

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 mekhanicheskim 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 mnogoslazhnogo 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 mnogomernykh 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

разработки эффективных систем, которые способны в режиме реального времени анализировать состояние СЭУ и прогнозировать возникновение неисправностей, что позволит уменьшить количество отказов в системах и снизить производственные затраты.

Ключевые слова: судно, искусственный интеллект, энергетическая установка, управление, нейронная сеть, эффективность.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, APPLICATION PROSPECTS IN SHIP POWER PLANT MANAGEMENT

A.I. Epikhin, S.I. Kondrat'ev

The operational experience of ships, as well as environmental problems of particular importance, at present, indicate that one of the main directions of increasing the efficiency of functioning of ship's energy systems is the introduction of modern intelligent tools and methods for monitoring and diagnosing equipment operation. The purpose of the article is to consider the possibilities and potential areas of use of methods and tools of artificial intelligence in the process of controlling marine power plants. The research methodological base consists of modern methods based on the fundamental principles of classical mechanics and electromechanics, heat transfer, automatic control theory, as well as methods of mathematical modeling, general techniques and tools of a systematic approach. In the course of the study, the capabilities of neural networks and computations, wavelet transforms, the method of group accounting of arguments in such areas of control of the SEMS as: forecasting the capacity of plants, calculating the volumetric flow rate of motor fuel, diagnostics of failure of gas turbine blades were analyzed. The results allowed us to conclude that the main goal and advantages of using artificial intelligence is to stimulate the development of effective systems that are able to analyze the state of the SEU in real time and predict the occurrence of malfunctions, which will lead to a decrease in the number of failures in the systems and to reduce production costs.

Keywords: ship, artificial intelligence, power plant, control, neural network, efficiency.

Введение. На современном этапе развития энергетики большое внимание уделяется рациональному использованию энергоресурсов и защите окружающей среды от загрязнения. Это связано с истощением энергетических запасов и изменением климатических условий. Основной задачей научных исследований является необходимость эффективного использования энергетических ресурсов с минимальным вредным воздействием на окружающую среду [1].

В настоящее время существующие энергетические установки на водном транспорте, включая современные агрегаты, имеют характеристики, которые далеки от идеальных, например, эффективный коэффициент полезного действия дизельного двигателя внутреннего сгорания (наиболее совершенного из всех тепловых двигателей) составляет около 50%. Это свидетельствует о том факте, что для таких установок характерны значительные потери энергии с вторичными энергоресурсами, которые сопровождаются вредным воздействием на окружающую среду.

Современная судовая энергетическая установка (СЭУ) представляет собой сложный комплекс механизмов, агрегатов и устройств, объединенных системами в единую структуру, призванную обеспечить эффективную, надежную, безаварийную (в том числе с точки зрения экологии) и комфортную эксплуатацию и функционирование судна [2]. В данных обстоятельствах, очевидно, что СЭУ в значительной степени определяет эффективность и безопасность морских перевозок, формирует технико-экономические показатели

работы судна.

Совершенствование СЭУ связано с ростом их экономичности и надежности, а также со снижением массы и габаритов. Это достигается повышением начальных параметров термодинамических циклов, применением регенерации и утилизации теплоты рабочего тела, новых материалов, видов топлива и масла [3]. В тоже время, представители отрасли отмечают, что новые типы двигателей, конструкции и удачные решения появляются один-два раза в десятилетие, в связи с этим промышленность просто не в состоянии быстро адаптироваться к новым требованиям, предъявляемым к судоходству.

В данном контексте одним из вариантов решения задачи оптимизации управления СЭУ, диагностики ее элементов и частей, прогнозирования состояния и проектирования отдельных составляющих является разработка информационной модели установки с использованием методов и инструментов искусственного интеллекта, в частности генетических алгоритмов, нейронных сетей. Роль и значимость искусственного интеллекта в системах управления СЭУ, особенно важна на начальных этапах создания систем мониторинга СЭУ, когда разрабатываются физические и математические модели, проводится обоснование структуры систем, моделей информационных сигналов, определяются расчетные характеристики, параметры системы при выполнении заданных функций.

Таким образом, внедрение современных

информационных технологий поддержки принятия решений и нейронных сетей в процессе управления СЭУ с использованием интеллектуальных систем обработки данных приобретает особую актуальность, теоретическую и практическую значимость, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Постановка задачи. Проблемы повышения энергоэффективности, вызванные дефицитом энергоресурсов и стремлением к улучшению экологических показателей СЭУ, лежат в основе требований, установленных Международной морской организацией.

Исследованию, разработке и прогнозированию методов совершенствования эксплуатационных характеристик СЭУ, повышению эффективности контроля их технического состояния посвящены труды Захарова Ю.В., Селиверстова В.М., Маслова В.В., Марченко А.П., Клименко В.Н., Билека Б.Д., Радченко М.И., Хмельнюка М.Г. и др.

Установление закономерностей изменения параметров технического состояния СЭУ в процессе эксплуатации, анализ методов и средств диагностирования и прогнозирования КПД СЭУ, определения надежности и долговечности их работы входит в круг научных интересов Тимошевского Б.С., Ивановского В.Г., Варбанца Р.А., Рэя Д., Мак-Майкла Д. и других известных ученых и специалистов.

Значительный вклад в разрешение вопросов внедрения современных информационных технологий поддержки принятия решений, связанных с мониторингом и диагностикой сложных технических объектов, внесли: M. Ginzberg, M.J. Druzdzal, N.D. Cuong, В.П. Сурок, В.П. Малайчук, А.И. Михалев, А.П. Приставка, А.Г. Байбуз, Н.С. Прядко и др. Проблематикой развития обработки данных с использованием нейронных сетей и эволюционного моделирования занимались: D.E. Rumelhart, T. Kohonen, J.H. Holland, С.Е. Fahlman, G.A. Carpenter, S. Grossberg, В.Е. Снитюк и другие.

Однако, несмотря на значительное количество исследований в области мониторинга и диагностики технических характеристик СЭУ, использования передовых средств управления ими, существует еще ряд актуальных проблем, которые не нашли своего полного решения на практике.

В частности, отдельно следует отметить фрагментарность исследований в области особенностей и возможностей использования систем нечеткой логики и искусственных нейроподобных

(гибридных) сетей, позволяющих синтезировать системы управления СЭУ, обрабатывать большие массивы информации, и имеющих способность к обучению и адаптации. Дополнительной проработки требуют вопросы, связанные с формированием соответствующего потока информации о техническом обслуживании СЭУ и алгоритмическом обеспечении обработки этих данных.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, **цель статьи** заключается в изучении перспектив внедрения и использования искусственного интеллекта в управлении СЭУ.

Методологическую базу исследования составляют современные методы, основанные на фундаментальных принципах классической механики и электромеханики, теплопередачи, теории автоматического управления и т.п., а также базирующиеся на современных, апробированных методах математического моделирования и общих приемах использования системного подхода ко всем этапам исследования.

Основная часть статьи. Область применения искусственного интеллекта в процессе управления СЭУ имеет огромные перспективы на современных судах любых типов, так как они являются сложным нелинейным объектом, на котором активно внедряются интегрированные системы, позволяющие в комплексе решать задачи управления судовыми техническими средствами и оборудованием. Однако, несмотря на большой интерес к этим технологиям, можно констатировать дефицит научных наработок в данной области. Во многих сложных подсистемах судна, таких как СЭУ, управление осуществляется традиционными методами, в большинстве случаев, не обеспечивая должного качества и надежности.

Традиционные подходы в разработке управленческих решений основаны на ряде теорий таких как - системный анализ, теория игр, теория риска, теория вероятности и т.д. Экспертные системы, лежащие в основе этих методов, имеют ряд недостатков, связанных с невозможностью учитывать опыт, знания и интуицию человека - штурмана, механика, лоцмана, то есть эксперта в данной области [4].

В последнее время широкое применение и актуальность в системах принятия решений получают «интеллектуальные» алгоритмы, нечеткие экспертные системы, которые имитируют рассуждения эксперта в виде словесных или лингвистических предположений, использующие аппарат теории нечетких множеств [5]. По этим причинам можно сделать вывод о том, что в системе

принятия управленческих решений многих судовых автоматизированных подсистем подобные технологии, основанные на нечеткой логике, будут очень актуальны и могут получить широкое распространение.

В данном контексте значительный интерес вызывает анализ перспективных сфер и инструментов использования искусственного интеллекта, которые могут найти свое широкое применение в процессе управления СЭУ.

Обсуждение результатов. Прежде всего, представляется целесообразным обратить внимание на метод группового учета аргументов, являющийся одним из наиболее успешных методов структурно-параметрической идентификации моделей управления сложными техническими объектами в условиях неопределенности. Данный метод отличается применением принципов автоматической генерации вариантов, систематизации

неокончательных решений и последовательной селекцией моделей оптимальной сложности в соответствии с внешними критериями [6].

По мнению автора, данный метод может использоваться для прогнозирования мощности СЭУ на основе таких входных параметров, как температура горячей рабочей жидкости, давление и топливо. Для оптимизации структуры сети могут применяться генетические алгоритмы. Экспериментальные опыты использования данного подхода демонстрируют высокий уровень его надежности, производительности и устойчивости.

На рисунке 1 представлены результаты компьютерного эксперимента, выполненные с помощью программы Manlab (Simulink), в рамках которого сравнивалась эффективность метода группового учета аргументов и типовых формульных методов настроек систем управления мощностью СЭУ.

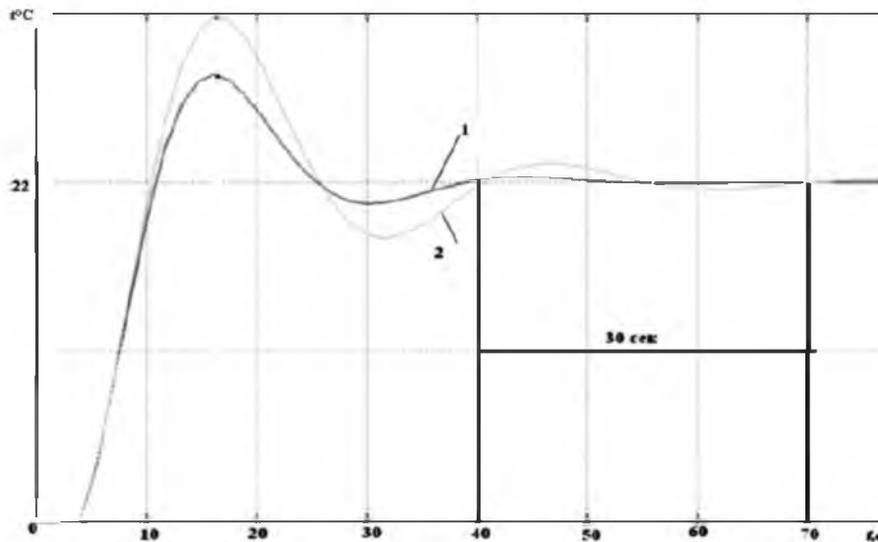


Рисунок 1 - Переходные процессы: 1 - метод группового учета аргументов; 2 – формульный метод [7]

Как видно из рис. 1, метод группового учета аргументов позволяет уменьшить время регулирования на 30 секунда по сравнению с формульным методом, что в эксплуатационных условиях способствует экономии энергоресурсов при работе исполнительных механизмов СЭУ. Также перерегулирование при использовании нечеткого и формульного подходов составляет соответственно $g^H=23\%$, $g^f=33,3\%$.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что использование гибридной интеллектуальной системы регулирования позволяет повысить эффективность судового контура управления СЭУ в целом.

Еще одной перспективной сферой применения инструментов искусственного интеллекта является вычисление объемного расхода моторного топлива с использованием искусственной

нейронной сети и нейропроцессора в составе цифровой ЭВМ.

Представляется, что искусственные нейронные сети в данном случае могут составлять основу термоанемометрического расходомера, который может обеспечить автоматизированное измерение расхода потребляемого топлива с большей точностью и быстродействием в отличие от известных расходомеров, результаты измерений которых обрабатываются вручную.

Разработка теории и принципов использования нейронных сетей при построении аппаратно-программного комплекса, контролирующего расходы топлива СЭУ, позволит проводить автоматизированные измерения в любых климатических и рабочих условиях. Кроме того, интенсификация фундаментальных исследований тем-

пературного поля в потоке топлива с использованием новых алгоритмических методов и аппарата искусственных нейронных сетей, даст возможность обосновать новые теории и методы для дальнейшей их реализации в современном энергосберегающем высокоточном расходомере с расширенными функциональными возможностями.

Значительных успехов в использовании методов искусственного интеллекта в различных сферах управления энергетическими системами добились китайские ученые.

Так, например, они предлагают использовать методы искусственного интеллекта, в частности, нейронные вычисления и вейвлет-преобразования для решения сложной проблемы диагностики отказов лопаток газовых турбин [8]. Основанное на нейронной сети выявление неисправностей рассматривается как проблема распознавания образов, с использованием различных средств и результатов измерений. Ученые делают акцент на проекте соответствующей архитектуры нейронной сети и выборе наиболее приемлемых измерительных приборов, которые позволят достичь высокой степени распознавания состояний турбины и их обобщения.

В процессе проведенных экспериментов были смоделированы один положительный и десять дефектных машинных состояний газовой турбины судна, для того, чтобы создать всеобъемлющий и реалистичный набор данных, который может использоваться для обучения и тестирования нейронной сети. После завершения процесса обучения, нейросеть будет способна провести диагностику состояния газовой турбины по новым данным, которые не использовались во время обучения.

В рамках испытаний, данные, которые были представлены нейронной сетью, включали только параметры, которые фактически отражают особенности работы реальных двигателей. Результаты, полученные в этом исследовании, позволили установить, что основанная на нейросетях система диагностирования отказов лопаток газовых турбин способна идентифицировать и выделить ошибку с высокой вероятностью успеха. Кроме того, разработанная система также способна идентифицировать широкий спектр различных типов дефектов на ранней стадии, прежде чем они будут полностью развиты и станут очевидными.

Смоделированы дефектные условия соответствовали следующим критериям:

– условия их возникновения реалистичны и

встречаются при эксплуатации судовых газотурбинных двигателей;

– отказы распространяются на главные компоненты двигателя, то есть компрессор, камеру сгорания и турбину;

– отказами могут быть обычное ухудшение работы механизма, а также его поломка;

– ошибки могут фактически быть смоделированы с помощью доступных инструментальных средств и реалистичным способом.

В результате проведенных экспериментов ученые пришли к выводу, что нейронные сети позволяют успешно определять, как единичные отказы, такие как загрязнение компрессора, эрозию турбины компрессора и т.п., так и отказы, вызванные несколькими факторами.

Выводы и заключение. Использование и активное внедрение средств и методов искусственного интеллекта в управленческий контур СЭУ имеет высокую актуальность и практическую значимость. Основная цель и преимущество использования искусственного интеллекта заключается в стимулировании разработки эффективных систем, которые могли бы в режиме реального времени анализировать состояние СЭУ и прогнозировать возникновение неисправностей ее элементов. Это позволит перейти от планового обслуживания оборудования к обслуживанию по состоянию, что в свою очередь приведет к уменьшению количества отказов в системах, а также будет способствовать сокращению производственных затрат.

Имитационные эксперименты управления СЭУ с использованием нейронных сетей и вычислений, вейвлет-преобразований продемонстрировали их эффективность по сравнению с традиционными методами в плане достижения лучших показателей качества процессов эксплуатации и обслуживания оборудования.

Литература

1. Туркин А.В., Туркин В.А., Атласов Р.Ю. Система оптимизации выбросов вредных веществ судовыми энергетическими установками // Морские интеллектуальные технологии. - 2019. - №1-2(43). - С. 63-70.
2. Сметух Н.П., Черный С.Г., Ениватов В.В., Бордог А.С. Скалярное многофакторное оценивание диагностических характеристик судовых энергетических систем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2019. - №12(557). - С. 15-19.
3. Доровской В.А., Черный С.Г., Бордог А.С. Компараторная идентификация частотных характеристик систем автоматического управле-

- ния судовой энергетической установки // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2020. - №1(45). - С. 47-57.
4. Соловьев А.В. О цифровых технологиях на флоте // Речной транспорт (XXI век). - 2020. - №1(93). - С. 43-44.
 5. Fuzzy logic method for ship energy efficiency / Kai Wang, Dr. Xinpeng Yan, and Dr. Yupeng Yuan (Wuhan University of Technology) discuss the fuzzy logic method and its ability to determine optimal engine speed. *Sea technology*. 2015/ Volume 56: 11, 45-46.
 6. Колпаков В.Е. Перспективы использования нейронных сетей для управления системой самодиагностики судовой энергетической установки // В сборнике: Материалы конференции «Управление в морских системах». – 2018. – С. 41-47.
 7. Bal Beşikçi, E. et al. An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations // *Computers & operations research*. 2016. Volume 66; pp 393-401.
 8. Monti, Antonello (2014) Fault Detection and Classification in Medium Voltage DC Shipboard Power Systems With Wavelets and Artificial Neural Networks. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. Volume 63: Number 11; pp 2651-2665.
 9. Кондратьев С.И., Студеникин Д.Е., Джавукцян М.Л., Глимбоцкий В.В. Способ и система контроля местоположения судна с помощью нечеткой логики. Патент на изобретение RU 2678762 C1, 31.01.2019. Заявка № 2018105412 от 13.02.2018.
 10. Studenikin D.E., Kondratev S.I., Javuksyan M.L. Some aspects of vessel's movement in congested waters analysis for preliminary route planning // *Эксплуатация морского транспорта*. – 2019. – № 3 (92). – С. 30-34.
 11. Боран-Кешишьян А.Л., Астреин В.В., Кондратьев С.И. Формализация общей стратегии принятия решений для достижения комплексной безопасности судна // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2019. – № 1-2 (43). – С. 127-131.
 12. Студеникин Д.Е., Бован С.Д., Хекерт Е.В., Модина М.А. Использование нейронных сетей для организации визуального наблюдения // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2019. – № 4-3 (46). – С. 91-95.
 13. Antonov A.A., Studenikin D.E., Khekert E.V., Bidenko S.I. Clustering of environment in the decision support system for the preliminary plotting // *Морские интеллектуальные технологии*. 2018. № 4-2 (42). С. 145-149.

REFERENCES

1. Turkin A.V., Turkin V.A., Atlasov R.Ju. (2019) Sistema optimizacii vybrosov vrednyh veshhestv sudovymi jenergeticheskimi ustanovkami. *Morskie intellektual'nye tehnologii*. 1-2(43), 63-70.
2. Smetyukh N.P., Chernyy S.G., Enivatov V.V., Bordyug A.S. (2019) Skalyarnoye mnogofaktornoye otsenivaniye diagnosticheskikh kharakteristik sudovykh energeticheskikh system. *Avtomatizatsiya. telemekhanizatsiya i svyaz v neftyanoy promyshlennosti*. 12(557), 15-19.
3. Dorovskoy V.A., Chernyy S.G., Bordyug A.S. (2020) Komparatornaya identifikatsiya chastotnykh kharakteristik sistem avtomaticheskogo upravleniya sudovoy energeticheskoy ustanovki. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskiye i infokommunikatsionnyye sistemy*. 1(45), 47-57.
4. Solovev A.V. (2020) O cifrovyyh tehnologiyah na flote/ *Rechnoj transport (XXI vek)*. 1(93), 43-44.
5. Fuzzy logic method for ship energy efficiency / Kai Wang, Dr. Xinpeng Yan, and Dr. Yupeng Yuan (Wuhan University of Technology) discuss the fuzzy logic method and its ability to determine optimal engine speed. *Sea technology*. 2015/ Volume 56: 11, 45-46.
6. Kolpakov V.E. (2018) Perspektivy ispol'zovaniya nejronnyh setej dlja upravleniya sistemoy samodiagnostiki sudovoy jenergeticheskoy ustanovki. *V sbornike: Materialy konferencii «Upravlenie v morskikh sistemah»*, 41-47.
7. Bal Beşikçi, E. et al. (2016) An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. *Computers & operations research*. Volume 66, 393-401.
8. Yan, Xinpeng; Sun, Xing; Yin, Qizhi (2015) Multiparameter Sensitivity Analysis of Operational Energy Efficiency for Inland River Ships Based on Backpropagation Neural Network Method. *Marine Technology Society journal*. Volume 49, 1, 148-153.
9. Kondrat'ev S.I., Studenikin D.E., Dzhavukcyan M.L., Glimbockij V.V. Sposob i sistema kontrolya mestopolozheniya sudna s pomoshch'yu nechetkoj logiki. Patent na izobretenie RU 2678762 C1, 31.01.2019. Zayavka № 2018105412 от 13.02.2018.
10. Studenikin D.E., Kondratev S.I., Javuksyan M.L. Some aspects of vessel's movement in congested waters analysis for preliminary route planning // *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. 2019. № 3 (92). S. 30-34.
11. Boran-Keshish'yan A.L., Astrein V.V., Kondrat'ev S.I. Formalizatsiya obshchej strategii prinyatiya reshenij dlya dostizheniya kompleksnoj bezopasnosti sudna // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2019. № 1-2 (43). S. 127-131.
10. Studenikin D.E., Bovan S.D., Hekert E.V., Modina M.A. Ispol'zovanie nejronnyh setej dlya organizacii

vizual'nogo nablyudeniya//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4-3 (46). S. 91-95.

11. Antonov A.A., Studenikin D.E., Khekert E.V., Bidenko S.I. Clustering of environment in the deci-

sion support system for the preliminary plotting//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 4-2 (42). S. 145-149.

УДК 504+551. 465

DOI: 10.34046/aumsuomt97/18

РАСТВОРЕННЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ И ИХ ИСТОЧНИКИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ У ГЕРАКЛЕЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)

П.Д. Ломакин, доктор географических наук, профессор.

На основе данных пяти экспедиций, проведенных Морским гидрофизическим институтом, Институтом биологии южных морей и Институтом природно-технических систем (г. Севастополь) в 2004-2019 гг., выявлены источники, проанализированы пути распространения и структура полей концентрации растворенных нефтепродуктов у северного берега Гераклейского полуострова. Показано, что основные источники, загрязняющие рассмотренную акваторию растворенными нефтепродуктами, связаны с функционированием нефтяного терминала на мысе Манганари, Севастопольского морского рыбного порта в Камышовой бухте, и с эксплуатацией маломерного флота в бухте Омега. Влияние нефтяного терминала прослежено в бухтах Казачья, Камышовая, Абрамова.

Ключевые слова: растворенные нефтепродукты, загрязнение, структура вод, течения, Гераклейский полуостров, Черное море.

DISSOLVED OIL PRODUCTS AND THEIR SOURCES IN THE COASTAL WATERS OF THE HERACLES PENINSULA (BLACK SEA, CRIMEA)

P.D. Lomakin

Based on the data of five expeditions carried on by the Marine Hydrophysical Institute, the Institute of Biology of the Southern Seas and the Institute of Natural and Technical Systems (Sevastopol) in 2004-2019, sources, the pathways and structure of the concentration fields of dissolved oil products in bays near the northern coast Heracles Peninsula are analyzed. It is shown that the main sources that pollute the considered water area with dissolved oil products are due to the operation of the oil terminal at Cape Manganari, the Sevastopol Sea fishing port in Kamyshovaya Bay, and with the operation of a small fleet in the Omega Bay. The influence of the oil terminal is traced in the bays of Kazachya, Kamyshovaya, and Abramova.

Key words: dissolved oil products, pollution, water structure, currents, Heracles Peninsula, Black Sea.

ВВЕДЕНИЕ

Нефтепродукты относятся к числу распространенных и опасных веществ, загрязняющих воды океанов и морей. Попавшая в воду нефть и продукты ее переработки со временем растворяются. Растворенная фракция нефтепродуктов токсична. Ее составляющие обладают канцерогенными свойствами и оказывают серьезное негативное воздействие на окружающую среду. Эти вещества накапливаются в тканях рыб и представляют собой реальную угрозу для здоровья человека. Поэтому контроль полей концентрации растворенных нефтепродуктов (РН) представляет собой актуальное направление исследований в рамках экологического мониторинга прибрежных вод [1].

В предлагаемой статье проанализированы источники РН, траектории распространения и поля концентрации этой величины в четырех бухтах Казачья, Камышовая, Абрамова, Омега (другое наименование Круглая), которые расположены вдоль северного берега Гераклейского полуострова. В рамках рассматриваемой задачи выбранный регион интересен, например, тем, что в бухтах Казачья, Абрамова и Омега находятся городские пляжи, а на смежной с бухтами акватории севастопольского взморья в течение всего года ведется рыбный промысел и любительский лов (рис. 1).