91@inbox.ru

N.D. Shishkin, DSc, Professor, Astrakhan State Technical University, 414056 Russia, Astrakhan, Tatishcheva ul., 16/1, e-mail: n.shishkin-53@mail.ru

The article considers the studies of the problem of mechanical losses on the drive of auxiliary mechanisms of diesel engines carried out at the Department of Water Transport Operation and Industrial Fishing of the Astrakhan State Technical University. The design of the test bench, measuring equipment, test results, and prospects for further research are described.

Keywords: mechanical losses, auxiliary mechanisms of a diesel engine, pump tests, electromagnetic clutch.

For citation: Pokusaev M.N., Trifonov A.V., Shishkin N.D. Testing of a marine engine cooling system pump driven by an electromagnetic clutch. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 81. P. 105 — 115. EDN OIKTGU. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Международная морская организация утвердила систему измерения энергоэффективности судов. Введены коэффициенты энергоэффективности, которые учитывают мощность силовой судовой установки, расход топлива, обводы корпуса, водоизмещение и грузоподъемность, скорость судна. Система энергоэффективности морских судов введена для того, чтобы стимулировать использовать более энергоэффективное оборудование и двигатели при проектировании новых судов, а также оценивать энергоэффективность существующих судов [1, 2].

На данный момент правительство Российской Федерации занимается вопросом использования высоких технологий в развитии судостроения, которые позволят выдерживать конкуренцию с иностранными производителями. Основными задачами экономической политики РФ являются обеспечение сокращения затрат на топливно-энергетические ресурсы для судоходных компаний; обеспечение конкурентоспособности отечественного флота; энергосбережение и повышение эффективности топлива.

Одним из направлений совершенствования судовых дизелей является снижение механических потерь. Механические потери — это часть располагаемой энергии (индикаторной работы), затрачиваемой на преодоление различного рода сопротивлений в двигателе [7]:

- на преодоление сил трения в подвижных элементах двигателя;
- на привод вспомогательных агрегатов двигателя;
- на осуществление процессов газообмена;
- на преодоление аэродинамического сопротивления при движении деталей двигателя в воздушно-масляной среде.

При снижении механических потерь, при сохранении постоянными остальных статей распределения индикаторной работы и при равных топливно-экономических условиях показатели двигателя улучшаются.

С целью повышения энергоэффективности компания BorgWarner Inc. разработала техническое решение для двигателей грузового транспорта [9], в котором между насосом и двигателем применяется электромагнитная муфта с электронным управлением Dual mode coolant pump (DMCP) (рис. 1).

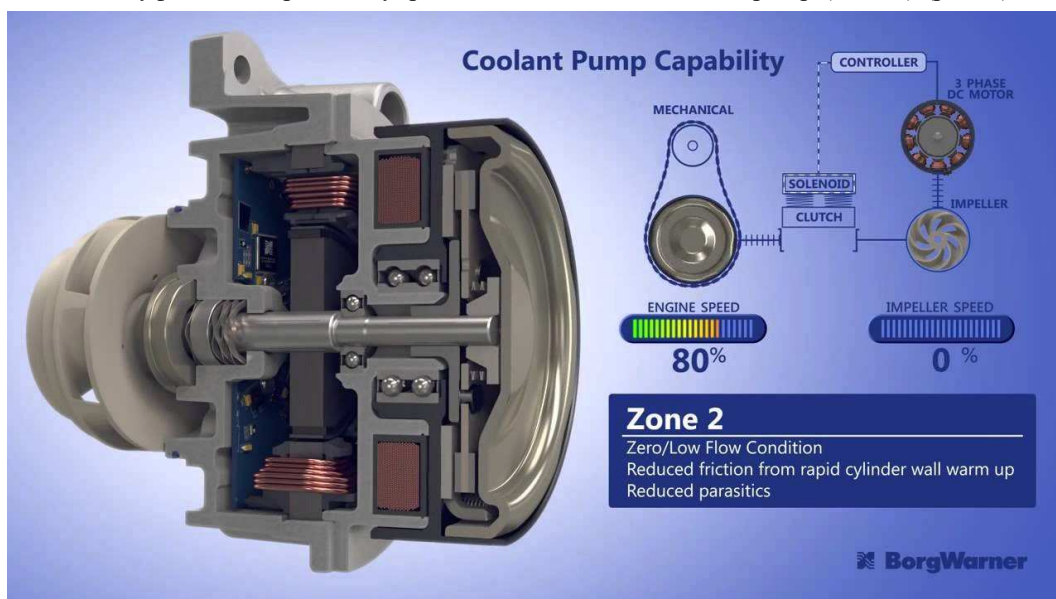


Рис. 1. Электромагнитная муфта насоса с электронным управлением

Обычный насос постоянно вращается вместе с коленчатым валом двигателя. Насос DMCP может полностью отключаться при малой нагрузке и постоянно работать при высокой нагрузке. Таким образом снижается время работы в неэффективном режиме и снижается расход топлива (особенно в городском цикле); экономия топлива может достигать 2 — 4 %.

Совершенствование автоматического регулирования параметров охлаждения является перспективным направлением модернизации систем охлаждения дизельных двигателей [6]. В работах [3 — 7] проводятся подобные исследования на различных типах двигателей. В них утверждается, что двигатель эффективнее

работает в узком диапазоне температур (90 — 105 °С). Электронный блок управления в зависимости от температуры охлаждающей жидкости включает или выключает электромагнитную муфту. Это позволяет точно поддерживать необходимую температуру, не допуская перегрева.

В рамках развития данного направления на кафедре эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства АГТУ проводятся исследования по снижению механических потерь на привод вспомогательных механизмов судовых дизельных двигателей. Было предложено техническое решение по установке между судовым двигателем и насосом заборной или пресной воды электромагнитной муфты. Это техническое решение было реализовано на экспериментальном стенде в лаборатории судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств АГТУ (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид стенда с электромагнитной муфтой

При создании стенда за основу была взята система охлаждения судового конвертированного двигателя ЯМЗ-238М2 (8ЧНСП13/14). Данный двигатель применяется в качестве главного на судах типа «Ярославец» и в качестве судового дизель-генератора (рис. 3, 4).

На рис. 4 показан внешний вид судового дизель-генератора на базе конвертированного двигателя 8ЧН13/14.



Рис. 3. Судно «Флагман» с главным двигателем 8ЧНСП13/14



Рис. 4. Внешний вид судового дизель-генератора

Для перекачивания жидкости во внутреннем контуре стенда установлен насос пресной воды, который используется на двигателях 8ЧН13/14. Насос 236-1307010-Б1 показан на рис. 5.

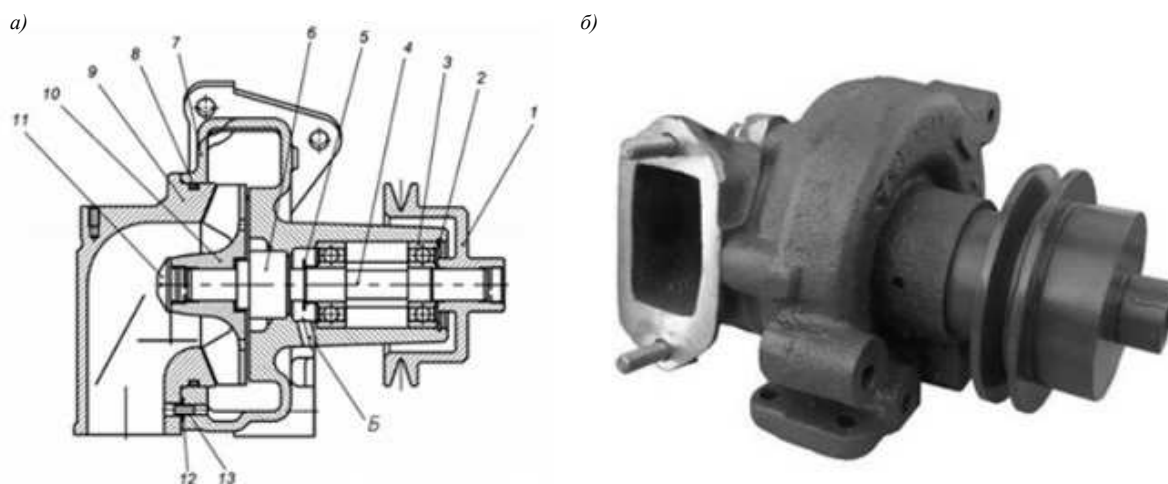


Рис. 5. а) элементы насоса пресной воды: 1 — шкив привода; 2 — стопорное кольцо; 3 — подшипники; 4 — валик; 5 — водосбрасыватель; 6 — уплотнение торцевое; 7 — корпус насоса; 8 — кольцо уплотнительное; 9 — патрубок водяного насоса; 10 — крыльчатка; 11 — заглушка крыльчатки; 12 — кольцо уплотнительное; 13 — втулка уплотнительного кольца; Б — дренажное отверстие; б) внешний вид насоса

Для вращения насоса на стенде установлен электродвигатель 5АИ 80В4У2. Мощность электродвигателя составляет 1,5 кВт, а частота вращения — 3000 об/мин. Если регулировать его частоту вращения частотным преобразователем, то он подходит для имитации вала отбора мощности двигателя

На вал электродвигателя установлена электромагнитная муфта от компрессора кондиционера. Марка компрессора ZexelDKV 08r 92600 AX020 (рис. 6).



Рис. 6. Компрессор ZexelDKV 08r 92600 и электромагнитная муфта

Принцип работы заключается в том, что в выключенном состоянии муфта компрессора разомкнута и ремень крутит ручейковый шкив вхолостую, отдельно от прижимного диска, который соединен с валом компрессора (рис. 7).

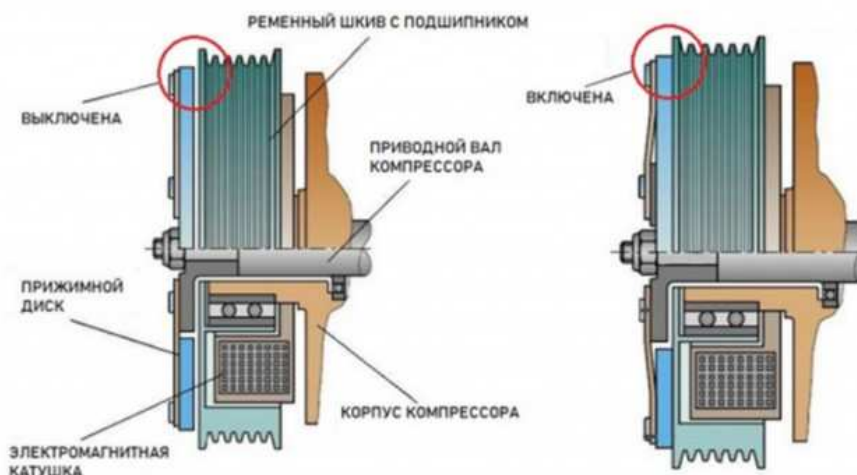


Рис. 7. Внутреннее устройство электромагнитной муфты

При включении на катушку подается питание 12 В, катушка создает магнитное поле и прижимает прижимной диск к шкиву. Шкив соединяется с прижимным диском (который соединен с валом насоса), и механизм насоса начинает работать, создавая циркуляцию в системе охлаждения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

На стенде установлен частотный преобразователь, благодаря которому можно регулировать частоту вращения вала электродвигателя, как на СДВС в реальных условиях. На рис. 8 показан установленный на стенде частотный преобразователь.



Рис. 8. Частотный преобразователь

На стенде имеется счетчик «Энергомера» СЕ303 (рис. 9), который позволяет отслеживать потребляемую мощность электродвигателя.



Рис. 9. Счетчик «Энергомера» СЕ303

Для проведения испытаний также установлен ваттметр «Мегеон» 71002 для контроля мощности, потребляемой электромагнитной муфтой (рис. 10).



Рис. 10. Ваттметр «Мегеон» 71002

Питание электромагнитной муфты осуществляется от сети переменного тока 220 В через блок питания 12 В. На стенде так же установлен тахометр для измерения частоты вращения электродвигателя насоса (рис. 11).



Рис. 11. Тахометр «ОВЕН» TX01

Для автоматизации процесса включения и выключения электромагнитной муфты на стенде установлен модуль «ОВЕН» ПР200 (рис. 12), на интерфейс которого приходят данные с датчиков давления и датчиков температур.



Рис. 12. Программируемое реле «ОВЕН» ПР200

На рис. 13 показан электродвигатель, насос, электромагнитная муфта, теплообменный аппарат, а также система труб, по которым циркулирует вода горячего и холодного контура.



Рис. 13. Общий вид нижней части стенда

В качестве охладителя пресного контура использован теплообменник СБ 575-00-10-1, который применяется на двигателях 12ЧСП15/18 и 6ЧСП 15/18 (ЗД12 и ЗД6).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе проведения испытаний на стенде измерялась потребляемая электромагнитной муфтой электрическая мощность в зависимости от частоты вращения электродвигателя, имитирующего вал отбора мощности дизельного двигателя. График с результатами измерений показан на рис. 14.

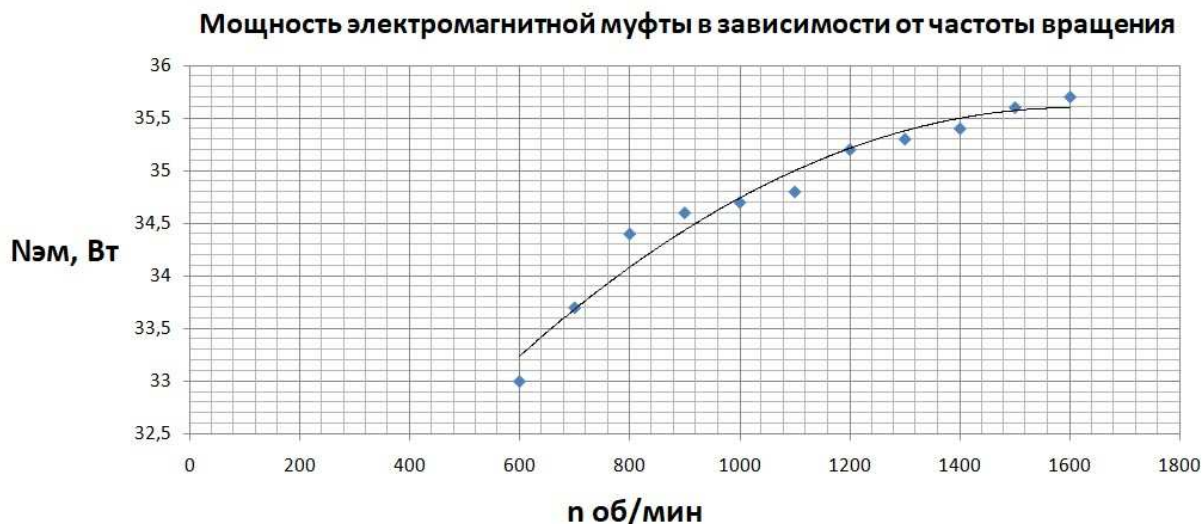


Рис. 14. Мощность электромагнитной муфты в зависимости от частоты вращения насоса

При изменении частоты вращения насоса от 500 до 1600 об/мин потребляемая электромагнитной муфтой мощность изменялась в диапазоне 33 — 36 Вт. Потребляемую электромагнитной муфтой мощность определяли с помощью цифрового ваттметра «Мегеон» 71002. Активная мощность, потребляемая электродвигателем, определялась при помощи трехфазного микропроцессорного счетчика электроэнергии «Энергомера» СЕ303. Чтобы определить мощность насоса, учитывался КПД электродвигателя. Частота вращения вала электродвигателя измерялась при помощи тахометра «ОВЕН» ТХ01.

При помощи датчика температуры контролировали степень нагревания воды в расширительном баке внутреннего контура. В зависимости от показаний этого датчика, система автоматики задавала время работы и выключения электромагнитной муфты по принципу, показанному в табл. 1.

Таблица 1

Принцип работы управления включением электромагнитной муфты

$t, ^\circ\text{C}$	work, c	stop, c	work, %	stop, %
< 30	10	50	17	83
> 40	20	40	33	67
> 50	30	30	50	50
> 60	40	20	67	33
> 70	60	0	100	0

Примечание: t — температура в $^\circ\text{C}$; work, c — время работы электромагнитной муфты в секундах; stop, c — время в секундах, когда электромагнитная муфта отключена; work и stop в % — доля работы и выключения от общего времени работы насоса.

Потребляемая насосом мощность в зависимости от частоты вращения показана на рис. 15.

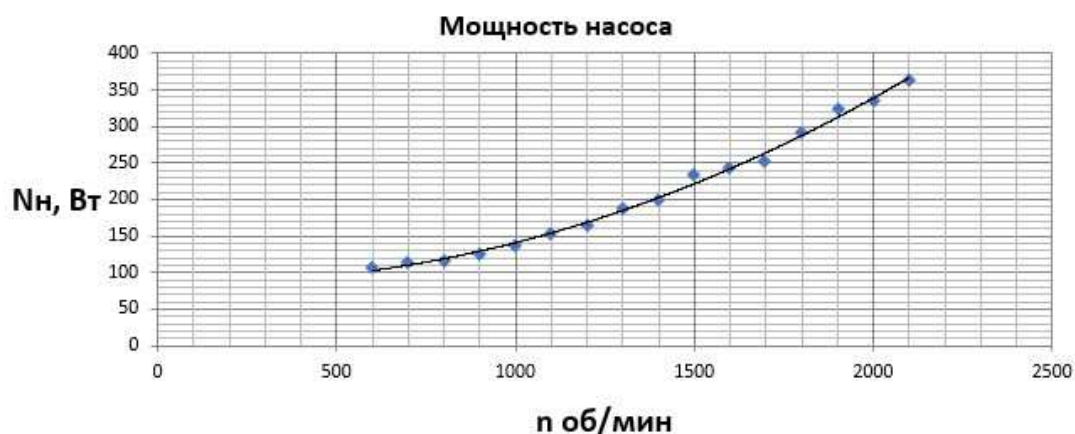


Рис. 15. Мощность насоса в зависимости от частоты вращения

На рис. 16 показана мощность, потребляемая приводом в базовом варианте, и мощность насоса с включенной электромагнитной муфтой. Учтена потребляемая муфтой мощность, а также КПД аккумулятора и генератора, как в случае, если бы муфта стояла на двигателе.

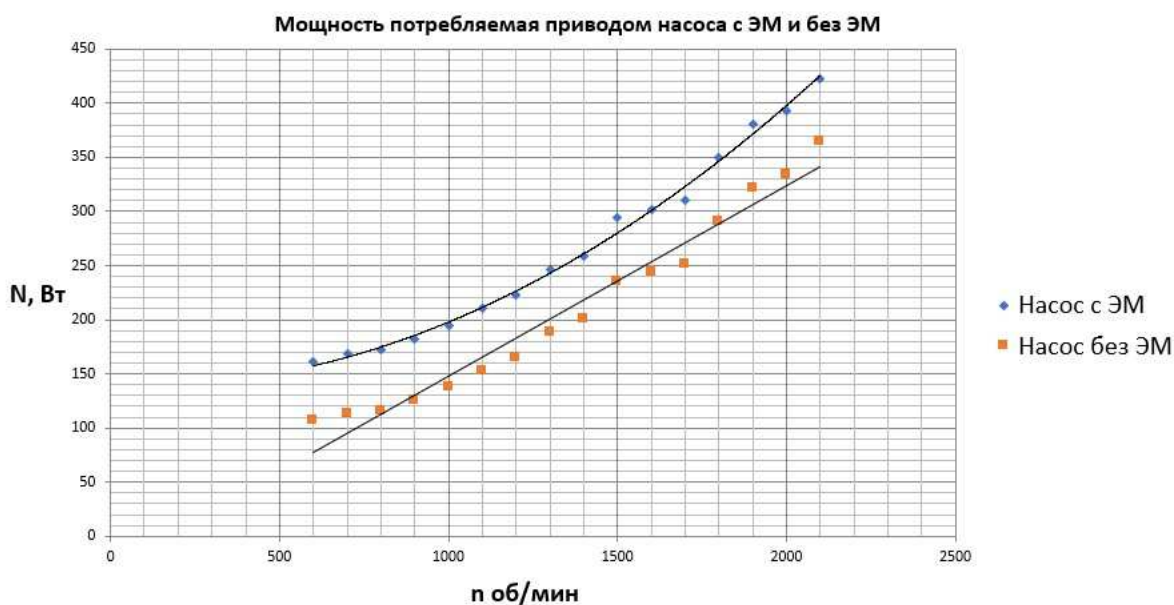


Рис. 16. Мощность насоса без электромагнитной муфты и сумма мощностей насоса и электромагнитной муфты

Насос с включенной электромагнитной муфтой постоянно потребляет немного больше мощности за счет работы электромагнитной муфты. Но такой привод позволяет полностью отключать насос, и в таком случае потребляемая мощность равна нулю.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам испытаний расчетным путем определен эффект от предлагаемого технического решения. Ожидаемое изменение удельного эффективного расхода топлива при установке электромагнитной муфты в приводе насоса системы охлаждения судового двигателя 8ЧНСП13/14:

- электромагнитная муфта выключена — снижение на 0,5 г/кВт·ч;
- электромагнитная муфта включена — увеличение на 0,07 г/кВт·ч.

Перспективным направлением для дальнейших исследований является применение энергии отработавших газов для привода навешенных механизмов.

В лаборатории судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств АГТУ проектируется стенд с насосом системы охлаждения двигателя 4Ч 9/8,5 с приводом от турбины ТКР-7 (рис. 17).



Рис. 17. Стенд с турбонасосом системы охлаждения

Мощность устанавливаемых на двигатели для наддува турбин соответствует мощности навешенных механизмов, таких как насосы системы охлаждения, и их можно использовать для привода. Нерешенной проблемой является значительное несоответствие рабочих частот вращения механизмов [8 — 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы:

- приведено описание безмоторного стенда, моделирующего систему охлаждения судового двигателя с приводом насоса через электромагнитную муфту;
- проведены испытания по определению потребляемой приводом мощности при изменении частоты вращения;
- определено, что установленная в приводе навешенного насоса электромагнитная муфта в выключенном состоянии обеспечивает снижение удельного эффективного расхода топлива на 0,5 г/кВт·ч, а во включенном увеличивает удельный эффективный расход топлива на 0,07 г/кВт·ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC.377(80) adopted 7 July 2023). [Электронный ресурс] URL: <https://www.mardep.gov.hk/filemanager/en/share/msnote/pdf/msin2415anx1.pdf>.
2. 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (MEPC.282(70) adopted 28 October 2016). [Электронный ресурс] URL: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf).
3. Kumarasubramanian R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine / R. Kumarasubramanian, X. Goldwin, W.M. Nishanthi, R. Rajasekar // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2017. — Vol. 197. — P. 012072. — DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
4. Raja Subramanian V. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview / V. Raja Subramanian, G.S. Nair // International Journal of Aquatic Science. — Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). — P. 536 — 540.
5. Krafft R. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles / R. Krafft, W. Faller, A. Wolf // SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260, 2007. — DOI 10.4271/2007-01-4260.
6. Shin Y.H. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption / Y.H. Shin, S.Ch. Kim, M.S. Kim // Energy. — 2013. — Vol. 57. — P. 624 — 631. — DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
7. Ханнанов М.Д. Расчетно-экспериментальная оценка механических потерь современного дизеля и исследование способов их снижения для обеспечения высокой топливной экономичности: дисс. ... канд. техн. наук / М.Д. Ханнанов; НАМИ. — М., 2023.
8. Жуков В.А. Перспективы совершенствования систем охлаждения судовых дизелей / В.А. Жуков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 131 — 137.
9. Advanced thermal management of diesel engines. 2014. [Электронный ресурс] URL: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/2014_whitepaper_thermomanagement_en.pdf?sfvrsn=8 (дата обращения 21.05.2024).
10. Шурпяк В.К. Применение различных схем охлаждения забортных теплообменных аппаратов / В.К. Шурпяк, А.В. Рогозин, А.А. Михеева // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 155 — 171. EDN IHWAOE.
11. Королев В.И. Анализ применения естественной циркуляции охлаждающих сред в судовых реакторных установках / В.И. Королев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2024. — Т. 16, № 4. — С. 538 — 552. — DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-4-538-552. — EDN AYBKJO.

REFERENCES

1. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC.377(80) adopted 7 July 2023). URL: <https://www.mardep.gov.hk/filemanager/en/share/msnote/pdf/msin2415anx1.pdf>.
2. 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) (MEPC.282(70) adopted 28 October 2016). URL: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf).
3. Kumarasubramanian R., Goldwin X., Nishanthi W.M., Rajasekar R. Experimental investigation on the electromagnetic clutch water pump and pneumatic compressor for improving the efficiency of an engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 197. P. 012072. DOI 10.1088/1757-899X/197/1/012072.
4. Raja Subramanian V., Nair G.S. A study of electromagnetic clutch water pump and compressor engine efficiency: An overview. *International Journal of Aquatic Science*. Vol 12, Issue 03 (Special Issue on Proceedings of International Conference on Materials Manufacturing and Nanotechnology, June 2021). P. 536 — 540.
5. Krafft R., Faller W., Wolf A. Electromagnetic water pump clutch: working principle, design strategies and applications for heavy-duty vehicles. SAE. Technical Paper No. 2007-01-4260, 2007. DOI 10.4271/2007-01-4260.
6. Shin Y.H., Kim S.Ch., Kim M.S. Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption. *Energy*. 2013. Vol. 57. P. 624 — 631. DOI 10.1016/j.energy.2013.04.073.
7. Khannanov M.D. Raschetno-eksperimental'naya otsenka mekhanicheskikh poter' sovremennogo dizelya i issledovanie sposobov ikh snizheniya dlya obespecheniya vysokoi toplivnoi ekonomichnosti [Computational-experimental assessment of mechanical losses of a modern diesel engine and study of methods for reducing them to ensure high fuel efficiency: PhD thesis] / Scientific Automotive Engines Institute (NAMI). Moscow, 2023.
8. Zhukov V.A. Outlook of improving of ship diesel engines cooling system. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2015. No. 4 (32). P. 131 — 137. (In Russ.)
9. Advanced thermal management of diesel engines. 2014. URL: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/2014_whitepaper_thermomanagement_en.pdf?sfvrsn=8 (accessed 21.05.2024).
10. Shurpyak V.K., Rogozin A.V., Mikheeva A.A. Application of various cooling schemes for outboard heat exchangers. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 155 — 171. EDN IHWAOE. (In Russ.)
11. Korolev V.I. Analysis of the application of natural circulation of cooling media in shipboard reactor installations. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2024. Vol. 16. No. 4. P. 538 — 552. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-538-552. EDN AYBKJO. (In Russ.)