

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-559-568

ESTIMATING THE EFFICIENCY OF SHIP POWER PLANTS COOLING SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE ENVIRONMENTAL FACTOR

N. K. Fedorovskaya, K. Yu. Fedorovsky

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Currently, the international maritime conventions set more and more stringent requirements for the environmental safety and energy efficiency of ships and their power plants. The cooling system is one of the most important elements of a ship's power plant. Widespread open-loop dual-circuit cooling systems consume seawater. As a result, plankton and fish fry are destroyed, which leads to a reduction in the fish resources of the seas. An alternative can be closed-loop cooling systems, which completely exclude the intake of outside cooling water and negative environmental impact. Moreover, such systems can have different construction schemes. There is a need for a reasonable choice of one or another system option, taking into account a combination of factors, including environmental. Three options for cooling systems are considered: open-loop two-circuit cooling system; and closed one- and two-circuit cooling systems. In this case, two sub-options for open-loop systems are considered. The first sub-option is the lack of regulation of seawater consumption depending on temperature; the second one is the presence of such regulation by means of bypass (temperature control) or frequency-controlled seawater pump drive. An integral indicator, which includes the cost of the system, the costs of its own energy needs, environmental damage and useful result — the heat transferred by the system, is proposed. It is shown that the open-loop two-circuit cooling system with unregulated seawater consumption, which is characterized the largest number of pumps and consumption of outboard water possesses the worst integral indicator. The closed single-circuit system possesses the best value of the integral indicator, since it excludes the intake of seawater and has the least number of pumps. At the same time, when the vessel is in the sea areas with very low biological productivity, these systems are comparable in terms of efficiency. Regulation of seawater intake by the open system can significantly increase efficiency, which indicates the advisability of using bypass or frequency-controlled pump drive. Moreover, the latter is more preferable in terms of the energy efficiency of the system.

Keywords: cooling system, power plant, efficiency indicator, environmental factor, variable pump drive.

For citation:

Fedorovskaya, Nadezhda K., and Konstantin Yu. Fedorovskiy. "Estimating the efficiency of ship power plants cooling systems taking into account the environmental factor." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 559–568. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-559-568.

УДК 629.12(075.4)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА

Н. К. Федоровская, К. Ю. Федоровский

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

В работе отмечается, что в настоящее время международными морскими конвенциями ужесточаются требования по экологической безопасности и энергоэффективности судов и их энергетических установок. Исследована система охлаждения, которая является одним из важнейших элементов судовой энергетической установки, в частности изучены широко распространенные разомкнутые двухконтурные системы охлаждения, потребляющие забортную воду, в результате чего гибнут планктон и рыбная молодь, что приводит к сокращению рыбных ресурсов морей. Рассматривается вопрос исследования альтернативного варианта, в качестве которого предлагается использование замкнутых систем охлаждения, полностью исключающих прием забортной воды и отрицательное экологическое воздействие. При этом такие системы могут иметь различные схемы построения. Отмечается, что в данном случае

возникает необходимость обоснованного выбора того или иного варианта системы с учетом совокупности факторов, включая экологический. Рассмотрены три варианта систем охлаждения: разомкнутая двухконтурная система охлаждения, а также замкнутые одно- и двухконтурные системы охлаждения. При этом для разомкнутых систем исследовано два подварианта. Первый — отсутствие регулирования потребления забортной воды в зависимости от температуры, второй — присутствие такого регулирования посредством перепуска (терморегулирования) или частотно-регулируемого привода насоса забортной воды. Предложен интегральный показатель, включающий стоимость системы, затраты на собственные энергетические нужды, экологический ущерб и полезный результат — передаваемую системой теплоту. Показано, что наилучшим интегральным показателем обладает разомкнутая двухконтурная система охлаждения с нерегулируемым потреблением забортной воды, характеризующаяся наибольшим количеством насосов и потреблением забортной воды. Оптимальным значением интегрального показателя обладает замкнутая одноконтурная система, поскольку она исключает прием забортной воды и имеет наименьшее количество насосов. В то же время при нахождении судна в морских районах с очень низкой биологической продуктивностью эти системы сопоставимы по эффективности. Подчеркивается, что регулирование приема забортной воды разомкнутой системой позволяет существенно повысить эффективность, что указывает на целесообразность применения перепуска или частотно-регулируемого привода насоса. Причем последний случай является более предпочтительным с точки зрения энергоэффективности системы.

Ключевые слова: система охлаждения, энергоустановка, показатель эффективности, экологический фактор, регулируемый привод насоса.

Для цитирования:

Федоровская Н. К. Оценка эффективности систем охлаждения судовых энергетических установок с учетом экологического фактора / Н. К. Федоровская, К. Ю. Федоровский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 559–568. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-559-568.

Введение (Introduction)

В настоящее время в отношении судов и их энергетических установок четко прослеживается тенденция к повышению их экологической безопасности и энергоэффективности [1], что, в частности, определено в Международной морской конвенции МАРПОЛ-73/78 [2]. В Международном кодексе по управлению безопасностью [3] в качестве одной из его основных целей указывается необходимость не допускать причинения ущерба морской среде. Данный кодекс включен в Международную конвенцию по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС 74) [3]. Указанные требования в полной мере относятся и к системам охлаждения, являющимся важнейшим элементом судовой энергетической установки (СЭУ). Актуальность данного вопроса обуславливают многочисленные исследования, направленные на достижение указанных целей [4]–[8].

В настоящее время наиболее широкое применение получили разомкнутые двухконтурные системы охлаждения, осуществляющие потребление забортной воды. Такие системы наносят существенный экологический ущерб, связанный с уничтожением рыбных ресурсов морей и континентальных водоемов. Соответствующий механизм достаточно подробно описан в работе [9]. Существуют также замкнутые системы охлаждения, исключющие прием забортной воды. Теплоотвод в них осуществляется посредством различных устройств (например, судовых обшивочных теплообменных аппаратов, бокскулеров и т. д.) [10]. Поскольку при этом забортная вода не потребляется, то такие системы не оказывают указанного ранее отрицательного экологического воздействия на морскую среду. Переход от разомкнутых схем систем к замкнутым требует соответствующего технико-экономического обоснования.

Следует отметить, что для разомкнутых систем охлаждения имеются возможности снижения приема забортной воды при снижении мощности двигателя или понижении температуры забортной воды. При этом могут быть реализованы несколько вариантов. Первый вариант связан с перепуском части этой воды за счет использования терморегулятора (рис. 1). В этом случае частота вращения рабочего колеса насоса и его мощность остаются неизменными при изменении мощности двигателя или температуры забортной воды, меняется лишь потребление забортной воды.

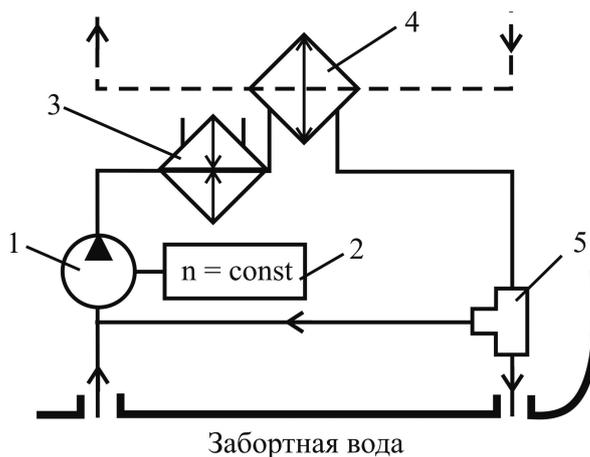


Рис. 1. Система охлаждения забортной водой с перепуском: 1 — насос забортной воды; 2 — электродвигатель насоса забортной воды; 3 — охладители масла и надувочного воздуха; 4 — водоводяной теплообменник; 5 — терморегулятор; - - - - контур охлаждения пресной водой; — — — контур охлаждения забортной водой

Второй вариант связан с обеспечением регулирования частоты вращения насоса, которое наиболее целесообразно выполнять с использованием частотно-регулируемого привода (ЧРП) электродвигателя (рис. 2). При этом изменяется не только потребление забортной воды, но и мощность, потребляемая насосом.

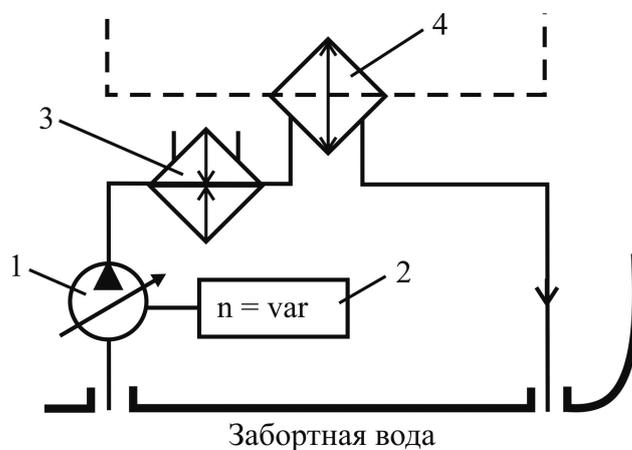


Рис. 2. Система охлаждения забортной водой с регулируемой частотой вращения насоса: 1 — насос забортной воды с регулируемой частотой вращения; 2 — управляемый по частоте вращения привод насоса забортной воды; 3 — охладители масла и надувочного воздуха; 4 — водоводяной теплообменник; - - - - контур охлаждения пресной водой; — — — контур охлаждения забортной водой

Таким образом, из всей совокупности возможных вариантов систем охлаждения следует обоснованно выбрать наиболее эффективный. При этом необходимо учесть экологический фактор, внимание к которому, как отмечалось ранее, неуклонно возрастает.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для оценки систем и определения оптимального варианта может быть использован безразмерный интегральный показатель (ИП) эффективности, построенный по принципу приведенных затрат. При этом затраты относятся к полезному результату:

$$\text{ИП} = \frac{C_{\text{с.г}} + C_{\text{н}} + C_{\text{эк}}}{C_{\text{о}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{о}}$ — стоимость отводимой системой теплоты; $C_{\text{с.г}}$ — стоимость системы, приведенная к году; $C_{\text{н}}$ — затраты на собственные энергетические нужды (работа насосов); $C_{\text{эк}}$ — стоимостное выражение экологического ущерба от работы системы.

Наиболее эффективным вариантом является система с наименьшим значением ИП. Данный показатель можно также представить в виде суммы частных относительных показателей, характеризующих следующие ее признаки:

– стоимость системы

$$K_{\text{с.г}} = C_{\text{с.г}}/C_{\text{о}}; \quad (2)$$

– затраты на собственные энергетические нужды

$$k_{\text{н}} = C_{\text{н}}/C_{\text{о}}; \quad (3)$$

– экологический ущерб

$$k_{\text{эк}} = C_{\text{эк}}/C_{\text{о}}. \quad (4)$$

Тогда

$$\text{ИП} = k_{\text{с.г}} + k_{\text{н}}k_{\text{эк}}. \quad (5)$$

В результате реализации подхода, базирующегося на принципе приведенных затрат, появляется важное преимущество, заключающееся в появлении возможности оценки различных составляющих ИП.

Расчет $C_{\text{с.г}}$ и $C_{\text{н}}$ не представляет особых сложностей. Значения $C_{\text{эк}}$ и $C_{\text{о}}$ могут быть определены по методикам, изложенными в работах [8], [10].

Результаты (Results)

Рассмотрим три основных варианта построения систем охлаждения: широко используемую двухконтурную разомкнутую систему, а также одноконтурную замкнутую и двухконтурную замкнутую систему (рис. 3).

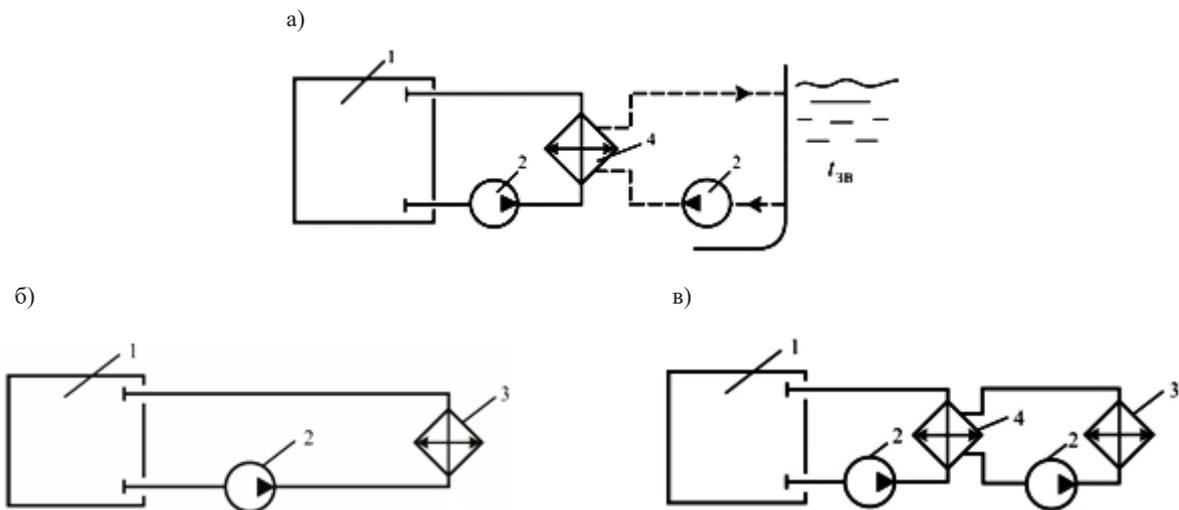


Рис. 3. Схемы систем охлаждения: 1 — охлаждаемое оборудование; 2 — насос; 3 — устройство тепловода; 4 — промежуточный теплообменник; а — разомкнутая двухконтурная; б — замкнутая одноконтурная; в — замкнутая двухконтурная

На рис. 4 показана зависимости $k_{\text{с.г}}$ от мощности Ne судовой дизельной энергетической установки. Наилучшим значением $k_{\text{с.г}}$ характеризуется двухконтурная разомкнутая система охлаждения,

укомплектованная одним теплообменником, связывающим контур пресной охлаждаемой воды и морской воды. Чуть несколько худшими показателями характеризуется одноконтурная замкнутая система. Переход на двухконтурные замкнутые схемы, предусматривающие два насоса и промежуточный теплообменник, резко ухудшает показатель $k_{сг}$.

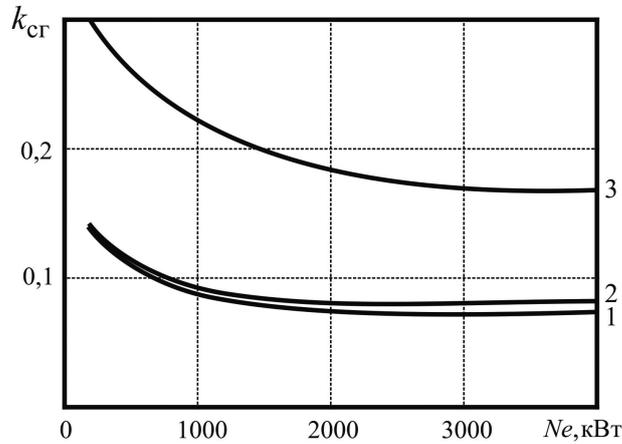


Рис. 4. Зависимость $k_{сг}$ от мощности энергетической установки N_e :
 1 — двухконтурной разомкнутой системы;
 2 — одноконтурной замкнутой системы;
 3 — двухконтурной замкнутой системы

Если отсутствует регулирование частоты вращения насоса заборной воды, то по показателю k_n двухконтурная разомкнутая и двухконтурная замкнутая системы имеют одинаковое значение, равное 0,05. Одноконтурная замкнутая система охлаждения является оптимальной и имеет значение $k_n = 0,024$, что объясняется меньшим количеством насосов, обеспечивающих ее работу.

Применение в системах охлаждения ЧРП позволяет примерно в три раза снизить значение k_n . На рис. 5 приведены соответствующие данные при разнице температур выхода и входа заборной воды $\delta t_{зв} = 7^\circ\text{C}$. Наибольший эффект проявляется в области низких температур заборной воды $t_{зв}$. При этом учитывается, что в соответствии с действующими нормами оборудование рассчитано на работу при максимально допустимой температуре заборной воды, равной 32°C .

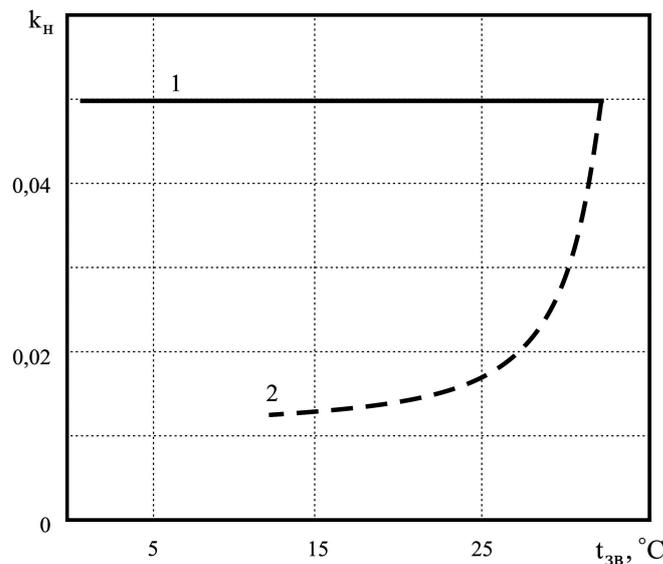


Рис. 5. Зависимость от k_n от $t_{зв}$ при $\delta t_{зв} = 7^\circ\text{C}$:
 1 — разомкнутая система обычная и с перепуском;
 2 — разомкнутая система с ЧРП насоса

Следует отметить, что снижение k_n фактически означает большую энергоэффективность системы, что соответствует требованиям гл. 4 прил. VI, приведенным в Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 [3].

В случае отсутствия регулирования частоты вращения насоса заборной воды значение показателя экологического ущерба $k_{эк}$ в рамках заданного морского района для разомкнутой системы является постоянной величиной, не зависящей от N_e . Однако при смене района эксплуатации судна или схемы построения системы охлаждения СЭУ значение $k_{эк}$ изменяется. В качестве примера рассмотрены Черное, Баренцево и Белое моря (рис. 6). Баренцево море и сопредельные воды отличаются высокой продуктивностью, обеспечивая до 5 % мировой добычи морских и океанических рыб [11]. Поэтому данное море обладает наибольшим значением $k_{эк}$, что почти в три раза больше, чем в Черном море, и в несколько сот раз больше, чем в Белом море.

Обращает на себя внимание тот факт, что значения $k_{эк}$ значительно больше значений k_n и сопоставимы со значениями $k_{с.г.}$, что четко указывает на значимость экологического фактора в рамках ИП.

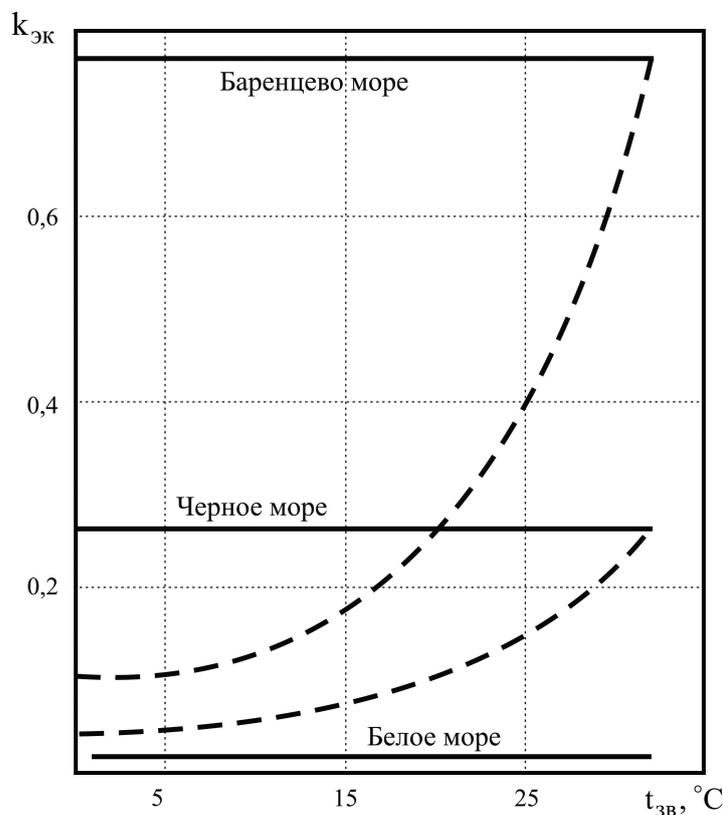


Рис. 6. Зависимость $k_{эк}$ от $t_{зв}$ при $\Delta t_{зв} = 7 ^\circ\text{C}$
 - - - - - система охлаждения разомкнутая обычная;
 — — — система охлаждения с перепуском
 или частотно-регулируемым приводом насоса

Наибольшее снижение $k_{эк}$ наблюдается в отношении Баренцева моря, характеризующегося, как отмечалось ранее, наибольшей рыбной продуктивностью. Белое море имеет очень малую рыбную продуктивность и поэтому соответствующее графическое обозначение (пунктирная линия) на рис. 6 не приведено. Интегральный показатель, представляющий собой сумму $k_{с.г.}$, k_n и $k_{эк}$, приведен на рис. 7.

Следует также рассмотреть вопрос об изменении ИП разомкнутых систем охлаждения с учетом колебаний $k_{эк}$ при различных значениях температуры, что позволяет изменять потребление заборной воды за счет регулирования частоты вращения насоса.

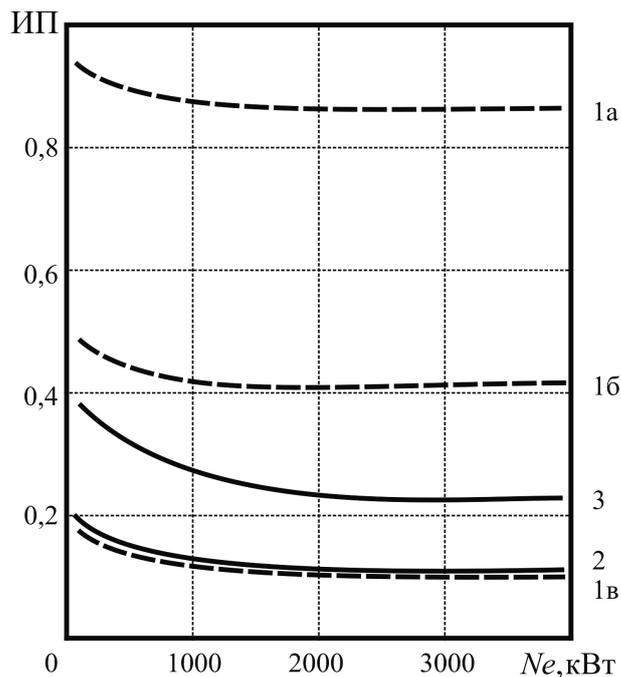


Рис. 7. Зависимость интегрального показателя IIP от мощности энергетической установки Ne :
 1 — двухконтурная разомкнутая система
 (а — Баренцево море, б — Черное море, в — Белое море);
 2 — одноконтурная замкнутая; 3 — двухконтурная замкнутая

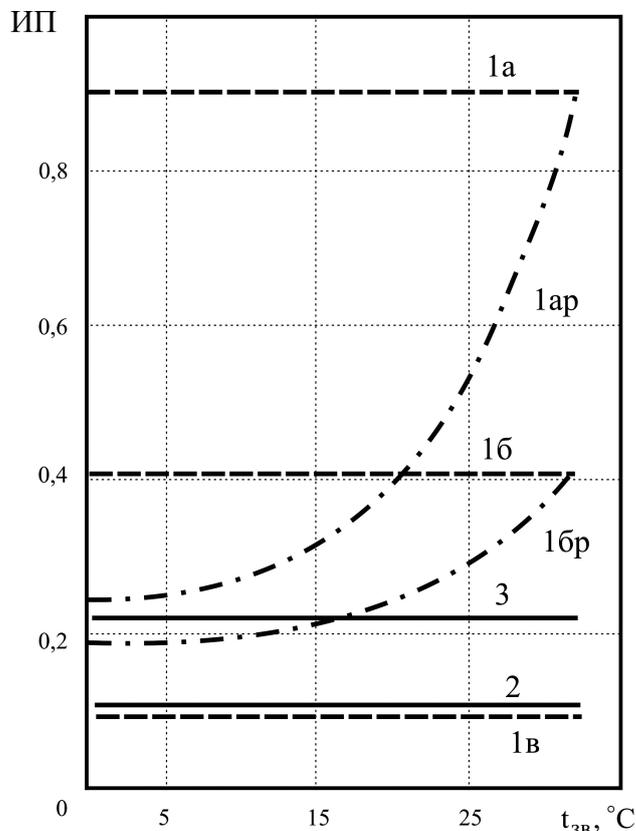


Рис. 8. Зависимость IIP от $t_{зв}$ при $t_{зв} = 7^\circ C$ и $Ne = 3000$ кВт
 1 — двухконтурная разомкнутая система (а — Баренцево море, б — Черное море, в — Белое море);
 2 — одноконтурная замкнутая; 3 — двухконтурная замкнутая; 1аp и 1бp — система охлаждения с регулируемым потреблением забортной воды (перепуск или ЧРП) для Баренцева и Черного морей

Таким образом, для морей, имеющих высокую или среднюю рыбную продуктивность, наилучшим ИП обладает одноконтурная замкнутая система охлаждения. Для морей с очень низкой рыбной продуктивностью разомкнутая двухконтурная система становится практически эквивалентной одноконтурной замкнутой системе.

Обсуждение (Discussion)

Представленные результаты указывают на необходимость всестороннего учета факторов, определяющих работу системы охлаждения судовой энергетической установки. В частности, если рассматривается стоимость системы (см. рис. 1), то наилучший показатель $k_{c,r}$ соответствует двухконтурной разомкнутой системе, а наихудший — двухконтурной замкнутой системе, однако включение в рассмотрение других факторов вносит коррективы.

В отношении затрат на собственные энергетические нужды решающим является количество используемых в системе насосов и возможность применения ЧРП. Так, в случае нерегулируемых приводов насосов по показателю k_n наиболее эффективной является одноконтурная замкнутая система. Использование в системе ЧРП насоса позволяет при понижении температуры забортной воды существенно снизить значение k_n (см. рис. 3), практически достигнув или даже улучшив этот показатель по сравнению с одноконтурной замкнутой системой.

По экологическому показателю $k_{эк}$ однозначно лучшими являются замкнутые системы охлаждения, которые полностью исключают прием забортной воды и, соответственно, уничтожение рыбных ресурсов морей ($k_{эк} = 0$). Для разомкнутых систем $k_{эк}$ существенно зависит от морского района эксплуатации судна (см. рис. 6). Высокая биологическая продуктивность моря приводит к увеличению значения $k_{эк}$. Однако использование в системе перепуска (терморегулирования) или ЧРП позволяет существенно улучшить данный частный показатель, например при снижении температуры забортной воды.

Указанные тенденции учитывает ИП, объединяющий частные показатели $k_{c,r}$, k_n и $k_{эк}$. В случае, если в системе не используются перепуск или ЧРП (см. рис. 7), наиболее эффективной является одноконтурная замкнутая система. В то же время для морей с низкой биологической продуктивностью (например, Белое море) разомкнутая система оказывается сопоставимой с одноконтурной замкнутой системой. Применение перепуска или ЧРП для морей с высокой биологической продуктивностью (например, Баренцево и Черное моря) обеспечивает существенное снижение значений ИП, однако при этом не достигаются значения, соответствующие одноконтурной замкнутой системе.

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что эффективность различных вариантов систем охлаждения определяется конструктивными особенностями и биологической продуктивностью морей. Предложенный интегральный показатель позволяет оценить эффективность систем охлаждения с учетом технических и экологических факторов.

2. Определено, что наилучшим интегральным показателем обладают замкнутые системы охлаждения, полностью исключаящие прием забортной воды. В случае использования разомкнутых систем экологическая составляющая $k_{эк}$ существенно зависит от морского района эксплуатации судна и ее весомость в составе ИП может быть значительной.

3. Для морей с очень низкой биологической продуктивностью (например, Белое море) разомкнутая система охлаждения может иметь значение ИП, сопоставимые с замкнутой системой охлаждения. Для морей с высокой биологической продуктивностью может быть рекомендовано применение перепуска или ЧРП насосов, обеспечивающее снижение потребления забортной воды при снижении эксплуатационной мощности двигателя или понижении температуры в акватории.

Таким образом, предложенный подход позволяет с учетом экологического фактора сопоставить различные варианты систем и обосновать выбор наиболее эффективного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев В. В.* Обзор и анализ возможностей различных способов повышения энергетической эффективности судов / В. В. Медведев, В. В. Гаврилов, С. Н. Киселев // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2018. — № 2–1 (40). — С. 94–103.
2. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78). — Кн. I и II. — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2017. — 824 с.
3. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (МК СОЛАС-74). (Консолидированный текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2021. — 1184 с.
4. *Безюков О. К.* Современная концепция регулирования охлаждения судовых дизелей / О. К. Безюков, В. А. Жуков, В. Н. Тимофеев // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 3 (31). — С. 93–103. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-93-103.
5. *Zhukov V.* Factors Determining Thermohydraulic Efficiency of Liquid Cooling Systems for Internal Combustion Engines / V. Zhukov, V. Erofeev, O. Melnik // *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. — Springer, Cham, 2019. — Pp. 463–472. DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_40.
6. *Bezyukov O. K.* Effectiveness of liquid cooling systems in motors and manufacturing equipment / O. K. Bezyukov, V. A. Zhukov, O. V. Zhukova // *Russian Engineering Research*. — 2008. — Vol. 28. — Is. 11. — Pp. 1055–1057. DOI: 10.3103/S1068798X08110063.
7. *Покусаев М. Н.* Определение производительности системы охлаждения судового двигателя в зависимости от температуры забортной воды / М. Н. Покусаев, А. В. Трифонов // 64-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 90-летию юбилею со дня образования Астраханского государственного технического университета: сб. тр. конф. — Астрахань: АГТУ, 2020. — С. 217.
8. *Федоровский К. Ю.* Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 163 с.
9. *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.
10. *Федоровская Н. К.* Учет экологического фактора при оценке эффективности систем охлаждения судовых энергетических установок / Н. К. Федоровская, К. Ю. Федоровский, В. В. Ениватов // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. — 2020. — № 4 (342). — С. 157–160.
11. *Александрова М. А.* Общая характеристика экосистемы Баренцева моря. Анализ исследований экосистемы Баренцева моря / М. А. Александрова // *Успехи современной науки*. — 2016. — Т. 5. — № 11. — С. 170–172.

REFERENCES

1. Medvedev, Valery V., Vladimir V. Gavrillov, and Stepan N. Kiselev. “Review and analysis of the possibility of various methods of increasing the energy efficiency of vessels.” *Marine intelligent technologies* 2–1(40) (2018): 94–103.
2. International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78). SPb.: ZAO “TsNIIMF”, 2017.
3. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, (SOLAS-74). (Text modified by the Protocol of 1988 relating thereto, including Amendments). SPb.: ZAO “TsNIIMF”, 2021.
4. Bezyukov, O.K., V. A. Zhukov, and V. N. Timofeev. “Contemporary conception of regulation in cooling system of ship’s diesel engines.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(31) (2015): 93–103. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-93-103.
5. Zhukov, Vladimir, Valentin Erofeev, and OlesyaMelnik. “Factors Determining Thermohydraulic Efficiency of Liquid Cooling Systems for Internal Combustion Engines.” *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. Springer, Cham, 2019. Springer, Cham, 2019. — Pp. 463–472. DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_40.
6. Bezyukov, O. K., V. A. Zhukov, and O. V. Zhukova. “Effectiveness of liquid cooling systems in motors and manufacturing equipment.” *Russian Engineering Research* 28.11 (2008): 1055–1057. DOI: 10.3103/S1068798X08110063.

7. Pokusaev, M. N., and A. V. Trifonov. “Opredelenie proizvoditel’nosti sistemy okhlazhdeniya sudovogo dvigatelya v zavisimosti ot temperatury zabortnoi vody.” *64-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, posvyashchennaya 90-letnemu yubileyu so dnya obrazovaniya Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Materialy konferentsii*. Astrakhan’: Astrakhanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2020. 217.

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

9. 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 admiralа S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1068–1077. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1068-1077.

10. Fedorovskaya, N. K., K. Yu. Fedorovskiy, and V. V. Enivatov. “Taking into account the ecological factor in assessing the efficiency of cooling systems for ship power plants.” *Fundamental and applied problems of engineering and technology* 4(342) (2020):157–160.

11. Aleksandrova M. A. “Fiber-reinforced concrete and products on its basis.” *Uspekhi sovremennoi nauki* 5.11 (2016): 170–172.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоровская Надежда Константиновна — ассистент
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
299053, Российская Федерация, Севастополь,
ул. Университетская, 33
e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

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

Fedorovskaya, Nadezhda K. — Assistant
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

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

Статья поступила в редакцию 26 апреля 2021 г.

Received: April 26, 2021.