

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi70.238

Замкнутые системы охлаждения судовых энергоустановок с теплоотводом через судовую обшивку

К.Ю. Федоровский¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5345-6851>

Н.К. Гриненко¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-9532>

¹*Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, Россия*

Аннотация. Проанализированы недостатки широко распространенных разомкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок. Показано, что в результате морям наносится существенный экологический ущерб. Эксплуатация таких систем в загрязненной акватории может привести к засорению системы и её аварийной остановке. Рассматривается вопрос различных вариантов создания замкнутых систем охлаждения с теплоотводом через судовую обшивку. При этом исключается необходимость приема забортной воды. Приведены экспериментальные данные для устройств лабиринтного и струйного типов. Причем последние отличаются большей простотой конструкции. Определены обобщающие уравнения подобия, описывающие происходящие процессы. Сопоставлены достигаемые коэффициенты теплоотдачи на внутренней поверхности обшивки корпуса судна. Определено, что струйные устройства характеризуются лучшими показателями по сравнению с лабиринтными. Разница становится наиболее ощутимой при движении судна по сравнению со случаем стоянки судна. Это позволяет рекомендовать струйные устройства к более широкому внедрению в практику судостроения.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, система охлаждения, струйный подвод, лабиринтный канал, коэффициент теплоотдачи, экологический ущерб, обшивка корпуса судна.

Closed cooling systems of ship power plants with heat sleeve through ship's cladding

Konstantin Yu. Fedorovsky¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5345-6851>

Nadezhda K. Grinenko¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-9532>

¹*Sevastopol State university, Sevastopol, Russia*

Abstract. The drawbacks of widespread open-loop cooling systems for ship power plants are analyzed. It is shown that as a result, the seas are caused significant environmental damage. The operation of such systems in a polluted water area can lead to clogging of the system and its emergency shutdown. The issue of various options for creating closed cooling systems with heat removal through the ship's hull plating is considered. This eliminates the need to receive seawater. Experimental data for labyrinth and jet type devices are presented. Moreover, the latter are distinguished by a greater simplicity of design. Generalizing similarity equations describing the ongoing processes are determined. The achieved heat transfer coefficients on the inner surface of the ship's hull plating are compared. It has been determined that jet devices are characterized by better indicators in comparison with labyrinth ones. The difference becomes most noticeable with the vessel moving, compared to

the case of anchorage. This allows us to recommend jet devices for wider implementation in shipbuilding practice.

Keywords: ship power plant, cooling system, jet supply, labyrinth channel, heat transfer coefficient, environmental damage, ship hull plating.

Введение

В настоящее время наибольшее распространение получили разомкнутые двухконтурные системы охлаждения (рис. 1) судовых энергетических установок (СЭУ), предусматривающие потребление забортной воды [1].

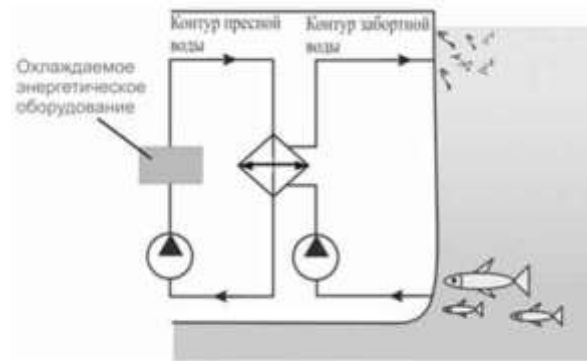


Рис. 1. Схема 2-х контурной системы охлаждения СЭУ

Однако такие системы при нахождении судна в загрязненной акватории зачастую не обеспечивают требуемой надежности. Нередки случаи, когда из-за засорения системы прекращается циркуляция забортной воды, что неизбежно приводит к аварийной остановке энергетической установки.

В настоящее время все большее внимание уделяется негативным экологическим аспектам, связанных с эксплуатацией таких систем. Так, например, в Международном кодексе по управлению безопасностью [2, 3] в качестве одной из его основных целей четко указывается на необходимость исключения нанесения ущерба морской среде. Вода в акватории содержит планктон, а также икринки рыб и мальков. Все они включены в пищевую цепочку морей и океанов, являясь ее основой. Применяемые на судах фильтры, а в некоторых случаях рыбозащитные устройства, не препятствуют попаданию этих, часто микроскопических, организмов в систему охлаждения. Попав в систему охлаждения большая часть планктона погибает, поскольку проходит через насосы, теплообменники и другие элементы системы. Это подтверждено многочисленными исследованиями, проведенными гидробиологами. Данный факт подтвержден результатами многочисленных исследований гидробиологов [4]-[6]. Проведенные Институтом морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН оценочные расчеты показали, что одна плавучая буровая платформа с мощностью СЭУ 5000 кВт только за три летних месяца уничтожает около 200 тонн рыб промысловых видов.

Около трети проектов вновь создаваемых судов в той или иной степени используют замкнутые системы охлаждения (ЗСО), не требующие забора морской воды [7]. Водный кодекс РФ [8] так же однозначно указывает на необходимость более широкого внедрения замкнутых технологий использования воды.

В ЗСО теплоотвод может осуществляться с применением различных устройств, например бокскуллеров, судовых обшивочных теплообменных аппаратов (ОТОА) и т.д. [9]-[11].

Рассмотрим более детально вопрос отвода теплоты с помощью ОТОА. В таких устройствах подвод охлаждаемой пресной воды к судовой обшивке с внутренней стороны может быть выполнен по-разному. Часто можно встретить такие аппараты лабиринтного типа (рис. 2). В результате установки дополнительных элементов 3 формируется лабиринтный канал 4, по которому движется охлаждаемая пресная вода, циркулирующая по замкнутому контуру. Такие аппараты нашли достаточно широкое распространение на судах различного назначения [12]- [15].

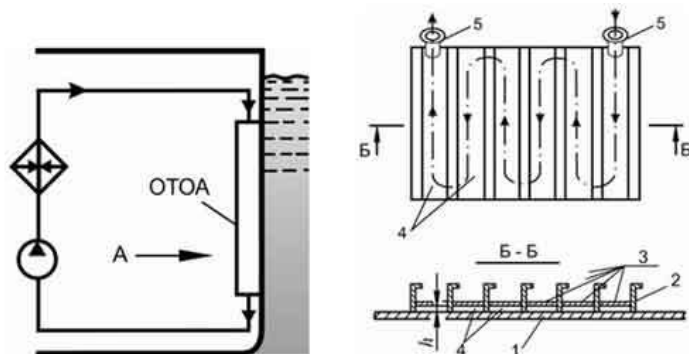


Рис. 2. ОТОА лабиринтного типа: 1 – судовая обшивка; 2 – элементы набора корпуса судна; 3 – дополнительные листы; 4 – лабиринтный канал; 5 – парубки подвода и отвода теплоносителя

Однако такие аппараты увеличивают трудоемкость работ, связанных с изготовлением корпуса судна. Необходим поиск вариантов отвода теплоты через судовую обшивку, имеющих меньшую трудоемкость изготовления и стоимость.

Одним из таких вариантов является использование имеющихся на судне цистерн забортной воды. В практике известны случаи, когда разомкнутая система охлаждения забортной водой на некоторое время переключается на такие цистерны, что исключает на необходимость приема воды из акватории (рис. 3). Обычно вода контура забортной воды системы просто сбрасывается в цистерну и забирается из неё без каких-либо попыток организовать её движение вдоль смоченной забортной водой части обшивки судна. Время работы по такой схеме ограничено и зависит от объема воды в цистерне, мощности энергетической установки, начальной температуре воды в цистерне, площади поверхности цистерны, контактирующей с забортной водой и эффективности теплоотвода через судовую обшивку.

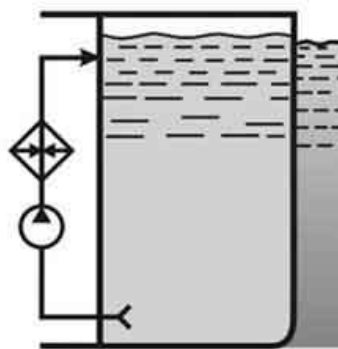


Рис. 3. Схема ОТОА теплоаккумулирующего типа

Целесообразно рассмотреть вопрос возможности увеличения времени работы системы охлаждения по данной схеме за счет увеличения эффективности теплоотвода через судовую обшивку. Это может быть сделано за счет использования струйного подвода охлаждаемой воды (рис. 4). С этой целью вдоль судовой обшивки 1 выполняется коллектор подвода охлаждаемой воды 3 с системой сопел 4, направленных в сторону судовой обшивки 1.

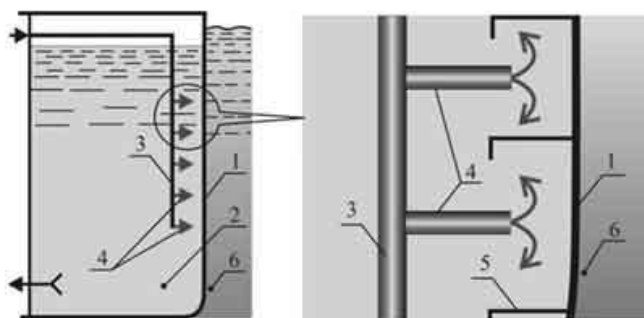


Рис. 4. Схема ОТОА струйного типа: 1 – обшивка корпуса судна; 2 – цистерна; 3 – коллектор подвода охлаждаемой воды; 4 – сопла; 5 – элементы набора корпуса судна; 6 – забортная вода

Методы

В ходе выполнения работ использовались визуальные методы исследования течения жидкости. Применительно к ОТОА лабиринтного типа была создана модель такого канала и реализованы методы визуализации течения. Аналогичные методы были применены для визуализации течения жидкости в случае ОТОА струйного типа.

Экспериментальные теплотехнические исследования проводились на установке, моделирующей систему охлаждения СЭУ. В используемых моделях ОТОА лабиринтного и струйного типов охлаждаемая горячая вода подавалась на стенку, моделирующую обшивку корпуса судна, которая уже с другой стороны охлаждалась забортной водой. Площадь теплопередающей стенки в первом случае составляла 1м², а во втором – 0,25 м². Схема экспериментальной модели ОТОА струйного типа представлена на рисунке 5.

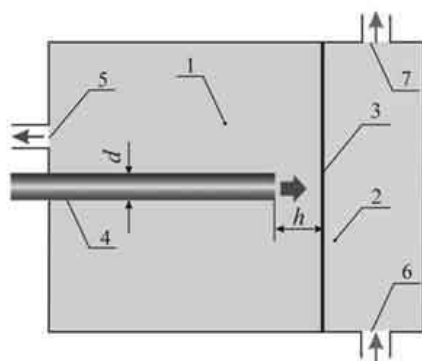


Рис.5. Схема экспериментальной модели ОТОА струйного типа
 1 — полость горячей (охлаждаемой) воды; 2 — полость охлаждающей воды;
 3 — теплопередающая стенка; 4 и 5 — соответственно патрубки подвода и отвода горячей воды; 6 и 7 — соответственно патрубки подвода и отвода охлаждающей воды

Струя горячей воды на выходе сопла 4 натекает на стенку 3, моделирующую судовую обшивку. В результате на судовой обшивке формируется радиально растекающаяся струя жидкости, требующей охлаждения.

В моделях обоих типов измерялись температуры и расходы жидкостей, а так же температуры поверхностей, моделирующих судовую обшивку. Полученные в ходе работы экспериментальные данные позволили определить величины, характеризующие эффективность процессов теплоотвода через судовую обшивку.

Результаты

Поскольку процесс теплоотдачи в забортную воду достаточно полно исследован и имеются расчетные зависимости [16], то следует сосредоточить внимание на сопоставлении эффективности теплоотдачи пресной воды, движущейся в лабиринтном канале и вытекающей из сопла.

Визуальные исследования течения жидкости в ОТОА лабиринтного типа (рис. 6) показали, что в местах поворота периодически осуществляется дополнительная турбулизация потока, что неизбежно положительно сказывается на теплоотдаче.

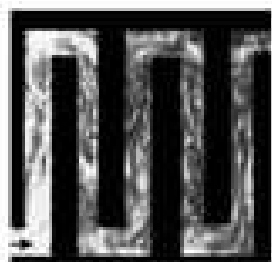


Рис.6. Течение жидкости в ОТОА лабиринтного типа

Поведенные теплотехнические исследования и обобщающая обработка полученных экспериментальных данных (рис. 7) позволили определить уравнение подобия (1), справедливое в диапазоне изменения $8000 < Re < 330000$; $2,1 < Pr_{ж} < 3,9$; $1,9 \cdot 10^{-2} < d_{ж} / l_{н} < 7,8 \cdot 10^{-2}$; $0,8 < Pr_{ж} / Pr_{c1} < 0,94$; $1,0 < \bar{t}_{*} / \bar{t}_{c1} < 1,2$.

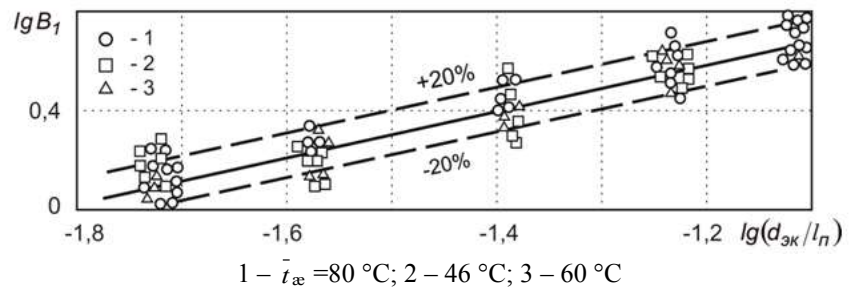


Рис. 7. Зависимость $\lg B_1$ от $\lg(d_{\text{эк}}/l_{\text{п}})$ для ОТОА лабиринтного типа

$$B_1 = \frac{\overline{Nu}_1}{Re^{0,4} Pr_{\text{ж}}^{0,4} (Pr_{\text{ж}} / Pr_{\text{ст}})^{0,25} (\overline{t}_{\text{ж}} / t_{\text{ст}})^{-3,0}}$$

$$\overline{Nu}_1 = 46 Re^{0,4} Pr_{\text{ж}}^{0,4} \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{d_{\text{эк}}}{l_{\text{п}}} \right)^{0,9} \cdot \left(\frac{\overline{t}_{\text{ж}}}{t_{\text{ст}}} \right)^{-3,0} \quad (1)$$

Данное уравнение подобия позволяет рассчитать теплоотдачу в широком диапазоне изменения параметров и, в конечном счете, определить значение коэффициентов теплопередачи и требуемую площадь ОТОА лабиринтного типа.

В случае аппарата струйного типа результаты визуальных исследований показаны на рисунке 8. Фотографии сделаны со стороны теплопередающей стенки (обшивки корпуса судна). Наглядно видна радиально растекающаяся пристенная струя. При этом характер её течения существенно зависит от числа Рейнольдса.

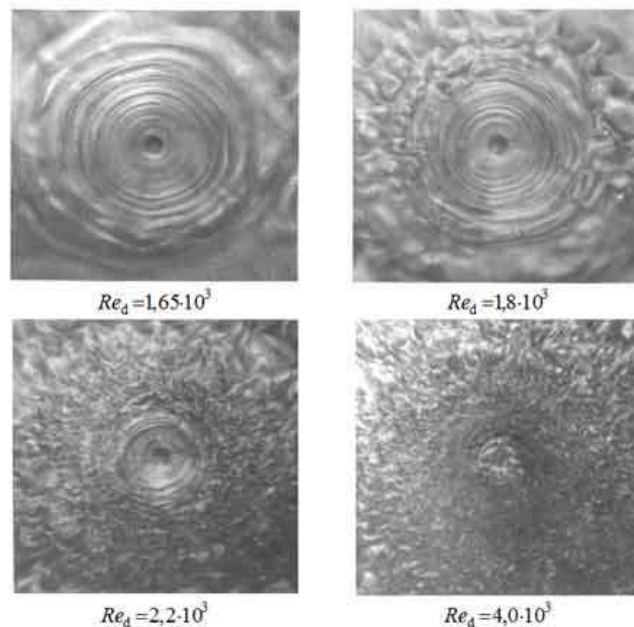


Рис. 8. Течение жидкости в ОТОА струйного типа при различных числах Рейнольдса

Хорошо видна возрастающая с увеличением числа Рейнольдса достаточно высокая турбулизация потока пристенной струи, что должно обеспечивать высокие значения коэффициента теплоотдачи.

Были проведены многочисленные теплотехнические исследования (рис. 9), которые для случая струйного подвода позволили определить обобщающие уравнения подобия (2,3,4)

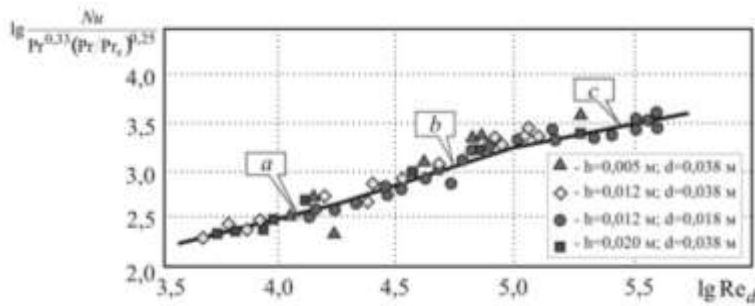


Рис. 9. Зависимость $\lg \frac{Nu}{Pr^{0,33}(Pr/Pr_s)^{0,25}}$ от $\lg Re_d$ в случае ОТОА струйного типа при

$R = 0,25 \text{ м}; Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 4 \cdot 10^5; Pr = 2,54 \dots 4,87; Pr/Pr_s = 0,66 \dots 0,96;$
 $h/d = 0,13 \dots 0,67; R/d = 6,6 \dots 13,9;$
 а — $Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$; б — $Re_d = 2 \cdot 10^4 \dots 10^5$; в — $Re_d = 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$

при $Re_d = 5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$

$$Nu = 5,7 \cdot Re_d^{0,45} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (2)$$

при $Re_d = 2 \cdot 10^4 \dots 10^5$

$$Nu = 0,15 \cdot Re_d^{0,83} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (3)$$

$$Nu = 26 \cdot Re_d^{0,4} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (4)$$

при $Re_d = 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$

Зависимости справедливы при:

$Pr = 2,54 \dots 4,87; Pr/Pr_s = 0,66 \dots 0,96; h/d = 0,13 \dots 0,67; R/d = 6,6 \dots 13,9.$

Обсуждение

По результатам проведенных исследований имеется возможность сопоставить эффективность теплоотдачи в случаях использования ОТОА лабиринтного и струйного типов. На рисунке 10 показана зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости воды в аппарате лабиринтного типа.

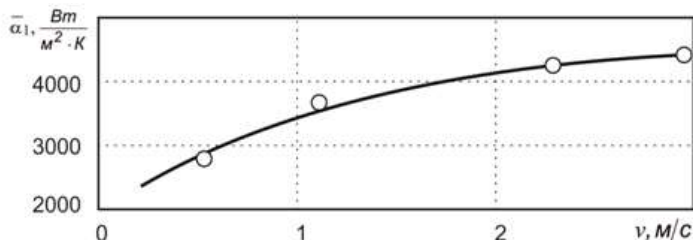


Рис. 10. Зависимость коэффициента теплоотдачи α_1 от скорости воды v в ОТОА лабиринтного типа

На рисунке 11 показана аналогичная зависимость в случае использования ОТОА струйного типа. При этом скорость воды v бралась на выходе из сопла.

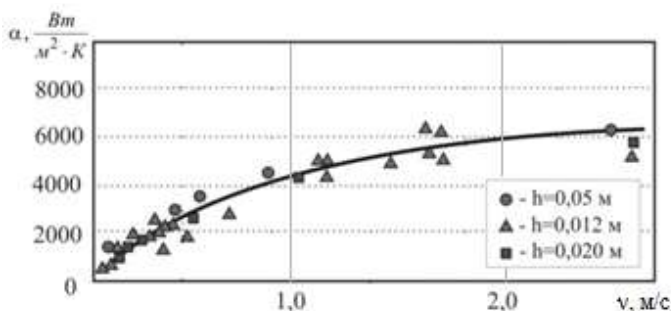


Рис. 11. Зависимость коэффициента теплоотдачи α в ОТОА струйного типа от расхода воды W ($d = 0,038$ м; $R = 0,25$ м)

Наглядно видно, что при небольших скоростях коэффициенты теплоотдачи сопоставимы. Однако при увеличении скорости теплоотдача в случае струйного подвода увеличивается и превышает значение коэффициентов теплоотдачи в лабиринтном канале.

Так, например, при скорости около $v = 2$ м/с в случае струйного подвода $\alpha \approx 6000$ Вт/(м²К), а в случае лабиринтного канала $\alpha_1 \approx 4000$ Вт/(м²К). Как хорошо известно, величина α включается в формулу расчета коэффициента теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К}) \quad (5)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от судовой обшивки к морской воде, Вт/(м²К);

$\frac{\delta_c}{\lambda_c}$ - термическое сопротивление судовой обшивки, (м²К)/Вт;

Отсюда вытекает, что, большие значения коэффициента теплоотдачи при струйном подводе обеспечивают достижение больших значений коэффициентов теплопередачи и соответственно, меньшие площади судовой обшивки, необходимые для теплоотвода системой охлаждения СЭУ.

Кроме того известно, что численное значение K меньше наименьшего из значений α_1 и α_2 входящих в зависимость (5). Известно, что теплоотдача от наружной поверхности судовой обшивки к забортной воде при стояке судна осуществляется при свободной конвекции. При этом достигаемые значения коэффициентов теплоотдачи намного меньше по сравнению со случаем движения судна. Данный факт означает, что указанное выше преимущество ОТОА струйного типа в наибольшей степени проявляется при движении судна.

Заключение

Представленные результаты показывают, что применение ОТОА струйного типа обеспечивает лучшую теплоотдачу не только по сравнению со случаем простого сброса воды в цистерну без организации её течения вдоль обшивки, но и по сравнению со случаем применения ОТОА лабиринтного типа. Данный метод может быть уверенно рекомендован для использования на судах и позволяет повысить эффективность работы существующих разомкнутых систем охлаждения по замкнутому контуру в случае возникновения условий, при которых целесообразно отказаться от приема забортной воды.

В конечном счете, выбор того или иного метода отвода теплоты через судовую обшивку определяется конкретными конструктивными особенностями проектируемого судна.

Список литературы

1. Современные судовые дизельные двигатели. Основные тенденции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudostroenie.info/novosti/22242.html> (дата обращения 25.11.2020).
2. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf (дата обращения 16.11.2020).
3. International Convention for the Safety of Life at Sea. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [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) (дата обращения 16.11.2020).
4. How power plants kill fish&damage our water ways. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogs.sierraclub.org/compass/2011/08/how-power-plants-kill-fish-damage-our-waterways-.html> (дата обращения 11.11.2020)
5. Звягинцев А. Ю. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной / А. Ю. Звягинцев, А. В. Мощенко // – Тверь, ООО «Гидротехпроект», 2013. – 333 с.
6. 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 // Natural Resources Defense Council report. – 2014. – Pp. 1-11.
7. Шурпак В.К. Учет особенностей систем охлаждения при оценке энергетической эффективности судов / В. К. Шурпак // Научно-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. — 2014. — Вып. 37. — С. 51–55.

8. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014361> (дата обращения 17.02.2019).
9. Specifying a Trawler. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>.
10. Specialty Gridcooler Keel Coolers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>
11. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>.
12. Walter H. Keel Coolers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.waltergear.com/kc.htm> (дата обращения: 11.08.2016).
13. Walter H. Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung / H. Walter, W. Witt // Schiff und Hafen. — 1965. — №17. — Pp. 595–610.
14. Mang G. Die Außenhautkühlung, ihre Erprobung und Funktion auf Schubbooten der Deutschen Binnenreederei / G. Mang // VEB DBR Forschung und Entwicklung. — 1963. — №57. — Pp. 17–19.
15. Schmidt M. Kanalschubboot «KSB 190Z» / M. Schmidt, H. Kusebauch // Schiffbautechnik. — 1965. — № 11. — Pp. 577–581
16. Федоровский, К.Ю. Теплопередача через обшивку корпуса судна и особенности происходящих процессов / К.Ю. Федоровский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, г. Орел, -2018. - № 4-2. - С.168-172.

References

1. Modern marine diesel engines. Main trends. Web. 25 Nov. 2020 <<https://sudostroenie.info/novosti/22242.html>>
2. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015). Web. 16 Nov. 2020 <https://ibicon.ru/f/0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf>
3. International Convention for the Safety of Life at Sea. Web. 16 Nov. 2020 <[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)>
4. How power plants kill fish & damage our water ways. Web. 11 Nov. 2020 <<https://blogs.sierraclub.org/compass/2011/08/how-power-plants-kill-fish-damage-our-waterways-.html>>
5. Zvyagintsev A. Yu. Preliminary materials on the assessment of the environmental impact of the operation of power units 2 and 3 of the Kalinin NPP at a reactor capacity of 104% of the nominal / A. Yu. Zvyagintsev, A. V. Moshchenko // - Tver, LLC Gidrotekhproekt ", 2013. - 333 p.
6. 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 // Natural Resources Defense Council report. - 2014. - Pp. 1-11.
7. Shurpyak V.K. Taking into account the peculiarities of cooling systems in assessing the energy efficiency of ships / V.K. Shurpyak // Scientific and technical. Sat. Russian Maritime Register of Shipping. - 2014. - Issue. 37. - Pp. 51–55.
8. Water Code of the Russian Federation. Web. 17 Feb. 2019 <<http://docs.cntd.ru/document/9014361>>
9. Specifying a Trawler. Web. 17 Feb. 2019 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>
10. Specialty Gridcooler Keel Coolers. Web. 17 Feb. 2019 <<http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>
11. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design Web. 17 Feb. 2019 <<http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>. >
12. Walter H. Keel Coolers. Web. 11 Aug. 2016 <<http://www.waltergear.com/kc.htm>>
13. 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.

14. Mang G. Die Außenhautkühlung, ihre Erprobung und Funktion auf Schubbooten der Deutschen Binnenreederei / G. Mang // VEB DBR Forschung und Entwicklung. - 1963. - No. 57. - Pp. 17-19.
15. Schmidt M. Kanalschubboot "KSB 190Z" / M. Schmidt, H. Kusebauch // Schiffbautechnik. - 1965. - No. 11. - Pp. 577-581
16. Fedorosky, K.Yu. Heat transfer through the hull skin and features of the ongoing processes / K.Yu. Fedorovsky // Fundamental and applied problems of engineering and technology, Orel, -2018. - No. 4-2. - Pp.168-172.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Федоровский Константин Юрьевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Энергоустановки морских судов и
сооружений», Севастопольский
государственный университет, 290053,
г. Севастополь, ул. Университетская 33,
e-mail: fedkonst@rambler.ru

Konstantin Yu. Fedorovskiy, Doctor of
Technical Sciences, Professor, Head of the
Department of Power Plants of Marine Vessels
and Structures, Sevastopol State University,
290053, Sevastopol, st. Universitetskaya 33

Гриненко Надежда Константиновна,
преподаватель кафедры «Энергоустановки
морских судов и сооружений»,
Севастопольский государственный университет
(ФГАОУ ВО «СевГУ»), 290053, г.
Севастополь, ул. Университетская 33, e-mail:
n.fedorovskaya14@mail.ru

Nadezhda K. Grinenko, Lecturer of the
Department of Power Installations of Marine
Vessels and Structures, Sevastopol State
University (FGAOU VO "SevGU"), 290053,
Sevastopol, st. Universitetskaya 33

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.
Received 07.02.2022; published online 21.03.2022.