

УДК 629.5.03-8

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.89>

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И ПУТИ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ

Н.К. Федоровская

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы воздействия систем охлаждения судовых энергетических установок на рыбные ресурсы морей и континентальных водоемов. Широко распространённые разомкнутые системы охлаждения потребляют заборную воду. Применяемые фильтры не способны задержать планктон и рыбную молодь. В результате при прохождении через систему они практически полностью погибают. Вследствие этого разрушаются пищевые цепочки и снижаются рыбные ресурсы морей. Приведены численные оценки наносимого ущерба. Показано, что проблема может быть решена за счет внедрения замкнутых систем охлаждения. Разработаны необходимые методы повышения теплоотвода систем. В результате создается возможность существенно снизить массу и габариты систем, что способствует их внедрению в практику.

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

Введение

Актуальность вопросов снижения отрицательного антропогенного воздействия промышленных объектов постоянно возрастает. В соответствии со статьей 105 Водного кодекса РФ [1] при проектировании и эксплуатации хозяйственных объектов, связанных с использованием воды, должно учитываться их влияние на состояние водных объектов и окружающей среде. В соответствии с *Федеральными законами: «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»* [2]; *«О континентальном шельфе Российской Федерации»* [3] и *«Об исключительной экономической зоне Российской Федерации»* [4] разнообразные морские объекты (суда, морские платформы и т.д.) подвергаются экологической экспертизе федерального уровня.

Экологический аспект также отражен в Международном кодексе по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ) [5], который введен в действие в виде девятой главы в Международную Конвенцию СОЛАС (SOLAS-74) [6].

На рисунке 1 показаны основные виды отрицательного антропогенного воздействия судна. При этом воздействие условно разделено на две группы: загрязняющее (нефтью, мусором и т.д.) и потребляющее (воду из акватории и воздух). В международной конвенции МАРПОЛ 73/78 вводятся жесткие ограничения в отношении загрязняющего воздействия судов. Однако потребляющему отрицательному антропогенному воздействию пока не уделяется должного внимания.

В практике широко используются разомкнутые системы охлаждения судовой энергетической установки (ЭУ), предусматривающие потребление забортной воды, которое зависит в первую очередь от типа и мощности ЭУ. В настоящее время наибольшее распространение получили дизельные установки. В таблице 1 приведены примеры потребления забортной охлаждающей воды различными морскими платформами и судами.

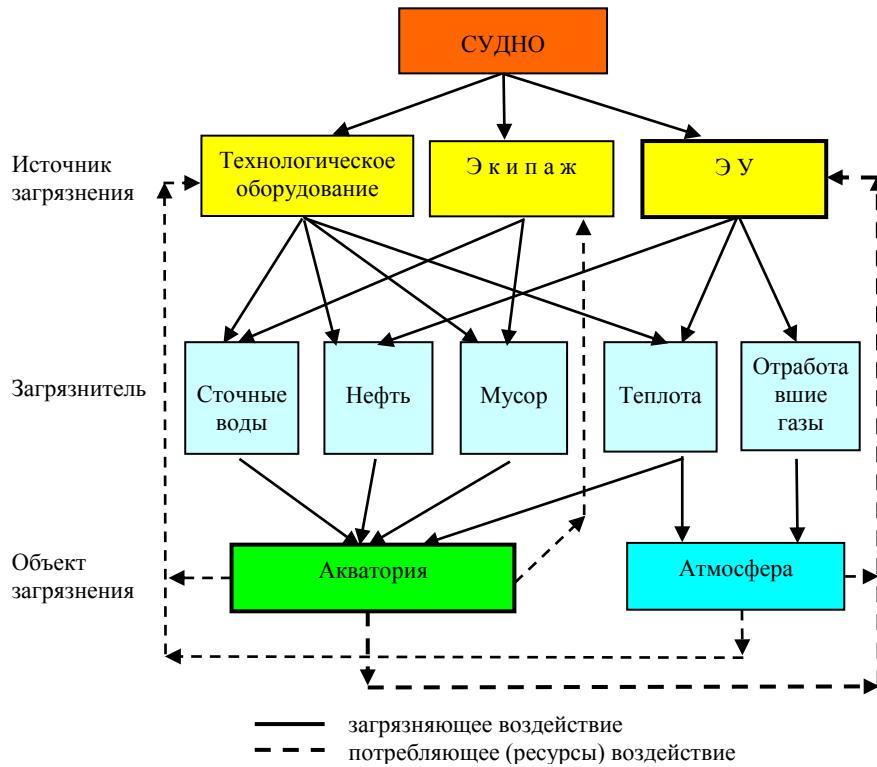


Рис. 1. Схема отрицательного антропогенного воздействия энергоустановки судна на окружающую среду

Таблица 1

Примеры потребления морской воды системами охлаждения

Объект	Потребление забортной воды, м ³ /час
Морская ледостойкая платформа ЛСП-1	1600...2400
Полупогружная морская буровая платформа (проект 10170)	400...800
Рефрижераторное судно «Zenit»	460
Многоцелевое судно «Амке»	160

Методы

При выполнении работы были использованы теоретические методы, включая анализ известных сведений, систематизацию и обобщение полученного материала и, на основе этого, синтез возможного решения проблемы снижения отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения судовых энергоустановок.

Результаты. Известно, что максимальная концентрация планктона (55...90%) наблюдается на глубинах до 50 м. Судовые системы охлаждения, как правило, принимают забортную охлаждающую воду с глубин 10...20 м. Насосы, обеспечивающие работу системы охлаждения, прокачивают воду через многочисленные элементы системы (фильтры, теплообменные аппараты и т.д.). Тип и тонкость очистки фильтров забортной воды представлены в таблице 2 [7–9].

Практика эксплуатации [23, 24] показала, что при размерах отверстий сетчатого фильтра менее 1 мм резко возрастает скорость его засорения, в том числе планктоном, что грозит нарушением работы системы охлаждения.

Таблица 2

Характеристика фильтров забортной воды

Тип	Тонкость очистки, мм	Ду, мм	Источник
Фланцевые сетчатые одинарные однопатронные	0,3...2,5	40...350	[7]
Фланцевые щелевые пластинчатые	2	80...200	

Фланцевые проходные сетчатые	0,3...4,55	40...350	[8]
	5	25...600	[9]

В большинстве случаев размер планктона измеряется микронами, а размер икринок достигает 1...2 мм. Размер вылупленных из икринок личинок несколько превышает размер самой икринки [10]. За неделю длина личинки может увеличиться в два раза, но ее толщина при этом все еще остается соизмеримой с размером проходного отверстия сетки фильтра. Требуется примерно один месяц, чтобы личинки начали интенсивно двигаться и имели возможность хотя бы частично противодействовать силе всасывания охлаждающей воды системы охлаждения. Обычно, скорость воды на всасывании составляет 0,1...0,2 м/с. Оказавшись в системе, указанные организмы проходят через насос, теплообменники, арматуру и т.д., где подвергаются тепловому и механическому воздействию. Как следствие, значительная часть из них погибает сразу, либо получает существенные повреждения [11, 12], вследствие чего в дальнейшем обычно так же происходит их гибель.

Специалисты, занимающиеся проектированием систем охлаждения судовых ЭУ, не учитывают в должной степени указанный механизм отрицательного антропогенного воздействия на биологические ресурсы морей и не делают соответствующих экономических оценок ущерба. В то же время, специалисты, занимающиеся разработкой систем охлаждения тепловых электростанций, уделяют этому значительно большее внимание и проводят соответствующие исследования. Так, например, для расположенной на берегу Балтийского моря Калининской станции [13] в результате проведенных исследований определено, что в результате работы системы охлаждения энергетической установки уничтожается 70...90% зоопланктона, а в некоторых случаях – 100%.

В этой связи следует упомянуть о критической ситуации, имевшей место в 80–90-х годах в Черном и Азовском морях. В эти моря морскими судами был занесен гребневик мнemiопсис (*Mnemiopsis leidyi*) (Рис. 2). Обычным местом его обитания являются воды у побережья Северной Америки. Мнemiопсис имеет способность размножаться с огромной скоростью, практически удваивая свою суммарную массу в течение двух-трех суток.



Рис. 2. Мнemiопсис (*Mnemiopsis leidyi*)

Пищей для мнemiопсиса является планктон и икринки. Это привело к тому, что количество планктона и икринок резко сократилось (Рис. 3), что неизбежно привело к снижению рыбной продуктивности указанных морей. В [14] приведены сведения о том, что годовая добыча ставриды снизилась со 110...115 тыс. тонн до 3 тыс. тонн, а в Азовском море имеющиеся запасы тюльки снизились примерно в 400 раз. Ситуация изменилась вследствие появления в Черном море нового организма – гребневик бeрое (*Beroe ovata*), для которого мнemiопсис являлся пищей. Это привело к восстановлению рыбных ресурсов этих морей.

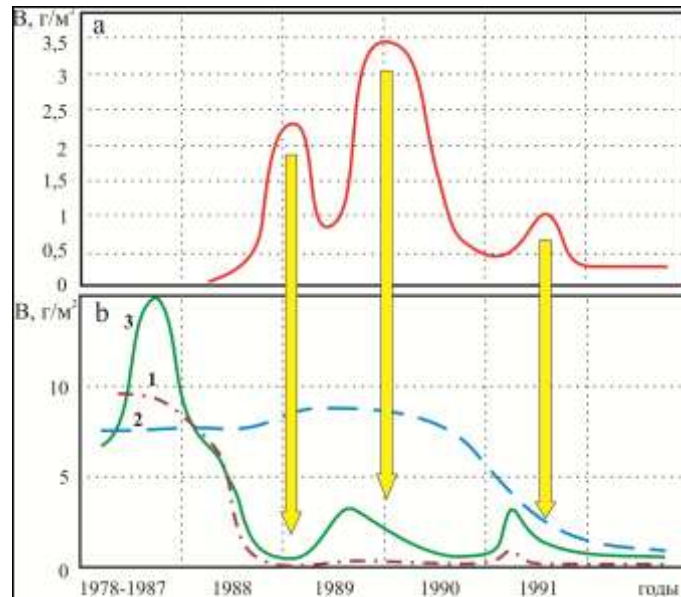


Рис. 3. Биомасса *Mnemiopsis leidyi* (a) и планктона (b) [14]:
1 – саггиты; 2 – веслоногий рачок; 3 – мелкие рачки
и личинки донных животных

По результатам проведенных исследований на тепловой электростанции «Sizewell» (Великобритания) [15], использующей морскую воду для обеспечения работы системы охлаждения, определено, что уничтожается примерно $2 \cdot 10^{10}$ икринок рыб и $4,9 \cdot 10^7$ мальков рыб.

Гибель планктона неизбежно приводит к соответствующему падению рыбной продуктивности. В работах [16] и [17] четко показано, что уничтожаются не только миллиарды рыб, но и происходит биодegradация экосистем морей и континентальных водоемов. Так по данным [13] рыбная продуктивность моря в районе расположения Калининской электростанции снизилась практически в три раза.

При создании морской платформы типа «Шельф» с суммарной установленной мощностью ЭУ 5000 кВт специалисты ЦКБ «Коралл» и федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевской» РАН выполнили оценку ущерба рыбным запасам. В результате определено, что в силу отмеченных механизмов отрицательного воздействия систем охлаждения на водные организмы, в конечном счете, за год уничтожается примерно 200 т промысловых рыб.

Определенные шаги к исправлению ситуации принимаются. В частности, Государственная экологическая экспертиза РФ указывает на необходимость комплектации оборудования водозаборов рыбозащитными устройствами (РЗУ). Пока такой шаг сделан только в отношении морских буровых платформ. При этом существует довольно много сложностей (надежность, техническое обслуживание, ремонт и т.д.) [27], требующих разработки и принятия новых технических решений. Тем не менее, практические шаги в данном направлении делаются. Морская буровая платформа «Исполин» оснащена пятью РЗУ с конусной сеткой (Рис. 4). Морская платформа ЛСП-1 оснащена РЗУ жалюзийного типа с потокообразователем (рис. 5).



Рис. 4. Рыбозащитное устройство типа «конусная сетка»
морской буровой установки «Исполин»



Рис. 5. Рыбозащитное устройство жалюзийного типа с потокообразователем морской платформы ЛСП-1

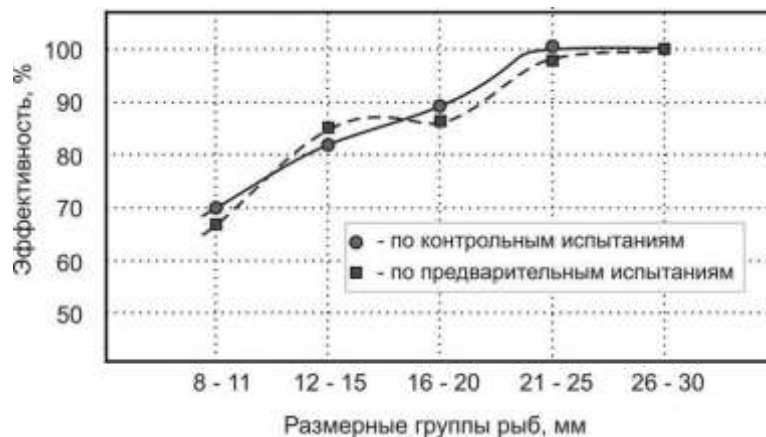


Рис. 6. Эффективность сетчатых рыбозащитных устройств [18]

Рыбозащитные устройства эффективно работают лишь для рыб размером более 8...15 мм. С учетом размера планктона и икринок данные устройства оказываются неэффективными.

С учетом роли планктона в пищевой цепочке следует говорить о том, что существующие РЗУ не решают задачи сохранения и приумножения рыбных ресурсов морей. Решение проблемы может быть найдено в широком внедрении в практику замкнутых систем охлаждения, на актуальность внедрения которых четко указывается в статье 105 Водного кодекса [1]. Для систем охлаждения ЭУ это означает, что следует отказаться от приема заборной охлаждающей воды.

Обсуждение

Практика судостроения знает примеры создания замкнутых систем охлаждения ЭУ. Однако при их создании определяющим обычно являлся лишь фактор обеспечения требуемой надежности функционирования энергетической установки при эксплуатации судна в загрязненной акватории.

В таких системах используется пресная вода, циркулирующая по замкнутому контуру [19, 20]. Эта вода, нагретая в охлаждаемом энергетическом оборудовании, поступает в специальные устройства теплоотвода в заборную воду. В качестве таковых обычно используются: судовая обшивка [21, 22], бокскулеры и другие размещенные на судовой обшивке конструкции [23–26]. Очень важно правильно выбрать конструкцию устройства теплоотвода и рассчитать требуемую площадь теплопередающей поверхности. Минимизация размеров этих устройств является условием их широкого внедрения в практику. По этой причине замкнутыми системами пока оборудуются суда со сравнительно небольшой энерговооруженностью, опыт эксплуатации которых подтвердил высокую надежность таких систем.

В настоящее время имеются апробированные методики расчета замкнутых систем охлаждения и их устройств теплоотвода, которые подтверждены результатами натурных испытаний. Так, на рисунке 7 показаны значения коэффициентов теплопередачи, полученные расчетным путем и при испытании самоходного плавкрана проекта 15201 грузоподъемностью 500т. Отвод теплоты осуществлялся по замкнутому контуру через участок судовой обшивки, суммарной площадью 100 м².

Отметим, что основным расчетным режимом при разработке замкнутых систем является наиболее неблагоприятный случай, когда судно неподвижно. Для данных условий предложен и разработан

достаточно простой метод интенсификации теплоотдачи – посредством создания газожидкостных струй [27]. Проведенными экспериментами подтверждено, что это позволяет в 10...12 раз повысить теплоотдачу в забортную воду и, тем самым, уменьшить габариты устройств теплоотвода и в целом замкнутых систем охлаждения. В результате обеспечивается возможность их более широкого внедрения в практику судостроения.

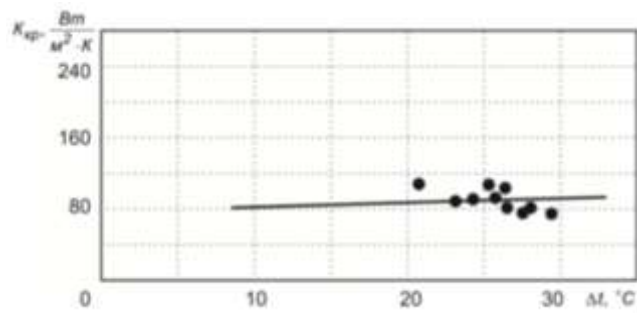


Рис. 7. Результаты натурных испытаний устройства теплоотвода плавкрана проекта 15201: • – натурный эксперимент; линия – результаты расчета

Заключение

Таким образом, разомкнутые системы охлаждения наносят существенный экологический ущерб биологическим ресурсам морей и континентальных водоемов. Применение рыбозащитных устройств оказывается неэффективным по отношению к планктону и рыбной молоди, которые погибают при попадании в систему. Решение проблемы может быть достигнуто за счет более широкого внедрения в практику замкнутых систем охлаждения, положительный опыт создания и эксплуатации которых имеется.

Список литературы:

1. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014361> (дата обращения: 17.02.2018 г.)
2. ФЗ-№155 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12112602> (дата обращения: 19.03.2018г.)
3. ФЗ-№187 «О континентальном шельфе РФ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/1010868> (дата обращения: 20.03.2018 г.)
4. ФЗ-№191 «Об исключительной экономической зоне РФ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/179872>, (дата обращения: 21.03.2018 г.)
5. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention Web. 29 Nov. 2019 <https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf>
6. International Convention for the Safety of Life at Sea, Web. 30 Nov. 2019 <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>
7. Судовые Фильтры: каталог-справочник – Санкт-Петербург -АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» КБ «Армас» – 2019. – 86 с. [Электронный ресурс].
8. Фильтры забортной воды фланцевые проходные сетчатые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sudpromservice.ru/filtry_1, (дата обращения 29.11.19)].
9. Фильтры забортной воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inmor.su/12-003.htm> (дата обращения 29.11.19)]
10. Michael Durham. Salmoni. Web. 03 Apr. 2016 <<https://animalinelmondo.wordpress.com/tag/salmoni/>>
11. issues and environmental impacts associated with once-through cooling at california’s coastal power plants california, energy commission, Staff Report, June 2005 CEC-700-2005-013]. Web 15 Jan. 2017 <<http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF>>
12. how power plants kill fish & damage our waterways. Web. 17 Jan. 2017 <<https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf>>
13. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной. – ООО «Гидротехпроект» Тверь, 2013 г. – 333 с.; Звягинцев А.Ю. Морские техноэкосистемы энергетических станций / А.Ю. Звягинцев, А.В. Мощенко. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.
14. Краткая историческая экология: регуляция численности популяций в биоценозах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/6-1866.html>, (дата обращения: 14.03.2018 г.)].
15. Martin R. Speight, Peter A. Henderson. Marine Ecology: Concepts and Applications. – Wiley-Blackwell, 2013, – 272 p.
16. Fleischli S., Hayat B., Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. Web. 15 Jan. 2017 <<https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33f7cdcdce4a8acd3e127161201a0d9.pdf>>
17. Звягинцев А.Ю. Морские техноэкосистемы энергетических станций / А.Ю. Звягинцев, А.В. Мощенко. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.

18. 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 международным участием. – Борок: Акварос, 2010. – С. 9–13.
19. Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
20. Walter H., Keel Coolers, Web. 17 Jan. 2017 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>.
21. Walter H., Witt W., «Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Schiff und Hafen.» – 1965. – №17. – Pp. 595–610.
22. Bobotek J. «Wymianaciepla w chlodnicach poszyciowych» / J. Bobotek, Budownictwo Okretowe, – 1976. – Kwiecjen. – Pp. 122–124.
23. Specifying a Trawler Web 15 Jan. 2018 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>
24. Specialty Gridcooler Keel Coolers, Web 15 Jan. 2018 <<http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>
25. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design, Web 17 Feb. 2018 <<http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>>
26. Drydocking Services Web 23 June 2019 <<http://www.diversifiedmarineinc.com/Drydock.htm>>
27. Федоровский К.Ю., Исследование газокидистой интенсификации теплоотвода в замкнутых системах охлаждения судовых энергоустановок / К.Ю. Федоровский, В.В. Ениватов // Сб. научн. Тр. ХДМА. – Херсон, 2012. – Вып. № 1(6). – С. 139–147.

NEGATIVE ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF COOLING SYSTEMS OF POWER PLANTS AND WAYS OF ITS OVERCOMING

Nadezhda K. Fedorovskaya

Sevastopol State University (FGAOU VO «SevSU»), Sevastopol, Russia

Annotation. The issues of the impact of the cooling systems of ship power plants on the fish resources of the seas and continental reservoirs are considered. Widespread open cooling systems consume intake water. The filters used are not capable of trapping plankton and fish juveniles. As a result, when passing through the system, they die almost completely. Consequently food chains are destroyed and the fish resources of the seas are reduced. Numerical estimates of the damage are given. It is shown that the problem can be solved by introducing closed cooling systems. The necessary methods for increasing the heat sink of systems have been developed. As a result, it becomes possible to significantly reduce the weight and dimensions of the systems, which contributes to their implementation in practice.

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

References:

1. Water Code of the Russian Federation. Web. 17 Dec. 2018 <<http://docs.cntd.ru/document/9014361>>
2. Federal Law -№155 «On inland waters, territorial sea and the adjacent zone of the Russian Federation» Web. 19 March. 2018 <<http://base.garant.ru/12112602>>
3. Federal Law No. 187 «On the Continental Shelf of the Russian Federation». Web. 20 March. 2018 <<http://base.garant.ru/10108686>>
4. Federal Law -№191 «On the exclusive economic zone of the Russian Federation». Web. 21 March. 2018 <<http://base.garant.ru/179872>>
5. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015) https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf.
6. International Convention for the Safety of Life at Sea, Web. 30 Nov. 2019 <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx)>
7. «Ship Filters»: catalog-directory -St. Petersburg-JSC «Center for shipbuilding and ship repair technology», Design Bureau «Armas» – 2019. – 86с.
8. «Outboard water filters, flanged through passage mesh» Web. 29 Nov. 2019 <http://sudpromservice.ru/filtry_1>
9. «Seawater filters» Web. 29 Nov. 2019 <<http://www.inmor.su/12-003.htm>>
10. Michael Durham. Salmoni. Web. 4 Apr. 2016 «Electronic resource: <https://animalinelmondo.wordpress.com/tag/salmoni>»
11. Issues and environmental impacts associated with once-through cooling at California's coastal power plants California / Energy commission, Staff Report, June 2005 CEC-700-2005-013. Web. 15 Jan. 2017 <<http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF>>
12. How power plants kill fish & damage our waterways. Web. 17 Jan. 2017 <<https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf>>
13. Preliminary materials on the environmental impact assessment of the operation of power units 2 and 3 of the Kalinin NPP at a reactor plant capacity of 104% of the nominal. – LLC «Gidrotekhpromek» Tver, 2013. – 333s.; Zvyagintsev A.Yu. Marine technoecosystems of power stations / A.Yu. Zvyagintsev, A.V. Moshchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. – 343 p.
14. Brief historical ecology: Regulation of the number of populations in biocenoses. Web. 13 March. 2018 <<http://helpiks.org/6-1866.html>>
15. Martin R. Speight, Peter A. Henderson. Marine Ecology: Concepts and Applications. – Wiley-Blackwell, 2013, – 272 p.

16. Steve Fleischli & Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. Web. 15 Jan. 2017 <<https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33f7cdcdce4a8acd3e127161201a0d9.pdf>>
17. Zvyagintsev A.Yu. Marine technoecosystems of power stations / A.Yu. Zvyagintsev, A.V. Moshchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. – 343 p.
18. Vashchinnikov A.E. New directions in the development of mesh fish protection devices / A.E. Vashchinnikov, A.A. Vasiliev, K.V. Ilyushin, V.D. Shulgin // Materials of reports of the 4th All-Russian. conf. with international participation. – Borok: Watercolor, 2010. – Pp. 9–13.
19. Fedorovsky K.Yu., Fedorovskaya N.K. Closed-circuit cooling systems for marine power plants. – M.: INFRA-M, 2017. – 163 p.
20. Walter H. Keel Coolers Web. <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/hull-construction.html>>.
21. Walter H. Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung / H. Walter, W. Witt // Schiff und Hafen. – 1965. – No. 17. – Pp. 595–610.
22. Bobotek J. Wymianaciepla w chlodnicach poszyciowych / J. Bobotek // Budownictwo Okretowe. – 1976. – Kwiecien. – Pp. 122–124.
23. Specifying a Trawler [Digital resource] // Web. <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>.
24. Specialty Gridcooler Keel Coolers Web. 15 Jan. 2017 <<http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>.
25. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design Web. 8 Nov. 2016 <<http://www.dura-maxmarine.com/heat-duracooler.htm>>
26. Drydocking Services Web. 24 June. 2016 <<http://www.diversifiedmarineinc.com/Drydock.htm>>
27. Fedorovsky K.Yu., Enivatov V.V. Study of gas-liquid heat sink intensification in closed cooling systems of ship power plants. Sat scientific Tr. HDMA.: – Kherson, 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Надежда Константиновна Федоровская, аспирант кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО «СевГУ»), Морской институт, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33 e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

Nadezhda K. Fedorovskaya, post-graduate student of the department «Power installations of marine vessels and structures», Sevastopol State University (FGAOU VO «SevSU»), Maritime Institute, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 18.02.2020 г.