

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-135-144

## INCREASING THE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF SHIP POWER PLANTS COOLING SYSTEMS WITH JET HEAT REMOVAL DEVICES

**K. Yu. Fedorovsky, N. K. Grinenko**

Sevastopol State university, Sevastopol, Russian Federation

*There are numerous cases when during the ship operation it is advisable to exclude for some time the intake of sea water used to cool the ship's power plant. The issues of the possibility of such operation of widely used open double-circuit cooling systems are considered. To this end, the systems can be switched to the sea water tanks available on board. Work according to this scheme is limited by the time of heating the available water to the maximum allowable temperature. The issues of increasing this time by rising the heat removal through the ship's plating are considered. To do this, the heated water is not simply discharged into the tank, but is jet supplied through the pipeline system directly to the inner surface of the ship's plating. Conducted visual and thermal engineering studies have shown that the best results are achieved with the use of a jet supply, supplemented by a screen one. As a result, a channel for hot water movement is formed between the screen and the ship's plating. Water radially spreads outward from the center of the screen, forming a fan jet. At the same time, the maximum flow velocity around the ship's plating and the temperature difference between hot and outboard water are ensured. The advantages of this method for supplying cooled water are confirmed by the thermal engineering studies. It is shown that in this case the heat transfer increases by 25...30 %, compared with the case of a simple jet water supply. As a result of processing numerous experimental data, generalizing similarity equations have been obtained. They allow you to calculate the heat transfer for various water flow regimes. The use of these devices allows you to increase the time of systems operation in a closed loop without receiving outside water. These devices are quite simple in design and can be used both at the stage of building a new ship, and when modernizing existing ships. An example of such devices introduction on self-propelled floating cranes is given.*

*Keywords: ecology, cooling system, ship power plant, heat transfer, screen supply, ship plating.*

### **For citation:**

Fedorovskiy, Konstantin Yu., and Nadezhda K. Grinenko. "Increasing the efficiency and environmental safety of ship power plants cooling systems with jet heat removal devices." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.1 (2023): 135–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-135-144.

**УДК: 629.12(075.4) 574.5**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СО СТРУЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ТЕПЛОТВОДА

**К. Ю. Федоровский, Н. К. Гриненко**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
Севастополь, Российская Федерация

*Темой исследования является подтверждение целесообразности в процессе эксплуатации судна включения в течение некоторого промежутка времени приема забортной воды, используемой для охлаждения судовой энергетической установки. Рассмотрены вопросы возможности такой работы на примере широко распространенных разомкнутых двухконтурных систем охлаждения при условии, что эти системы могут быть переключены на имеющиеся на судне цистерны с забортной воды. Отмечается, что работа по такой схеме ограничена временем нагрева имеющейся воды до максимально допустимой температуры. Рассматриваются вопросы увеличения этого времени за счет повышения теплоотвода через судовую обшивку. Для этого нагретая вода не просто сбрасывается в цистерну, а струйно подается через систему трубопроводов непосредственно на внутреннюю поверхность судовой обшивки. Проведенные визуальные*

и теплотехнические исследования показали, что оптимальные результаты достигаются при применении струйного подвода, дополненного экраном. В результате между экраном и судовой обшивкой формируется канал для движения горячей воды, которая радиально растекается от центра экрана наружу, формируя веерную струю. При этом обеспечиваются максимальные скорость обтекания судовой обшивки и температурный напор между горячей и забортной водой. Подчеркиваются преимущества данного метода подвода охлаждаемой воды, подтвержденные теплотехническими исследованиями. Показано, что при этом теплоотдача увеличивается на 25–30 % по сравнению с простым струйным подводом воды. В результате обработки многочисленных экспериментальных данных получены обобщающие уравнения подобия, позволяющие рассчитать теплоотдачу при различных режимах течения воды. Применение указанных устройств позволяет увеличить время работы систем по замкнутому контуру без приема забортной воды, что с экологической точки зрения дает возможность снизить негативное воздействие на морские ресурсы. Отмечается, что ввиду достаточно простой конструкции данных устройств, они могут применяться как на этапе постройки нового судна, так и при модернизации существующих судов. В работе приведен пример внедрения таких устройств на самоходных плавкранах.

**Ключевые слова:** экология, система охлаждения, судовая энергетическая установка, теплоотдача, экранный подвод, судовая обшивка.

**Для цитирования:**

Федоровский К. Ю. Повышение эффективности и экологической безопасности систем охлаждения судовых энергетических установок со струйными устройствами теплоотвода / К. Ю. Федоровский, Н. К. Гриненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 135–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-135-144.

## Введение (Introduction)

Важную роль среди систем, обеспечивающих работу судовой энергетической установки (СЭУ), играет система охлаждения, осуществляющая в большинстве случаев отвод теплоты в окружающую акваторию. Как правило, такие системы выполняются *двухконтурными*. Через охлаждаемое оборудование циркулирует пресная вода, которая охлаждается забортной водой, циркулирующей по другому контуру. Нарушение в работе системы охлаждения может привести к прекращению работы СЭУ и, как следствие, — к аварийной ситуации судна. Такому развитию событий может способствовать нахождение судна в сильно загрязненной акватории, ледовой шуге и т. д. Кроме того, необходимо отметить важность *экологического аспекта*. Если судно заходит в район интенсивного рыболовства, то разомкнутая система охлаждения негативно воздействует на рыбные ресурсы этого района. Суть этого воздействия состоит в том, что происходит уничтожение кормовой базы рыб (планктона), икринок рыб и рыбной молоди. Проходя через систему, они подвергаются интенсивному механическому и тепловому воздействию, вследствие чего практически все погибают [1], [2].

Вопросам создания *более эффективных систем охлаждения* уделяется большое внимание. В частности, в [3] указаны основные пути совершенствования таких систем. Решить данные проблемы в значительной степени позволяет применение замкнутых систем охлаждения [4], интерес к которым в настоящее время все более возрастает [5]. При этом отвод теплоты может осуществляться через судовую обшивку или различные элементы, расположенные снаружи на судовой обшивке [6]–[8]. Существенным недостатком таких систем является то, что через соответствующие устройства теплоотвода может быть отведен *ограниченный тепловой поток*. Это означает, что полностью замкнутыми системами охлаждения могут быть оборудованы суда с относительно небольшой энерговооруженностью.

Широко используемые в настоящее время *разомкнутые двухконтурные системы охлаждения* хорошо работают при эксплуатации судна на чистых глубоководных акваториях. Однако имеют место случаи, когда необходимо на некоторый сравнительно небольшой промежуток времени отказаться от приема забортной воды. Например, при нахождении судна на мелководье, что может привести к попаданию в систему грунта и ее забиванию. Достаточно актуальной эта проблема является для судов технического флота, когда выполняемые технологические операции приводят к загрязнению окружающей акватории. В данном случае необходим поиск технических решений, обеспечивающих ограниченный по времени переход, существующих двухконтурных разомкнутых

систем охлаждения на замкнутую схему охлаждения, что может быть реализовано за счет использования существующих на судне цистерн, заполненных забортной водой (например, балластных). Забортная вода забирается из этих цистерн, прокачивается через теплообменник, обеспечивающий охлаждение нагретой в СЭУ пресной воды, и затем сбрасывается опять в эту цистерну (рис. 1). Известны случаи, когда такие варианты предусмотрены на этапе проектирования судна, а также когда эксплуатационный персонал выполнял необходимые модернизации на существующих судах.

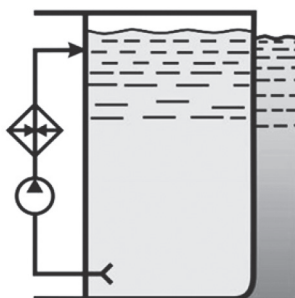


Рис. 1. Схема работы системы охлаждения при ее переключении на цистерну забортной воды

Ограниченное время работы системы охлаждения по данной схеме определяется объемом воды в цистерне, ее начальной температурой, площадью судовой обшивки в районе данной цистерны и величиной отводимого теплового потока, который зависит от мощности СЭУ. Обычно осуществляется прием воды из цистерны и ее сброс через присоединенные к ней трубопроводы. При этом не предпринимаются меры по организации движения воды в цистерне с внутренней стороны судовой обшивки, контактирующей с забортной водой. При обеспечении такого организованного движения можно достичь повышения теплоотдачи на внутренней стенке судовой обшивки, что приведет к росту теплоотвода в окружающую акваторию через судовую обшивку, и следовательно, увеличит время работы системы без приема забортной воды. Данную процедуру можно проводить за счет сброса в цистерну нагретой воды через систему трубопроводов с соплами, направленными в сторону внутренней поверхности судовой обшивки (рис. 2).

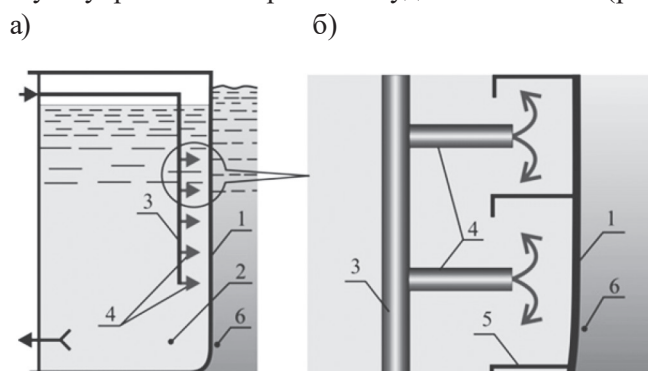


Рис. 2. Сопловой подвод жидкости к судовой обшивке:

- а — подвод охлаждаемой воды в цистерну
- б — сопла подачи воды на стенку судовой обшивки;
- 1 — судовая обшивка; 2 — цистерна забортной воды;
- 3 — трубопровод подвода охлаждаемой воды;
- 5 — элементы набора корпуса судна; 6 — забортная вода

На выходе из сопла формируется струя (рис. 3) [9], направленная на поверхность обшивки. Натекая на поверхность, она создает радиально растекающуюся *веерную струю* (рис. 4), что улучшает теплоотвод через судовую обшивку.



Рис. 3. Визуализация струи, вытекающей из сопла

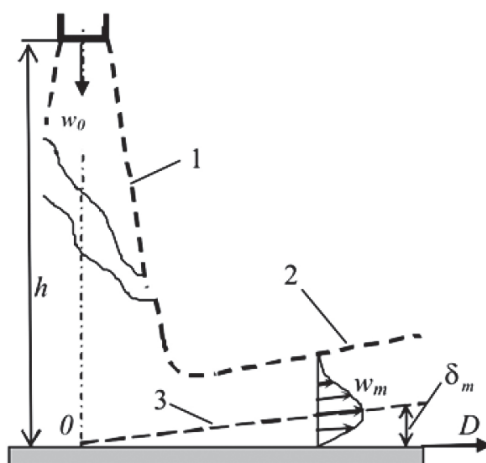


Рис. 4. Схема взаимодействия струи с поверхностью судовой обшивки:  
1 — осесимметричная струя; 2 — пристенная веерная струя;  
3 — пристенный пограничный слой

Для рассматриваемого случая выполнены соответствующие теплотехнические исследования происходящих процессов теплообмена и получены соответствующие обобщающие экспериментальные данные уравнения подобия [4]:

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

$$Nu = 5,7 Re_d^{0,45} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}; \quad (1)$$

– при  $Re_d = 2 \cdot 10^4 - 10^5$

$$Nu = 0,15 Re_d^{0,83} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}; \quad (2)$$

– при  $Re_d = 10^5 - 4 \cdot 10^5$

$$Nu = 26 Re_d^{0,4} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}. \quad (3)$$

Зависимости (1)–(3) справедливы при следующих условиях: при  $Pr = 2,54 - 4,87$ ,  $Pr/Pr_s = 0,66 - 0,96$ ;  $h/d = 0,13 - 0,67$ ;  $R/d = 6,6 - 13,9$ .

Применение струйного подвода воды однозначно обеспечивает улучшение теплоотвода [10], [11]. Однако детальное рассмотрение особенностей происходящих процессов показывает, что струя на выходе из сопла, а также пристенная веерная струя своей частью интенсивно взаимодействуют с окружающей водой, что снижает скорость струи и ее температуру ввиду разбавления водой окружающего пространства. Данное обстоятельство не способствует теплоотводу через судовую обшивку, что указывает на необходимость поиска путей снижения влияния указанных негативных факторов.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Ограничение взаимодействия выходящей из сопла жидкости с окружающим пространством может быть достигнуто за счет приближения выходного отверстия патрубка к судовой обшивке и установки на его кромке специального экрана (рис. 5). Для проведения визуальных исследований пристенной веерной струи была изготовлена экспериментальная модель с прозрачной стенкой. Для визуализации процесса использовалась вода, в которую добавлялись серебрин, тушь и поверхностно активное вещество. Через моделирующую судовую обшивку — прозрачную стенку размером  $200 \times 200$  мм — осуществлялась засветка, позволяющая наблюдать характер течения жидкости. Очевидно, что в случае использования экрана процесс теплоотдачи пристенной веерной струи будет проходить иначе, чем при использовании струйного подвода. С целью изучения этих процессов были проведены экспериментальные теплотехнические исследования на модели такого устройства, представляющего собой моделирующую судовую обшивку теплопередающей стенки площадью  $0,25 \text{ м}^2$ , измерения температуры внутренней поверхности которой осуществлялись с помощью термопар.

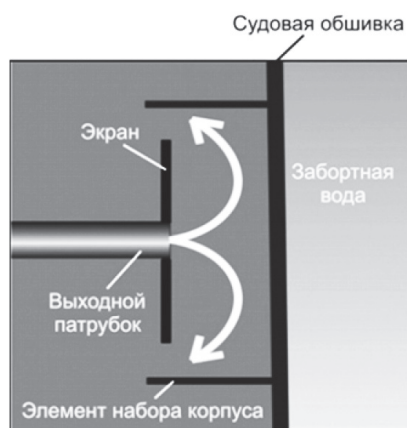


Рис. 5. Схема устройства с экранным подводом охлаждаемой воды

Теплопередающая стенка снаружи охлаждалась постоянно циркулирующей холодной водой. Изменялись расход (скорость) подаваемой охлаждаемой воды, а также ее температура. Подвод горячей охлаждаемой воды осуществлялся через патрубок, на конце которого был размещен экран. В результатедвигающаяся вдоль поверхности веерная струя была полностью изолирована от окружающей воды, тем самым обеспечивалось увеличение скорости движения охлаждаемой воды. Кроме того, за счет исключения перемешивания движущаяся охлаждаемая вода сохраняла максимальную температуру, что обеспечивало максимальный температурный напор между охлаждаемой и забортной водой, что должно было способствовать увеличению теплоотвода, а, следовательно, времени работы разомкнутой системы охлаждения по замкнутому контуру при ее переключении на цистерну забортной воды.



## Результаты (Results)

На рис. 6 представлены результаты визуальных исследований. В центре находится отверстие, подводящее жидкость патрубком диаметром 12 мм. Видно, что вдоль стенки обеспечивается напоминающее веер радиальное растекание охлаждаемой жидкости от центра к периферии. Наибольшая турбулизация потока наблюдается в районе подводящего патрубка. В дальнейшем по ходу течения турбулизация снижается.

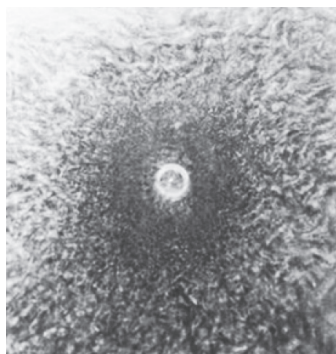


Рис. 6. Течение пристенной веерной струи  
(диаметр сопла 12 мм, размер стенки  $200 \times 200$  мм)

Следует отметить, что экспериментальные теплотехнические исследования позволили определить эффективность теплоотвода в случае использования экрана. На рис. 7 показана зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от расхода  $W$  охлаждаемой воды в случае, когда подвод осуществляется через сопло, и в случае, когда применен экран.

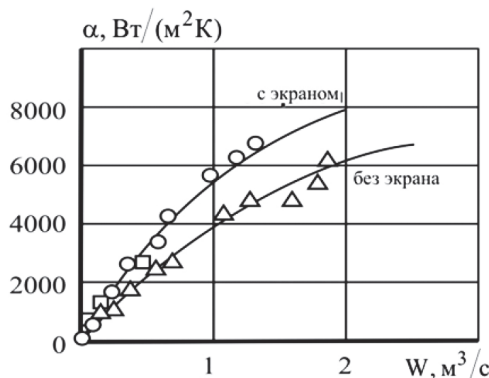


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$   
от расхода  $W$  охлаждаемой воды  
в случае использования сопла и экрана

Выполненные с учетом этого теплотехнические исследования позволили определить соответствующие различным режимам течения жидкости обобщающие уравнения подобия:

– при  $Re_h = 630 \dots 2000$

$$\overline{Nu} = 3,14 Re_h^{0,44} \left( \frac{h}{r} \right)^{0,53-0,45 \lg \frac{r}{R}} \left( \frac{r}{R} \right)^{0,69} \cdot Pr^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25}; \quad (4)$$

– при  $Re_h = 2000 \dots 10^4$

$$\overline{Nu} = 0,15 Re_h^{0,84} \left( \frac{h}{r} \right)^{0,53-0,42 \lg \frac{r}{R}} \left( \frac{r}{R} \right)^{0,082} \cdot Pr^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25}; \quad (5)$$

– при  $Re_h = 10^4 \dots 2,5 \cdot 10^4$

$$\overline{Nu} = 6,14 Re_h^{0,44} \left( \frac{h}{r} \right)^{0,56-0,42 \lg \frac{r}{R}} \left( \frac{r}{R} \right)^{0,094} \cdot Pr^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (6)$$

где  $\overline{Nu}$ ,  $Re$  и  $Pr$  — соответственно числа Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля;

$Pr_c$  — число Прандтля жидкости при температуре стенки;

$r$ ,  $R$  — соответственно радиус внутреннего отверстия выходного патрубка и вписанной окружности поверхности теплоотдачи;

$h$  — расстояние между экраном и поверхностью.

*Примечание.* При доверительной вероятности 0,95 относительная среднеквадратичная погрешность составляет 6–11 %.

### Обсуждение (Discussion)

Как видно из результатов визуальных исследований, пристенная веерная струя имеет достаточно высокую турбулизацию потока, что положительно отражается на эффективности теплоотдачи. Эффективность применения экрана по сравнению с сопловым подводом наглядно демонстрирует рис. 7. При одинаковом расходе охлаждаемой воды обеспечивается увеличение теплоотдачи на 25–30 %. Как отмечалось ранее, это достигается за счет исключения взаимодействия движущегося между экраном и поверхностью потока охлаждаемой жидкости с окружающей жидкостью, находящейся в цистерне.

Известно, что коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности судовой обшивки к забортной воде определяется в основном скоростью обтекания поверхности забортной водой (скоростью движения судна), размерами и формой поверхности, а также теплофизическими свойствами забортной воды. Поэтому в случае неизменности указанных параметров увеличение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  неизбежно ведет к увеличению коэффициента теплопередачи  $K$  и в конечном счете теплоотвода через судовую обшивку. Теплоотвод  $Q$ , Вт, рассчитывается по зависимости

$$Q = K \Delta t F, \quad (7)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  — площадь теплопередающей поверхности судовой обшивки, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  — температурный напор, град.

Использование экрана дает положительный результат. Исключение перемешивания охлаждаемой горячей жидкости с более холодной окружающей жидкостью, находящейся в судовой цистерне, обеспечивает более высокий температурный напор  $\Delta t$  между охлаждаемой горячей и забортной водой, что также способствует увеличению теплоотвода  $Q$ . На рис. 8 показано устройство с экраным подводом охлаждающей жидкости, внедренное на самоходных плавкранах грузоподъемностью 350 т (рис. 9).

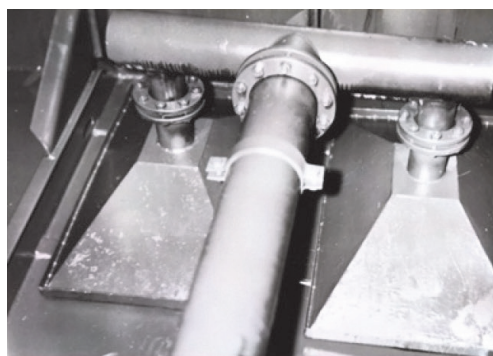


Рис. 8. Устройство теплоотвода с экраным подводом охлаждаемой жидкости

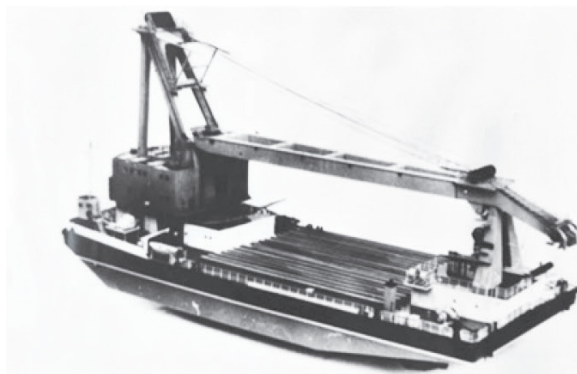


Рис. 9. Плавкран  
грузоподъемностью 350 т

Известны случаи, например, на судах технического флота, когда технологическое оборудование работает циклично. После работы СЭУ на некоторой заданной мощности вода в цистерне нагревается. При существенном снижении нагрузки СЭУ можно охладить воду в цистерне за счет теплоотвода через судовую обшивку посредством указанных устройств. В результате появляется возможность повторной работы системы охлаждения на цистерны забортной воды.

### Выводы (Summary)

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение экранного подвода охлаждаемой воды к судовой обшивке обеспечивает по сравнению со струйным подводом существенное увеличение теплоотвода и, как следствие, времени работы системы охлаждения по замкнутому контуру. Эффект оказывается еще более ощутимым по сравнению со случаем неорганизованного движения жидкости за счет ее простого сброса в цистерну через отверстие подводящего трубопровода.
2. Полученные результаты исследований, а также обобщающие расчетные зависимости в виде уравнений подобия позволяют рассчитать теплоотвод через судовую обшивку в случае применения экранов и разработать на этой основе соответствующую методику теплотехнического расчета.
3. Конструктивно указанные устройства достаточно просты и могут быть выполнены как на этапе постройки судна, так и в процессе его модернизации. Причем экраны могут быть не только плоскими, но и иметь другую форму, сохраняя при этом указанные принципы работы и полученные преимущества.
4. Для судов с цикличной работой энергетической установки указанные устройства могут обеспечить охлаждение воды в цистерне при снижении нагрузки охлаждаемого оборудования. Наличие возможности, даже ограниченной по времени работы системы охлаждения по замкнутому контуру, позволяет минимизировать негативное экологическое воздействие в случае кратковременного захода судна в район интенсивного рыболовства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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).
2. 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.
3. Жуков В. А. Пути совершенствования систем охлаждения судовых дизелей / В. А. Жуков, К. А. Воробей, А. А. Пуляев // Речной транспорт (XXI век). — 2018. — № 2 (86). — С. 50–53.



4. Федоровский К. Ю. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 163 с.

5. Шурпьяк В. К. Учет особенностей систем охлаждения при оценке энергетической эффективности судов / В. К. Шурпьяк // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2014. — № 37. — С. 51–55.

6. Specifying a Trawler [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html> (дата обращения 21.12.2021).

7. Fernstrum Gridcooler. Keel Coolers [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/> (дата обращения 21.12.2021).

8. Федоровский К. Ю. Теплопередача через обшивку корпуса судна и особенности происходящих процессов / К. Ю. Федоровский // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2018. — № 4–2 (330). — С. 168–172.

9. Исатаев М. С. Исследование вихревой картины течения свободной струи, ограниченной плоскими стенками / М. С. Исатаев, Ж. К. Сейдулла, А. Сактаган, Б. Рахатаева // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. — 2021. — № 4 (55). — С. 15–23. DOI: 10.51775/2790-0886\_2021\_55\_4\_15.

10. Терехов В. И. Конвективный теплообмен при натекании кольцевой струи на плоскую преграду / В. И. Терехов, С. В. Калинина, К. А. Шаров // Теплофизика высоких температур. — 2018. — Т. 56. — № 2. — С. 229–234. DOI: 10.7868/S0040364418020096.

11. Веретенников С. В. Влияние интенсивности закрутки на теплоотдачу комбинированной импульсной струи / С. В. Веретенников, О. А. Евдокимов // Семинар вузов по теплофизике и энергетике: материалы Всеросс. науч. конф. с международ. участием. — СПб.: СПб. политехн. ун-т Петра Великого, 2019. — С. 84–85.

## REFERENCES

1. 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>>.

2. 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.

3. Zhukov, V. A., K. A. Vorobei, and A. A. Pulyaev. “Puti sovershenstvovaniya sistem okhlazhdeniya sudovykh dizelei.” *River transport (XX<sup>st</sup> century)* 2(86) (2018): 50–53.

4. Fedorovskii, K. Yu., and N. K. Fedorovskaya. *Zamknutyie sistemy okhlazhdeniya sudovykh energeticheskikh ustanovok*. M.: INFRA-M, 2017.

5. Shurpyak, V. K. “Uchet osobennostei sistem okhlazhdeniya pri otsenke energeticheskoi effektivnosti sudov.” *Nauchno-tehnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva* 37 (2014): 51–55.

6. Specifying a Trawler. Web. 21 Dec. 2021 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>.

7. Fernstrum Gridcooler. Keel Coolers. Web. 21 Dec. 2021 <<http://www.fernstrum.com/products/gridcooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>.

8. Fedorovskiy, K. Yu. “Heat transfer through ship’s shell plating and peculiarities of the processes.” *Fundamental’nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* 4–2(330) (2018): 168–172.

9. Isataev, M. S., Zh. K. Seydulla, A. Sagtagan, and B. Rakhataeva. “Investigation of the vortex picture of a free jet flow bounded by flat walls.” *AUPET Bulletin* 4(55) (2021): 15–23. DOI: 10.51775/2790-0886\_2021\_55\_4\_15.

10. Terekhov, V. I., S. V. Kalinina, and K. A. Sharov. “Convective heat transfer at an annular jet impingement on a flat blockage.” *High Temperature* 56.2 (2018): 217–222. DOI: 10.1134/S0018151X18010194.

11. Veretennikov, S. V., and O. A. Evdokimov. “Vliyanie intensivnosti zakrutki na teplootdachu kombinirovannoi impaktnoi strui.” *Seminar vuzov po teplofizike i energetike: Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. SPb.: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2019. 84–85.

#### 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](mailto:fedkonst@rambler.ru)  
**Гриненко Надежда Константиновна** —  
кандидат технических наук,  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет»  
299053, Российская Федерация, Севастополь,  
ул. Университетская, 33  
e-mail: [n.fedorovskaya14@mail.ru](mailto:n.fedorovskaya14@mail.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](mailto:fedkonst@rambler.ru)  
**Grinenko, Nadezhda K.** —  
PhD  
Sevastopol State University  
33 Universitetskaya Str.,  
Sevastopol, 299053,  
Russian Federation  
e-mail: [n.fedorovskaya14@mail.ru](mailto:n.fedorovskaya14@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 23 декабря 2022 г.  
Received: December 23, 2022.*