

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1068-1077

MECHANISM OF NEGATIVE ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF SHIP'S POWER PLANTS COOLING SYSTEMS

K. Yu. Fedorovsky¹, N. K. Fedorovskaya¹, V. V. Enivatov²

¹ — Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

² — Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russian Federation

The largest amount of zoo- and phytoplankton, fish eggs and fish fry inhabit the upper sea layers, usually the shelf area. Therefore, the influence of ship's cooling system on the marine biodiversity is considered. The intake of cooling sea water by ships and other marine technical objects occurs at a depth of about 10 m, the area where a great number of fish fry and fish eggs is concentrated. Thus, it has been shown that the plankton that gets to the cooling system during the intake of cooling sea water dies. An open-loop cooling system sucks in with outboard water these organisms, which, passing through filters, pipelines, fittings, etc., mostly perish under the mechanical and thermal influence. Existing filters and fish protection devices do not prevent this extermination; as a result, the biological productivity of seas decreases. In the paper the ways of solving this problem are proposed. The issues related to the implementation of the closed-loop cooling systems for power plants of the marine technical installations operating without consumption of outboard cooling water are considered. The implementation of such systems ensures high reliability and environmentally safe operation. Based on the results of the research, the examples of practical implementation of such systems are given. The issue related to the use of gas-liquid intensification of heat removal from sea water for closed-loop cooling systems of ship power plants is considered.

Keywords: cooling system, power plant, plankton, anthropogenic impact.

For citation:

Fedorovskiy, Konstantin Yu., Nadezhda K. Fedorovskaya, and Valeriy V. Yenivatov. "Mechanism of negative anthropogenic influence of ship's power plants cooling systems." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1068–1077. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1068-1077.

УДК 629.5.03–8

МЕХАНИЗМ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СЭУ

К. Ю. Федоровский¹, Н. К. Федоровская¹, В. В. Ениватов²

¹ — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

г. Севастополь, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

г. Керчь, Российская Федерация

Рассмотрен механизм влияния системы охлаждения судна на биологические ресурсы морей, поскольку наибольшее количество зоо- и фитопланктона, икринок и рыбной молоди находится в верхних слоях морей, обычно в шельфовой зоне. Определено, что наносимый экологический урон напрямую зависит от количества принимаемой забортной воды. Показано, что происходит уничтожение планктона, попавшего в систему охлаждения с приемом охлаждающей морской воды судами и другими морскими техническими объектами, осуществляется с глубин до 10 м, что соответствует зоне максимального сосредоточения рыбной молоди и икринок. Разомкнутая система охлаждения засасывает эти организмы, которые, проходя через фильтры, трубопроводы, арматуру и т. д., в большинстве своем погибают под воздействием механического и теплового факторов. При этом существующие фильтры и рыбозащитные

устройства не препятствуют этому уничтожению, в результате снижается биологическая продуктивность морей. Предложены пути решения проблемы: необходимость совершенствования рыбозащитных устройств либо применение принципиально иных схем систем охлаждения. Рассмотрены вопросы внедрения замкнутых систем охлаждения энергетических установок морских технических средств, работающих без приема забортной охлаждающей воды, что обеспечивает высокую надежность и экологическую безопасность эксплуатации. Приводятся примеры внедрения таких систем в практику, на базе результатов проведенных исследований. Для замкнутых систем охлаждения определены неблагоприятные условия эксплуатации, сдерживающие широкое применение таких систем в практике современного судостроения. В связи с этим в работе предложено применение газожидкостной интенсификации теплоотвода забортной воде для замкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок.

Ключевые слова: система охлаждения, энергетическая установка, планктон, антропогенное воздействие.

Для цитирования:

Федоровский К. Ю. Механизм отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения СЭУ / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская, В. В. Ениватов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 6. — С. 1068–1077. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1068-1077.

Введение (Introduction)

Современные тенденции при проектировании и эксплуатации объектов морской инфраструктуры направлены на снижение отрицательного воздействия на морскую среду. Наряду с факторами, регламентируемыми международными нормативными документами, такими как загрязнение нефтепродуктами и отработавшими газами с судов, следует учитывать и другие механизмы отрицательного антропогенного воздействия, связанными с работой энергетических установок.

В настоящее время наибольшее распространение получили дизельные энергетические установки. Как известно, около 30 % подведенной с топливом теплоты отводится в забортную воду системой охлаждения. Данные системы состоят из двух контуров: пресной воды и забортной воды. Энергетическое оборудование охлаждается непосредственно пресной водой, которая, в свою очередь, в специальном теплообменном аппарате отдает теплоту забортной воде. Для судов, находящихся в течение длительного времени вдали от берега, эти системы обеспечивают достаточно высокую эффективность работы. Однако имеется сравнительно большая группа морских объектов, суда технического флота, морские буровые платформы и т. д., для которых прием забортной охлаждающей воды является нежелательным. Разомкнутые системы охлаждения оказывают существенный экологический ущерб водным ресурсам морей, где осуществляется эксплуатация морского технического средства.

Для решения проблемы снижения отрицательного влияния со стороны систем охлаждения на морскую среду следует определить механизм воздействия на биоресурсы и нанесение экологического ущерба, а также факторы, влияющие на его интенсивность в совокупности с обеспечением надежной и эффективной работы судовых энергетических установок.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для своей работы система охлаждения потребляет забортную охлаждающую воду, количество потребляемой воды зависит от мощности судовой энергетической установки (СЭУ) и во многих случаях является весьма значительным (табл. 1).

Таблица 1

Примеры потребления забортной морской воды

Объект	Потребление морской воды, м ³ /ч
Морская платформа ЛСП-1	1600 (номинальное) 2000...2400 (максимальное)
Морской платформы пр. 10170	400...800
Рефрижераторное судно Zenit	460
Многоцелевое судно Амке	160

В связи с необходимостью приема забортной воды в процессе эксплуатации морских технических средств с разомкнутой системой охлаждения СЭУ в прибрежной зоне наносится экологический ущерб окружающей среде. Известно, что 55...90 % планктона находятся в верхних слоях моря на глубинах до 50 м. Используемая судном забортная охлаждающая вода забирается насосами с глубин 10...20 м и потому содержит большое количество планктона. Вода вместе с планктоном проходит через различные элементы системы охлаждения и сбрасывается за борт.

В работах [1], [2] определено, что если используется сетчатый фильтр с отверстием менее 1 мм, то это приводит к засорению таких отверстий планктоном и др. Это, в свою очередь, может прекратить циркуляцию забортной воды, следствием чего может являться аварийная ситуация, связанная с остановкой СЭУ. С целью обеспечения надежности при эксплуатации на морских объектах используются фильтры с размерами отверстий 2...4 мм, что не предотвращает попадание планктона и икринок в систему охлаждения. В табл. 2 приведены параметры фильтров забортной воды, которые в настоящее время широко применяются на судах и приемных сооружениях других объектов морской инфраструктуры.

Таблица 2

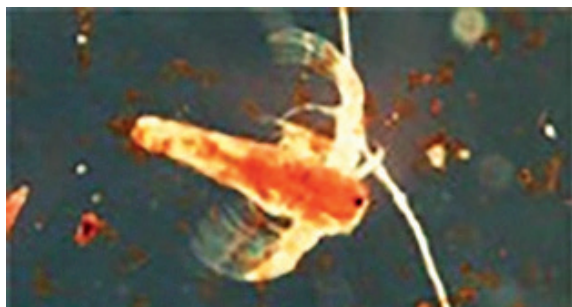
Параметры фильтров забортной воды

Тип	Тонкость очистки, мм	D_y , мм	Источник
Фланцевые сетчатые одинарные однопатронные	0,3...2,5	40...350	[1]
Фланцевые щелевые пластинчатые	2	80...200	
Фланцевые проходные сетчатые	0,3...4,55	40...350	[2]
	5	25...600	[3]

В морях и континентальных водоемах формируется пищевая цепочка, основным базовым элементом которой является планктон. Соответственно, если происходит уничтожение планктона, то указанная цепочка разрушается, что неизбежно приводит, в конечном счете, к снижению рыбной продуктивности моря или континентального водоема. Размеры планктона чрезвычайно малы. Мельчайшие планктонные организмы не превышают по длине нескольких микрон. Имеются организмы и большего размера. Размер икринок обычно составляет 1...2 мм. Длина только что вылупившихся личинок в несколько раз превышает размер икринок [3]. Примерно за неделю личинка увеличивает свою длину в два раза. При этом ее толщина мало отличается от размера проходных отверстий фильтров. По мере роста, примерно через месяц, личинки начинают более интенсивно двигаться и противодействовать потоку воды, скоростью 0,1...0,2 м/с, что соответствует примерно скорости всасывания забортной охлаждающей воды.

В работе [4] установлено, что центробежные насосы в наибольшей степени, по сравнению с другими элементами систем охлаждения, негативно воздействуют на планктон. Вращающаяся с большой скоростью крыльчатка такого насоса за счет механического воздействия уничтожает значительную часть планктона.

а)



б)

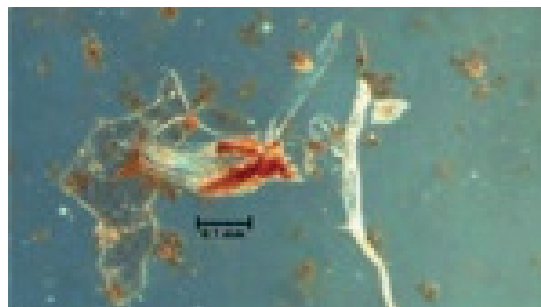


Рис. 1. Зоопланктон до поступления в систему (а) и после ее прохождения (б)

Проблеме отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения уделяется большое внимание при создании тепловых электростанций. Особенно актуальным этот вопрос является для объектов, расположенных на берегу моря или континентального водоема. Так, проведенные исследования [5] показали, что в системе охлаждения погибает 70...90 % зоопланктона. Известны случаи, когда этот показатель достигает 100 %. Интересные оценки, выполненные специалистами размещенной на побережье Англии электростанции Sizewell. По имеющимся данным [6], вследствие указанного фактора, за год гибнет около $2 \cdot 10^{10}$ икринок рыб и примерно $4,9 \cdot 10^7$ мальков.

Совершенно очевидно, что гибель планктона решающим образом влияет на падение продуктивности морей и континентальных водоемов. Очень показательным является следующий пример. В конце 80-х — начале 90-х гг. в Черное море судами был занесен гребневик мнемииopsis. Обычным ареалом его обитания является побережье северной Америки. Скорость размножения данного организма огромна. При благоприятных условиях количество мнемииопсиса может удваиваться за двое-трое суток. Пищей для данного организма является планктон, икринки и личинки рыб. Вследствие интенсивного размножения данного организма произошло существенное снижение количества планктона (рис. 2) и, как следствие, количества рыб. Представленные в источнике [7] данные показывают, что вылов ставриды снизился в 35...40 раз. В Азовском море, куда также попал гребневик, количество тюльки уменьшилось в 400 раз. В дальнейшем ситуация изменилась вследствие того, что в указанных морях появился гребневик берое (*veroeovata*), который интенсивно питался мнемииопсисом. В результате количество последнего уменьшилось, что создало предпосылки для восстановления рыбной продуктивности морей.

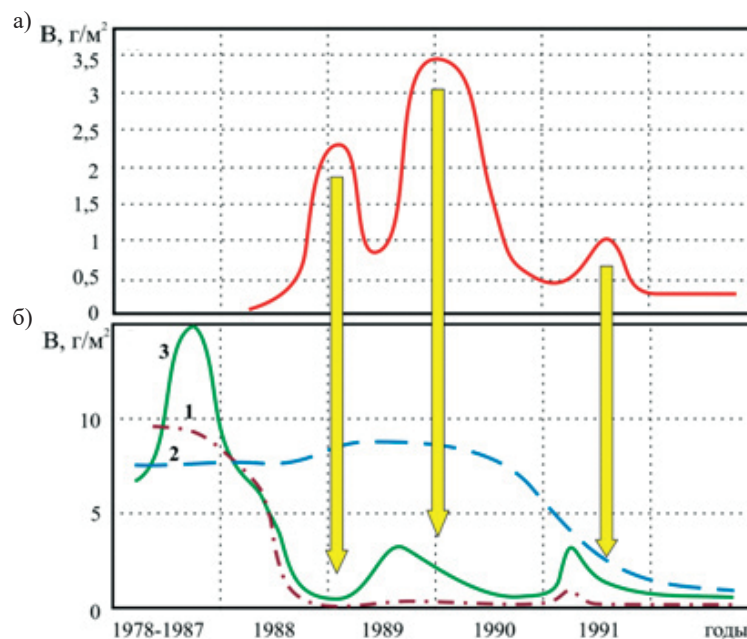


Рис. 2. Изменение биомассы мнемииопсиса (а) и планктона (б) по годам:
 1 — саггиты; 2 — веслоногий рачок; 3 — мелкие рачки и личинки донных животных

Проведенные исследования [8], [9] указали на крайне отрицательное антропогенное воздействие систем охлаждения. Уничтожаются миллиарды рыб и наблюдается биодеградация экосистем морей и континентальных водоемов. Весьма показательным является факт снижения почти в 3 раза запасов рыбы в районе расположения Калининской тепловой электростанции [5], [9].

Центральным конструкторским бюро «Коралл» была спроектирована буровая платформа пр. 10170. При выполнении этого проекта специалисты ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского» выполнили оценку экологического ущерба вследствие работы системы охлаждения СЭУ. В результате было определено, что только в течение летнего периода эксплуатации системы охлаждения уничтожается около 200 т промысловых видов рыб.

Государственной экологической экспертизой Российской Федерации разработаны в настоящее время требования по установке рыбозащитных устройств (РЗУ) для морских разведочных и нефтегазодобывающих платформ. В качестве примера буровая установка «Исполин» (рис. 3) оснащена РЗУ в количестве пяти экземпляров (рис. 4), размещенными перед насосными агрегатами.



Рис. 3. Морская буровая установка «Исполин»

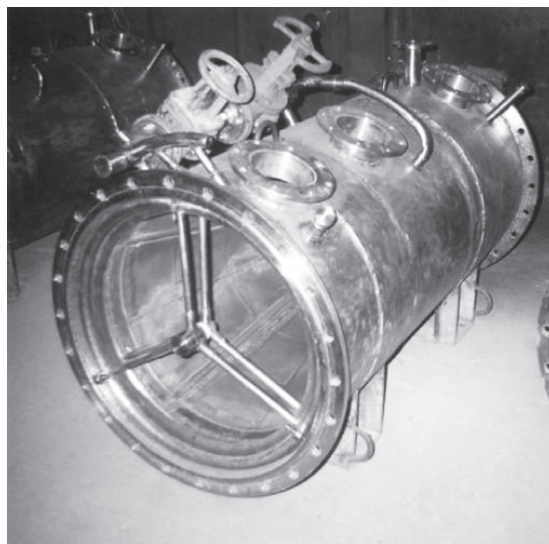


Рис. 4. Рыбозащитное устройство типа «конусная сетка»

Морская платформа ЛСП-1 (рис. 5) оснащена РЗУ жалюзийного типа с потокообразователем (рис. 6).



Рис. 5. Морская платформа ЛСП-1

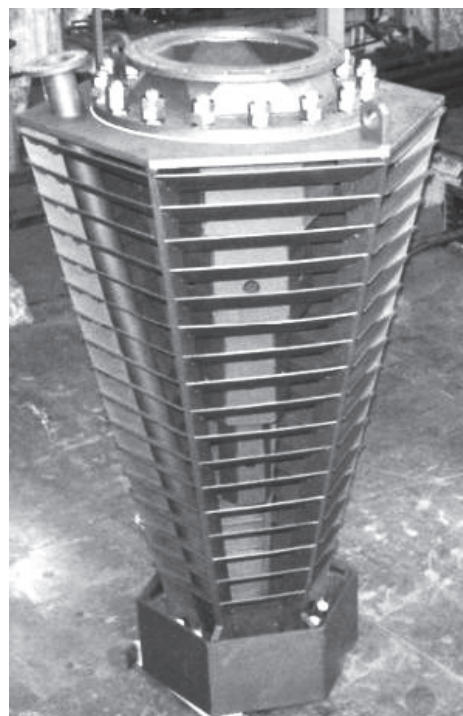


Рис. 6. Рыбозащитное устройство жалюзийного типа с потокообразователем

В источнике [2] представлены данные, касающиеся эффективности РЗУ (рис. 7). Наглядно видно, что эти устройства являются эффективными (70 % и более) лишь для рыб размером более 8...15 мм.

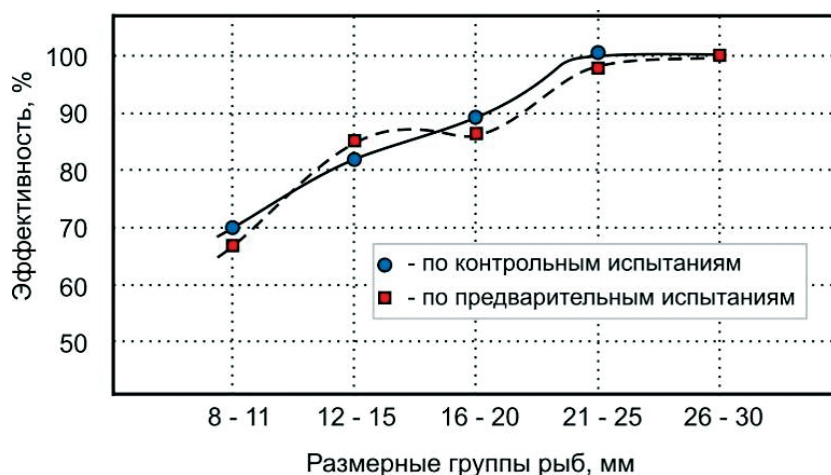


Рис. 7. Эффективность сетчатых рыбозащитных устройств

В табл. 3 приведены сводные данные по эффективности существующих РЗУ [10].

Таблица 3

Эффективность рыбозащитных устройств

Тип рыбозащитного устройства	Размеры защищаемой молоди рыб, мм (при различных вариантах изготовления)	Эффективность, %	
		без учета выживаемости рыб	с учетом выживаемости рыб
Плоская сетка с рыбоотводом	8...25; 70...116	10,4...12,8; 60...70	0...1,1
Струереактивный барабан (СРЗ)	–	35,0...69,0	10,0...20,0
Сетчатый барабан (ЦСРЗ)	18–20	17,5...60,0	–
Сетчатый конус	–	2,9...44,8	–
ARS	До 15; 16...20; 21...25	87,1...99,1; 92,1...94,9; 83,7...85,7	85,0...97,0; 90,0...93,0; 82,0...84,0
Лопастной барабан БЛР-500	До 15; 16...20; 21...25	78,9...80,4; 81,1...82,3; 83,2...86,1	77,0...79,0; 79,0...81,0; 82,0...85,0;
Жалюзи	Годовалые личинки	20...75; 85...95	–
Порозластовый фильтр	7...10	61...100	20...85
Вихревой сепаратор	12...25	76...82	–
Поликонтрактная система «ПИРС»	5...70	74,3...90,6	–
Жалюзи с гидросмывом	6...45	92,5	–

В отношении планктона, который в своем абсолютном большинстве имеет существенно меньшие размеры, данные устройства неэффективны. Необходим поиск новых решений. В идеале,

следовало бы отказаться полностью от приема забортной охлаждающей воды и перейти к замкнутым системам охлаждения.

Обсуждение (Discussion)

Особенностью замкнутых систем охлаждения является отказ от приема забортной воды в систему, а по замкнутому контуру циркулирует специально подготовленная пресная вода [11]–[13]. Использование замкнутых систем охлаждения, исключающих прием забортной коррозионно-активной охлаждающей воды, повышает надежность, эффективность и экологическую безопасность энергетических установок судов. Однако полная реализация данного решения лимитирована практически достигаемым пределом отвода теплоты, что ограничивает возможность его применения судами с малой энерговооруженностью. В этом перспективном направлении следует разрабатывать методы повышения эффективности теплопередачи. Подача сжатого газа на обшивку корпуса судна является довольно распространенным способом решения круга задач по улучшению его мореходных качеств. С целью снижения сопротивления движения судна на подводную часть корпуса судна подается сжатый воздух. Весьма перспективным методом является использование газожидкостных струй, позволяющий увеличить коэффициент теплоотдачи в 15...20 раз по сравнению со случаем теплоотдачи при свободной конвекции (нахождение судна в неподвижной воде) [14]. Использование газожидкостной интенсификации теплоотдачи от теплообменных аппаратов замкнутых систем охлаждения СЭУ технического флота является достаточно эффективным с точки зрения снижения массогабаритных характеристик теплообменного оборудования, входящих в системы охлаждения энергоустановок.

Для судов с большой энерговооруженностью, а, следовательно, и с большим теплоотводом, полный переход на замкнутые системы охлаждения практически невозможен. При этом необходимо искать способы снижения приема забортной воды. Обычно система охлаждения рассчитана на максимальную температуру забортной воды 32 °С и комплектуется насосом соответствующей производительности с электродвигателем постоянной частоты вращения. При нахождении судна в акватории с более низкой температурой можно снизить прием забортной охлаждающей воды, что приведет к снижению отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения. Последнее может быть достигнуто за счет терморегулирования (перепуска) контура забортной воды и изменения частоты вращения привода насоса (например, за счет частотно-регулируемого привода).

Снизить потребление забортной воды можно уменьшением теплоотвода за счет утилизации теплоты, отводимой системой охлаждения. Кроме того, наибольшей биологической продуктивностью обладают прибрежные мелководные районы морей. Поэтому проблема наиболее актуальна для судов, находящихся в течение длительного времени в таких районах. Глубоководные акватории имеют меньшую концентрацию планктона и потому негативное воздействие систем охлаждения в таких условиях снижается.

Заключение (Conclusion)

Таким образом, актуальной проблемой в современном судостроении является совершенствование энергетических установок судов, связанное с повышением надежности, эффективности и экологической безопасности эксплуатации. Существуют практически достижимые возможности снижения антропогенного воздействия систем охлаждения. Выбор того или иного способа достижения данной цели требует всестороннего анализа таких факторов, как назначение судна, его энерговооруженность, планируемый район эксплуатации и т. д.

Очевидным является тот факт, что механическая фильтрация является малоэффективным способом предотвращения нанесения экологического ущерба морской среде, а применение технически сложных рыбозащитных устройств не обеспечивает эффективность в отношении планктона.

Следовательно, снижение отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения СЭУ может быть обеспечено выбором принципиально иных схем работы, а именно внедрением в практику судостроения замкнутых систем охлаждения. Это позволит не только исключить механизм физического уничтожения биоресурсов и зоо- и фитопланктона, но и повысить надежность, а также снизить эксплуатационные затраты систем охлаждения.

Наряду с решением экологического аспекта внедрение замкнутых систем охлаждения с научно обоснованным выбором устройств теплоотвода позволит эффективно использовать теплоотводящие площади, улучшить энергетические характеристики СЭУ. Более широкое применение надежных и экологически безопасных замкнутых систем охлаждения энергетических установок требует также дальнейшего исследования путей возможного снижения теплового загрязнения, особенно эта проблема актуальна для внутренних вод и мелководья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев Г. В.* Особенности очистки отработавших газов судовых энергетических установок в пористых проницаемых каталитических материалах / Г. В. Медведев, Н. Н. Горлова // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2020. — № 3 (393). — С. 45–53. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-3-393-45-53.
2. *Ващинников А. Е.* Новые направления в разработке сетчатых рыбозащитных устройств / А. Е. Ващинников, А. А. Васильев, К. В. Илюшин, В. Д. Шульгин // Материалы докладов 4-й Всерос. конф. с междунар. участием. — Борок: Акварос, 2010. — С. 9–13.
3. *Vidic R. D.* A solution to water crisis in energy production: feasibility of using impaired waters for coal-fired power plant cooling / R. D. Vidic, Li H., S. H. Chien, J. D. Monnell, D. Dzombak, M. K. Hsieh // 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference 2010, PCC 2010. — 2010. — Pp. 362–378.
4. *Дмитриев Б. Ф.* Компенсация неактивной мощности в судовых электроэнергетических системах / Б. Ф. Дмитриев, С. Я. Галушин, А. Н. Калмыков, М. А. Максимова // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 3–2 (45). — С. 127–134.
5. *Sosnovsky L. A.* Crack growth resistance of steel of the main circulating pipeline of nuclear power plant cooling contour / L. A. Sosnovsky, A. V. Bogdanovich, S. S. Shcherbakov // 19th European Conference on Fracture: Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety, ECF 2012. — 2012. — Pp. 1612–1617.
6. *Speight M. R.* Marine Ecology: Concepts and Applications / M. R. Speight, P. A. Henderson. — John Wiley & Sons, 2013. — 272 p.
7. Пат. 2599218 Российская Федерация, МПК F25B 5/02, F25B 49/02. Охлаждающий контур, установка для осушки газа охлаждением и способ управления охлаждающим контуром / Ф. К. Балтюз; заяв. и патентообл. Атлас Копко Эрпауэр, Намлозе Веннотсхап (BE). — № 2015107191/06; заявл. 22.07.2013; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28.
8. *Reynolds J. Z.* Power plant cooling systems: policy alternatives / J. Z. Reynolds // Science. — 1980. — Vol. 207. — Is. 4429. — Pp. 367–372. DOI: 10.1126/science.207.4429.367.
9. *Скворцов Б. А.* Единая электроэнергетическая система с системой электродвижения повышенной частоты для перспективных судов с турбогенераторной энергетической установкой / Б. А. Скворцов // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2014. — № 81 (365). — С. 51–64.
10. *Щербаков М. В.* Мультиагентная система моделирования производства и потребления электроэнергии в гибридных энергетических системах / М. В. Щербаков, А. С. Набиуллин, В. А. Камаев // Инженерный вестник Дона. — 2012. — № 2 (20). — С. 217–221.
11. *Fedorovsky K. Yu.* The efficiency of the 30 cooling systems of ship power plants with the environmental factor / K. Yu. Fedorovsky, N. K. Fedorovskaya, V. V. Enivatov // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. — 2020. — № 3. — С. 30–38. DOI: 10.47404/2619-0605_2020_3_30.
12. *Sokolov S.* Dynamics Models of Synchronized Piecewise Linear Discrete Chaotic Systems of High Order / S. Sokolov, A. Zhilenkov, S. Chernyi, A. Nyrkov, D. Mamunts // Symmetry. — 2019. — Vol. 11. — Is. 2. — Pp. 236. DOI: 10.3390/sym11020236
13. *Avdeev B.* Improving the Electricity Quality by Means of a Single-Phase Solid-State Transformer / B. Avdeev, A. Vyngra, S. Chernyi // Designs. — 2020. — Vol. 4. — Is. 3. — Pp. 35. DOI: 10.3390/designs4030035.

14. Tokarev D. A. Investigation of impact jets flow in heat sink device of closed-circuit cooling systems / D. A. Tokarev, V. V. Yenivatov, S. S. Sokolov, V. L. Erofeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Pp. 042108–042108. DOI: 10.1088/1757–899X/327/4/042108.

REFERENCES

1. Medvedev, Gennady V., and Nina N. Gorlova. “Peculiarities of exhaust gas treatment for marine power plants by porous permeable catalysts.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 3(393) (2020): 45–53.
2. Vashchinnikov, A. E., A. A. Vasil’ev, K. V. Ilyushin, and V. D. Shul’gin. “Novye napravleniya v razrabotke setchatykh rybozashchitnykh ustroystv.” *Materialy dokladov 4-i Vseros. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. Borok: Akvaros, 2010. 9–13.
3. Vidic, R. D., Li H., S. H. Chien, J. D. Monnell, D. Dzombak, and M. K. Hsieh. “A solution to water crisis in energy production: Feasibility of using impaired waters for coal-fired power plant cooling.” *27th Annual International Pittsburgh Coal Conference 2010, PCC 2010*. 2010. 362–378.
4. Dmitriev, Boris F., Sergey Ya. Galushin, Andrey N. Kalmykov, and Marina A. Maksimova. “Compensation of inactive power in ship’s electric power systems.” *Marine Intelligent Technologies* 3–2(45) (2019): 127–134.
5. Sosnovskiya, Leonid, Aleksandr Bogdanovichb, and Sergei Sherbakovc. “Crack Growth Resistance of Steel of the Main Circulating Pipeline of Nuclear Power Plant Cooling Contour.” *19th European Conference on Fracture: Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety, ECF 2012*. 2012. 1612–1617.
6. Speight, Martin R., and Peter A. Henderson. *Marine ecology: concepts and applications*. John Wiley & Sons, 2013.
7. Baltyus, F. K. RU 2 599 218 C2, IPC F 25B 5/02, F 25B 49/02. Okhlazhdayushchii kontur, ustanovka dlya osushki gaza okhlazhdeniem i sposob upravleniya okhlazhdayushchim konturom. Russian Federation, assignee. Publ. 10 Oct. 2016.
8. Reynolds, John Z. “Power plant cooling systems: policy alternatives.” *Science* 207.4429 (1980): 367–372. DOI: 10.1126/science.207.4429.367
9. Skvortsov, Boris A. “Integrated power system with high-frequency electric propulsion system for innovative ships with turbogenerators as power plants.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 81(365) (2014): 51–64.
10. Shcherbakov, M. V., A. S. Nabiullin, and V. A. Kamaev. “Mul’tiagentnaya sistema modelirovaniya proizvodstva i potrebleniya elektroenergii v gibridnykh energeticheskikh sistemakh.” *Inzhenernyi vestnik Dona* 2(20) (2012): 217–221.
11. Fedorovsky, K. Yu., N. K. Fedorovskaya, and V. V. Enivatov. “The efficiency of the 30 cooling systems of ship power plants with the environmental factor.” *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University* 3 (2020): 30–38. DOI: 10.47404/2619–0605_2020_3_30.
12. Sokolov, Sergei, Anton Zhilenkov, Sergei Chernyi, Anatoliy Nyrkov, and David Mamunts. “Dynamics models of synchronized piecewise linear discrete chaotic systems of high order.” *Symmetry* 11.2 (2019): 236. DOI: 10.3390/sym11020236.
13. Avdeev, Boris, Aleksei Vyngra, and Sergei Chernyi. “Improving the Electricity Quality by Means of a Single-Phase Solid-State Transformer.” *Designs* 4.3 (2020): 35. DOI: 10.3390/designs4030035.
14. Tokarev, D. A., V. V. Yenivatov, S. S. Sokolov, and V. L. Erofeev. “Investigation of Impact Jets Flow in Heat Sink Device of Closed-Circuit Cooling Systems.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. DOI: 10.1088/1757–899X/327/4/042108.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоровский Константин Юрьевич —
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация, Севастополь,
ул. Университетская 33
e-mail: fedkonst@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fedorovskiy, Konstantin Yu. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: fedkonst@rambler.ru

Федоровская Надежда Константиновна —
аспирант

Научный руководитель:

Федоровский Константин Юрьевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация, Севастополь,
ул. Университетская 33
e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

Ениватов Валерий Владимирович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Керченский государственный
морской технологический университет»
298309, Российская Федерация, г. Керчь,
ул. Орджоникидзе, д. 82
e-mail: valeriy.enivatov@gmail.com

Fedorovskaya, Nadezhda K. —
Postgraduate

Supervisor:

Fedorovskiy, Konstantin Yu.
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

Yenivatov, Valeriy V. —

PhD, associate professor
Kerch State Maritime
Technological University
82 Ordgonikidze Str., Kerch, 298309,
Russian Federation
e-mail: valeriy.enivatov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 23 октября 2020 г.

Received: October 23, 2020.