

сти цилиндрической трубы. //Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова.– 2014.– № 3 (8).– С. 22-24.

5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика.– М., 1964.– 568 с.(стр.314)

#### References

1. MAN Diesel & Turbo "LVOC Combusting ME-GIE Engine", May 2017
2. Baskakov S.P. Improving the environmental safety of oil transportation by sea by reducing the emission of volatile organic compounds. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences: 25.0036. - St. Petersburg, 2005. -- 165p.

3. Bushlanov V.P., Bushlanov I. V., Novikov V. G.. Model of diffusion technology for recovery of two-component petroleum gas in a centrifugal separator.- MARINE INTELLIGENT TECHNOLOGIES.- 2019.-№ 4 (46) V.3. -s. 42-47.

4. Bushlanov V.P., Frolov M.M.. Necessary conditions for condensation of hydrocarbon vapors in a swirling flow on the vertical surface of a cylindrical pipe. - Bulletin of the State Marine University named after Admiral F.F. Ushakov. 2014. No. 3 (8). S. 22-24.

5. Landau L.D., Lifshits E.M..-Statistical Physics. - М., 1964. - 568 pp. (P. 314)

УДК 621.43.052

DOI: 10.34046/aumsuomt97/16

## АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СОВРЕМЕННЫХ МОРСКИХ ГЛАВНЫХ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*А.В. Лисаченко, аспирант*

*В. В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент*

В данной статье приводится анализ технической эксплуатации современных судовых высокооборотных двигателей на основе периодически полученных теплотехнических параметров в эксплуатации при помощи питательных блоков управления фирмы "Caterpillar". В настоящее время не существуют нормативных документов контроля технического состояния судовых высокооборотных четырехтактных двигателей, оснащенных блоками электронного управления по теплотехническим параметрам, полученных с переносных диагностических комплексов заводов изготовителей. В статье представлен штатный сервисный отчет и приведены теплотехнические параметры за 10 лет эксплуатации четырехтактных судовых двигателей. По результатам анализа представлены зависимости теплотехнических параметров с указанием неисправностей, выявленных в процессе эксплуатации двигателей. Существующие отчеты заводов изготовителей, которые автоматически генерируются после проведения замеров теплотехнических параметров, полученных с диагностического комплекса, не дают четкой картины судовладельцам о техническом состоянии двигателя, и инспекторам классификационных обществ для принятия решения о разрешении на продление эксплуатации оборудования.

**Ключевые слова:** высокооборотный двигатель, отчет, отработавшие газы, давление наддува, морское судно.

## ANALYSIS OF THERMAL ENGINEERING PARAMETERS BASED ON THE EXPERIENCE OF USING PORTABLE DIAGNOSTIC COMPLEXES OF MODERN MARINE MAIN HIGH-SPEED ENGINES

*A.V. Lisachenko, V.V. Gerasidi*

This article provides an analysis of the technical operation of modern marine high-speed engines on the basis of periodically obtained thermal parameters in operation with the help of standard control units of the company "Caterpillar". Currently, there are no regulatory documents for monitoring the technical condition of marine high-speed four-stroke engines equipped with electronic control units for thermal parameters obtained from portable diagnostic complexes of manufacturers. The article presents a standard service report and provides thermal parameters for 10 years of operation of four-stroke marine engines. According to the results of the analysis, the dependences of the heat engineering parameters with the indication of the malfunctions detected during the operation of the engines are presented. The existing reports of manufacturers, which are automatically generated after measuring the thermal parameters obtained from the diagnostic complex, do not give a clear picture to shipowners about the technical condition of the engine, and to the inspectors of classification societies to make a decision on the permission to extend the operation of the equipment

**Keywords:** high-speed engine, report, exhaust gases, boost pressure, sea vessel.

В настоящее время на морских судах устанавливаются современные высокооборотные двигатели (ВОД) таких фирм изготовителей, как Caterpillar, MWM, DOTC, Cummins, MAN, Wartsila.

ВОД оснащаются блоками электронного управления, позволяющими контролировать теплотехнические параметры работы двигателя во время эксплуатации.

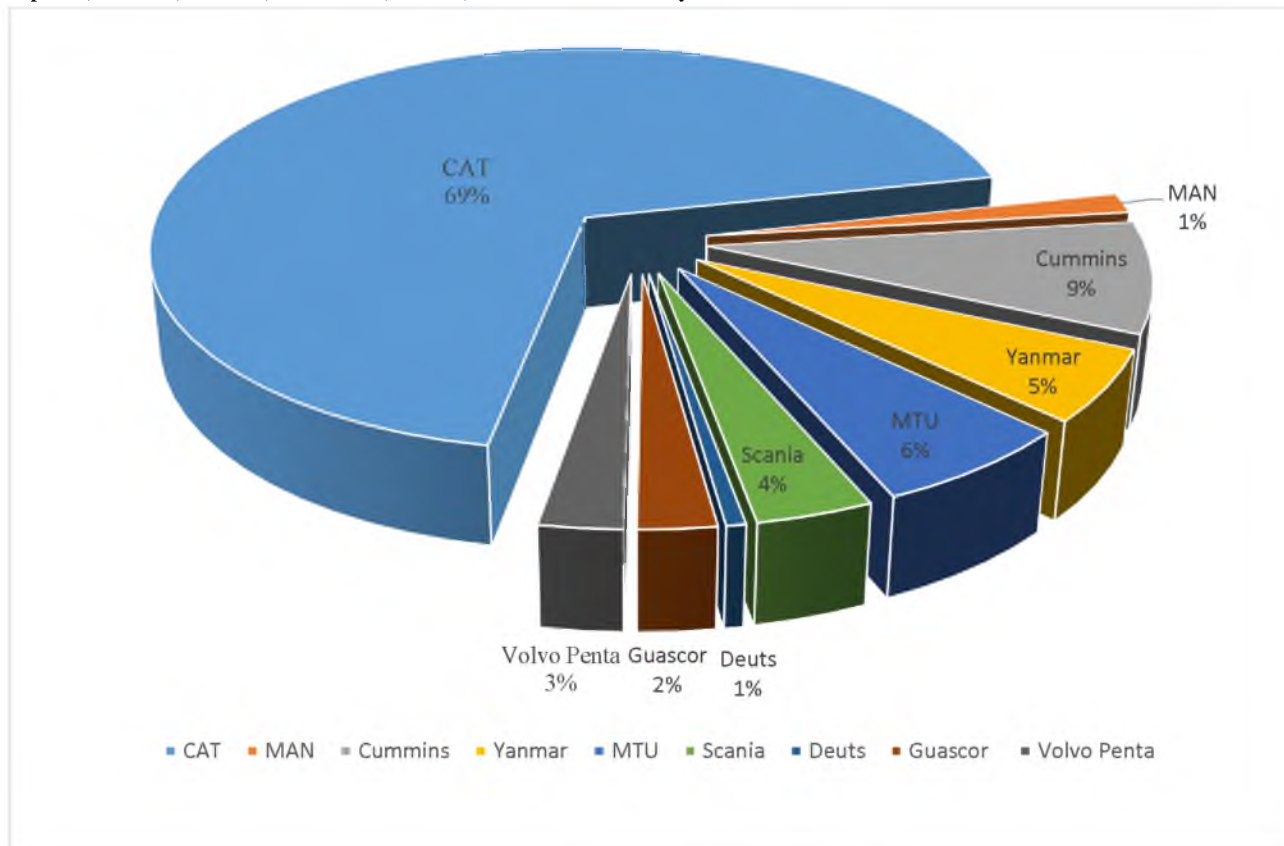


Рисунок 1 – Распределение четырехтактных двигателей по фирмам изготовителей по данным РМРС на декабрь 2019 года

Применение диагностических комплексов, для получения отчета о техническом состоянии двигателя в процессе эксплуатации, позволяет повысить не только экономичность судовых дизелей, но и повысить безотказность судов в целом за счет своевременного обнаружения выходарбочих параметров судовых дизелей за пределы нормируемых значений. Однако нормируемые теплотехнические и вибрационные параметры устанавливаются заводом изготовителем и служат, как оценка годен, или не годен ("ок" или "not ok").

Критические и предупредительные значения для минимальных теплотехнических параметров запрограммированы в штатном блоке управления, и при превышении этих значений, сразу выходит сигнализация и происходит аварийная остановка двигателя в течение несколько секунд.

Однако в нормативных документах и документах классификационных обществ существуют классы или зоны технического состояния оборудования, например, "B" – машины, попадающие в

эту зону, обычно считают пригодными для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков, или «С» – машины, попадающие в эту зону, обычно рассматривают как непригодные для длительной непрерывной эксплуатации [1].

Анализ литературных источников показывает, что в трудах [2-6] рассматриваются вопросы:

- конструктивных особенностей ВОД и их элементов.
- диагностика форсунок на основе контроля вибрации корпуса форсунок и обработка полученного сигнала.
- рассматриваются возможные методы определения расхода топлива и масла в соответствии с внешними условиями эксплуатации.
- определяется качество рабочего процесса двигателей с электронным управлением насос-форсунок.

Авторы работ [7-9] уделяют внимание на: - виброакустические испытания различных судовых технических средств, а мониторинг вибрации, теплотехнических испытаний, и

контроля судовых дизелей в эксплуатации практически нет.

- выполняется разработка нормативных сроков и объемов технического обслуживания и ремонта судовой техники.

- проводится обзор, применяющихся в настоящее время, приборов, систем диагностики средне- и высокооборотных двигателей.

Однако, в трудах [2-9] не рассматриваются методики контроля технического состояния современных ВОД с БЭУ по анализу теплотехнических параметров как показателей, полученных с переносного диагностического комплекса.

В связи с этим необходимо исследовать и разрабатывать методы контроля теплотехнических параметров, с использованием диагностических комплексов, рекомендованных заводом-изготовителем.

Рассмотрим, например, сервисный отчет фирмы "Caterpillar" главных двигателей, установленных на морских судах (рисунок 2).

БЭУ позволяет, программно, получить:

- отчет, выполненный на основе диагностического комплекса "CAT Electronic Technical" завода-изготовителя "Caterpillar";

- информацию о двигателе и его серийный номер, и что установлен с правого борта (на судне установлено два главных двигателя на каждом борту);

- значения теплотехнических параметров, полученных с заводских датчиков, установленных на двигателе;

- минимальные и максимальные рекомендуемые значения теплотехнических параметров, которые меняются в зависимости от нагрузки двигателя.

На рисунке 3 представлены теплотехнические параметры, такие как, температура отработавших газов по двум коллекторам; давление наддува; расход топлива; давление масла в зависимости от относительной мощности двигателя. Теплотехнические параметры были получены в течение многих во время эксплуатации ВОД фирмы "Caterpillar" серии 3500, установленных в качестве главных двигателей морских судов. Количество исследованных главных двигателей составило 82 единицы. Исследования проводились как на новых двигателях, так и на двигателях с наработкой более 50 тыс. часов.

Из рисунка 3 видно:

- все теплотехнические параметры зависят от нагрузки двигателя и имеют *наименьший разброс значений*;

- некоторые параметры были получены при моменте аварийной остановки двигателя по причине неисправности (рис. 3).

На рисунке 3 представлены также неисправностями, которые были зафиксированы во время эксплуатации ГВОД.

Из рисунка видно:

1. Разброс значений температуры коллекторов отработавших газов при нагрузке менее  $10\% Ne_{ном}$  максимальный и составляет около 170 °С. При нагрузке от  $50\% Ne_{ном}$  разброс уменьшается и практически не меняется с увеличением нагрузки на двигатель.

2. Зона минимальных и максимальных значений температуры в коллекторах отработавших газов двигателя (красный цвет), полученная в процессе эксплуатации в зависимости от нагрузки двигателя меняется, и например, при нагрузке  $50\% Ne_{ном}$  составляет от 480 до 560 °С. Однако блок электронного управления двигателя (БЭУ) устанавливает максимальную температуру остановки двигателя 756 °С (таблица 1), что намного выше, установленной диагностическим комплексом.

3. Зона минимальных и максимальных значений температуры в коллекторах отработавших газов двигателя полученная авторами (синий цвет) в течение 10 лет эксплуатации, отличаются от заводских значений.

4. При некоторых значениях температуры отработавших газов, которые выходят из зоны полученной авторами, выявлялись неисправности топливной аппаратуры – форсунок и в некоторых случаях происходил прогар выхлопных клапанов двигателя.

В настоящее время не существуют нормативных документов контроля технического состояния судовых СОД и ВОД четырехтактных двигателей, оснащенных БЭУ по теплотехническим параметрам, полученных с переносных диагностических комплексов заводов изготовителей. А существующие отчеты заводов изготовителей, которые автоматически генерируются после проведения замеров теплотехнических параметров, полученных с диагностического комплекса, не дают четкой картины судовладельцам о техническом состоянии двигателя, и инспекторам классификационных обществ для принятия решения о разрешении на продление эксплуатации оборудования.

Cat Electronic Technician 2014A v1.0  
Status

04.07.2016 16:29

3516B Starboard (S2X01173)

Parameter	Value				
Equipment ID	CAT3516B DITTA A3				
Engine Serial Number	S2X01173				
ECM Serial Number	28586155JP				
Personality Module Part Number	3128961-00				
Personality Module Release Date	JAN07				
Personality Module Description	3516 Marine Certified				

Description	Value	Unit	Minimum	Maximum	ECM
<b>&lt;TEMPORARY GROUP&gt;</b>					
Desired Engine Speed	1411	rpm	1406	1413	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Speed	1411	rpm	1406	1412	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Load Factor	72	%	70	72	3516B Starboard (S2X01173)
Fuel Consumption Rate	297,0	L/h	292,9	297,0	3516B Starboard (S2X01173)
Boost Pressure	141	kPa	139	151	3516B Starboard (S2X01173)
Crankcase Pressure	0,2	kPa	0,2	0,3	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Oil Pressure	354	kPa	353	355	3516B Starboard (S2X01173)
Fuel Pressure	401	kPa	400	402	3516B Starboard (S2X01173)
Aftercooler Temperature	32	Deg C	31	32	3516B Starboard (S2X01173)
Right Exhaust Temperature	532	Deg C	531	533	3516B Starboard (S2X01173)
Left Exhaust Temperature	546	Deg C	544	546	3516B Starboard (S2X01173)
Right Air Filter Restriction	2,1	kPa	2,0	2,2	3516B Starboard (S2X01173)
Left Air Filter Restriction	2,1	kPa	1,9	2,1	3516B Starboard (S2X01173)

Description	Value	Unit	Minimum	Maximum	ECM
<b>&lt;TEMPORARY GROUP&gt;</b>					
Desired Engine Speed	1530	rpm	1504	1530	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Speed	1512	rpm	1503	1512	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Load Factor	85	%	82	85	3516B Starboard (S2X01173)
Fuel Consumption Rate	347,7	L/h	346,1	348,3	3516B Starboard (S2X01173)
Boost Pressure	189	kPa	182	190	3516B Starboard (S2X01173)
Crankcase Pressure	0,2	kPa	0,1	0,3	3516B Starboard (S2X01173)
Engine Oil Pressure	352	kPa	351	354	3516B Starboard (S2X01173)
Fuel Pressure	411	kPa	411	414	3516B Starboard (S2X01173)
Aftercooler Temperature	34	Deg C	33	34	3516B Starboard (S2X01173)
Right Exhaust Temperature	534	Deg C	533	535	3516B Starboard (S2X01173)
Left Exhaust Temperature	548	Deg C	548	548	3516B Starboard (S2X01173)
Right Air Filter Restriction	2,9	kPa	2,9	3,0	3516B Starboard (S2X01173)
Left Air Filter Restriction	2,8	kPa	2,8	2,9	3516B Starboard (S2X01173)

Рисунок 2 – Пример сервисного отчета фирмы "Caterpillar" серии 3516B морского буксира при нагрузке двигателя 72% и 85% от номинальной мощности

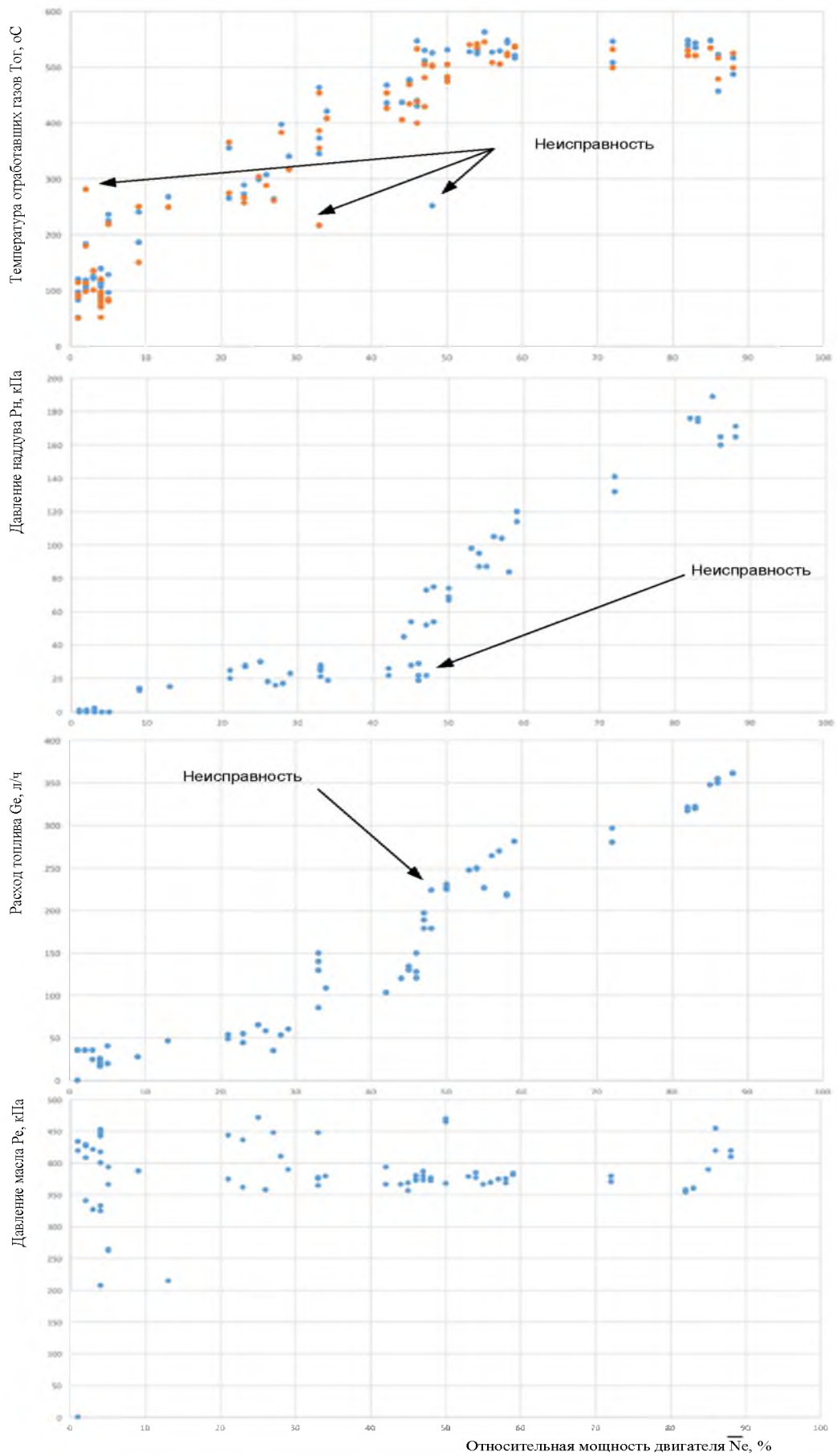


Рисунок 3 – Теплотехнические параметры ВОД фирмы "Caterpillar" серии 3500, установленных в качестве главных двигателей морских судов

Таблица 1 – Настройки БЭУ по температуре в коллекторах отработавших газов двигателя

Параметр	Стандартные настройки и зоны работы		
	А	В и С	Д и Е
Уставка предупреждения	702 °С	728 °С	756 °С
Время задержки предупреждения	0 секунд		
Уставка снижения мощности	702 °С	728 °С	756 °С
Время задержки снижения мощности	0 секунд		
Пошаговая задержка	15 секунд		
Гистерезис	10 °С		
Уровень безопасности	Пароль не требуется		
Снижение мощности	на 2 % за шаг		

Примечание. Если температура отработавших газов превышает уставку – генерируется предупреждение и происходит снижение мощности. На каждом шаге мощность снижается на 2%. После этого происходит задержка в течение 15 секунд. Если температура выхлопных газов не снижается ниже уставки по истечении 15 сек., происходит снижение мощности еще на два процента. Если значение температуры снижается ниже уставки каждые 15 секунд, мощность повышается на 2%.

В связи с этим необходимо разрабатывать методики контроля технического состояния двигателей на основе рекомендаций заводов изготовителей, которые учитывают требования завода изготовителя и требования классификационных обществ.

**Литература**

1. Регистровая книга судов [Электронный ресурс]. - Российский морской регистр судоходства, 2020. – Режим доступа: <http://www.rs-class.org/ru>.
2. Николаев Н.И. Мониторинг вибрационного состояния главных винторулевых колонок с механическим приводом морских судов в эксплуатации / Н.И. Николаев, М.В. Гриценко, А.Б. Каракаев // Морские интеллектуальные технологии.– 2019. – № 1-2 (43).– С. 97-103.
3. Худяков С.А. Диагностирование судовых дизелей/ С.А. Худяков, Б.М. Лапа // Вестник ГМУ имени адм. Ф.Ф. Ушакова.– 2016.– №4 (17).– С. 27-30.
4. Сергеев К.О. Диагностика форсунок высокооборотных судовых дизелей / К.О. Сергеев А.А. Панкратов // Вестник АГТУ.– 2017. –№ 1. – С. 50-58.
5. Соболенко А.Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учетом изменения внешних условий эксплуатации / А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маницын // Вестник АГТУ.– 2017. –№ 3. – С. 62-73.
6. Кучеров В.Н. Качество рабочего процесса, эксплуатация и ресурсные возможности современного вспомогательного дизеля с электронным управлением / В.Н. Кучеров // Вестник АГТУ.– 2019. –№ 3. – С. 63-72.

7. Глазюк Д.К. Обеспечение надежной работы эрготехнической системы: надежность судовой энергетической установки и ее оператора / Д.К. Глазюк, И.В. Герасимова // Вестник АГТУ.– 2019. –№ 3. – С. 73-79.
8. Ефремов Л.В. виброакустические испытания образцов трибосопряжений на износостойкость / Л.В. Ефремов, Л.С. Баева, А.В. Тикалов // Вестник АГТУ.– 2017. –№ 2. – С.69-76.
9. Туркин И.И. Адаптивные многоцелевые системы управления судовыми техническими средствами / И.И. Туркин, Мин Хеин // Вестник АГТУ.– 2017. –№ 1. – С.59-67.
10. Соловьев А.В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации / А.В. Соловьев // Вестник АГТУ.– 2018. –№ 1. – С.87-92.
11. Семенов Д.Н. Виброналадка электромагнитных преобразователей с технологическими дефектами, ограничивающими качество балансировки / Д.Н. Семенов // Вестник АГТУ.– 2017. – № 3. – С.87-94.
12. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Применение нейронных сетей на базе многослойного перцептрона с использованием нечеткой логики для технической диагностики судовых технических средств// Эксплуатация морского транспорта.– 2020.– № 3 (96).– С. 111-119.
13. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Прогнозирование многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования// Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 4-4 (50).– С. 23-27.
14. Епихин А.И., Хекерт Е.В., Модина М.А. Принципы нейроуправления и варианты архитектуры нейронных сетей, применительно к слож-

ной динамической системе СЭУ-СУДНО//Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 4-4 (50).– С. 18-22.

#### Reference

1. Registrovaya kniga sudov [Elektronnyj resurs]. – Rossijskij morskoy registr sudohodstva, 2020. – Rezhim dostupa: <http://www.rs-class.org/ru>.
2. Nikolaev N.I. Monitoring vibracionnogo sostoyaniya glavnyh vintorulevyh kolonok s mehanicheskim privodom morskikh sudov v ekspluatatsii / N.I. Nikolaev, M.V. Gricenko, A.B. Karakaev // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. – № 1-2 (43). s. 97-103.
3. Hudyakov S.A. Diagnostirovanie sudovyh dizelej / S.A. Hudyakov, B.M. Lapa // Vestnik GMU imeni adm. F.F. Ushakova. 2016. №4 (17). S.27-30.
4. Sergeev K.O. Diagnostika forsunok vysokoobrotnyh sudovyh dizelej / K.O. Sergeev A.A. Pankratov // Vestnik AGTU. 2017. –№ 1. – S.50-58.
5. Sobolenko A.N. Opredelenie raskhoda topliva i motornogo masla sudovymi dizelyami s uchetom izmeneniya vneshnih uslovij ekspluatatsii / A.N. Sobolenko, R.R. Simashov, D.K. Glazyuk, V.V. Manicyan // Vestnik AGTU. 2017. –№ 3. – S.62-73.
6. Kucherov V.N. Kachestvo rabocheho processa, ekspluatatsiya i resursnye vozmozhnosti sovremennogo vspomogatel'nogo dizelya s elektronnyim upravleniem / V.N. Kucherov // Vestnik AGTU. 2019. –№ 3. – S.63-72.
7. Glazyuk D.K. Obespechenie nadezhnoj raboty ergatekhnicheskoy sistemy: nadezhnost' sudovoy energeticheskoy ustanovki i ee operatora / D.K. Glazyuk, I.V. Gerasimova // Vestnik AGTU. 2019. –№ 3. – S.73-79.
8. Efremov L.V. vibroakusticheskie ispytaniya obrazcov tribosopryazhenij na iznosostojkost' / L.V. Efremov, L.S. Baeva, A.V. Tikalov // Vestnik AGTU. 2017. –№ 2. – S.69-76.
9. Turkin I.I. Adaptivnye mnogocelevye sistemy upravleniya sudovymi tekhnicheskimi sredstvami / I.I. Turkin, Min Hein // Vestnik AGTU. 2017. – № 1. – S.59-67.
10. Solov'ev A.V. Sistemy monitoringa sudovyh dizelej v ekspluatatsii / A.V. Solov'ev // Vestnik AGTU. 2018. –№ 1. – S.87-92.
11. Semenov D.N. Vibronaladka elektromashinnyh preobrazovatelej s tekhnologicheskimi defektami, ogranichivayushchimi kachestvo balansirovki / D.N. Semenov // Vestnik AGTU. 2017. –№ 3. – S.87-94.
12. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Primenenie nejronnyh setej na baze mnogoslownogo perceptrona s ispol'zovaniem nechetkoj logiki dlya tekhnicheskoy diagnostiki sudovyh tekhnicheskikh sredstv//Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2020. № 3 (96). S. 111-119.
13. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnykh vremennykh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya// Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
14. Epihin A.I., Hekert E.V., Modina M.A. Principy nejroupravleniya i varianty arhitektury nejronnyh setej, primenitel'no k slozhnoj dinamicheskoy sisteme SEU-SUDNO//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 18-22.

УДК 681.215

DOI: 10.34046/aumsuomt97/17

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ СУДОВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

*А.И. Епихин, кандидат технических наук, доцент*

*С.И. Кондратьев, доктор технических наук, профессор*

Опыт эксплуатации судов, а также экологические проблемы, приобретающие особую значимость в настоящее время, свидетельствуют о том, что одним из основных направлений повышения эффективности функционирования судовых энергетических систем является внедрение современных интеллектуальных инструментов и методов мониторинга и диагностики работы оборудования. Цель статьи заключается в рассмотрении возможностей и потенциальных сфер использования методов и инструментов искусственного интеллекта в процессе управления судовыми энергетическими установками. Методологическую базу исследования составляют современные методы, основанные на фундаментальных принципах классической механики и электромеханики, теплопередачи, теории автоматического управления, а также методы математического моделирования, общие приемы и инструменты системного подхода. В процессе исследования проанализированы возможности нейронных сетей и вычислений, вейвлет-преобразований, метода группового учета аргументов в таких сферах управления СЭУ как: прогнозирование мощности установок, вычисление объемного расхода моторного топлива, диагностика отказов лопаток газовых турбин. Полученные результаты позволили прийти к выводу, что основная цель и преимущества использования искусственного интеллекта заключается в стимулировании