ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

УДК 629.543+336.532.2
EDN: EONJIB

Ю.А. Кочнев[1], Е.П. Роннов[1], И.Б. Кочнева[1], И.А. Гуляев[2]
[1] ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», Нижний Новгород, Россия
[2] ФАУ «Российское классификационное общество», Москва, Россия

УКРУПНЕННЫЕ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВОГО СУДНА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГЛАВНЫХ ПРОЕКТНЫХ НЕИЗВЕСТНЫХ

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются методики оценки эффективности принимаемых решений при оптимизации проектных элементов и характеристик нефтеналивных судов внутреннего и смешанного («река – море») плавания. Цель – разработка целевых функций оптимизации судна, подобных по своему распределению основным критериям эффективности, принимаемым в теории проектирования судов: прибыли, рентабельности, приведенным затратам.

Материалы и методы. Для выбора наилучшего варианта проекта в задачах исследовательского проектирования применяется один из экономических критериев, отражающих эффективность постройки и эксплуатации судна на линии, использование которых не обеспечивает точность, но существенно усложняет математическую модель судна. Предлагается заменить функцию цели в виде экономического критерия эффективности на функцию, подобную ей, зависящую от главных неизвестных, определяемых и уточняемых на всех этапах разработки проекта.

Основные результаты. Предложены варианты критерия эффективности, отражающие прибыль, приведенные затраты, рентабельность и зависящие от основных проектных характеристик судна: грузоподъемности, кубического модуля, мощности, коэффициента утилизации по грузоподъемности, полного водоизмещения и скорости. Дополнительно разработана функция подобия критериям в зависимости от главных неизвестных: длины, ширины, осадки, высоты борта, коэффициента полноты водоизмещения и мощности главных двигателей.

Заключение. Полученные критерии позволяют выбирать оптимальный вариант проекта судна на начальном этапе проектирования, а их применение в математических моделях задач внутреннего и внешнего проектирования – без потери адекватности и точности существенно упростить разработку и реализацию и сократить затраченное на это время.

Ключевые слова: критерий эффективности, танкер, прибыль, рентабельность, приведенные затраты.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP DESIGN AND STRUCTURE

UDC 629.543+336.532.2
EDN: EONJIB

Yu.A. Kochnev[1], Ye.P. Ronnov[1], I.B. Kochneva[1], I.A. Gulyaev[2]
[1] Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia
[2] Russian Class Society, Moscow, Russia

LUMPED EFFICIENCY MODELS FOR CARGO SHIPS IN OPTIMIZATION OF MAIN DESIGN UNKNOWNS

Object and purpose of research. This paper discusses efficiency assessment procedures for decision making in design and performance optimization of inland and coastal (river-sea) crude-oil tankers. The purpose of the study was to

Для цитирования: Кочнев Ю.А., Роннов Е.П., Кочнева И.Б., Гуляев И.А. Укрупненные модели эффективности грузового судна при оптимизации главных проектных неизвестных. Труды Крыловского государственного научного центра. 2026; 2(416): 55–63.
For citations: Kochnev Yu.A., Ronnov Ye.P., Kochneva I.B., Gulyaev I.A. Lumped efficiency models for cargo ships in optimization of main design unknowns. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2026; 2(416): 55–63 (in Russian).

develop target optimization functions with distribution similar to main efficiency criteria in ship design theory, i.e. profit, cost efficiency, reduced costs.

Materials and methods. To choose the best variant, research designers apply one of the financial criteria reflecting cost efficiency of ship construction and operation. These criteria complicate mathematical models of ship and sometimes fail to yield accurate estimates. Therefore, the authors propose to abandon the cost-based target function for a similar one dependent on the main unknowns to be determined and updated at all stages of ship design.

Main results. The paper suggests several variants of the efficiency criteria reflecting profits, reduced costs and cost efficiency. These criteria depend on main design parameters of ship: cargo capacity, cubic number, power, payload-to-deadweight ratio, total displacement and speed. In addition, the authors managed to develop a similarity function for the criteria depend on main design unknowns: length, beam, draft, depth, block coefficient and main engine power.

Conclusion. The criteria derived by the authors enable optimal choice of ship variant at early design stages, and application of these criteria in mathematical models of design tasks (both internal and external) will considerably simplify and accelerate the process of development and implementation without prejudice to adequacy and accuracy.

Keywords: efficiency criterion, tanker, profit, cost efficiency, reduced costs.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Основная задача любого проектирования – это создание объекта с наилучшими характеристиками, отвечающего заданным требованиям исходных данных. Подобная задача в судостроении решается на этапе исследовательского проектирования при обосновании характеристик и проектных элементов судна. Для этого используется оптимизация системы уравнений, неравенств и ограничений, описывающих судно на этапах проектирования, строительства, а затем и эксплуатации. Последнее выполняется на основании выбранного проектантом критерия эффективности, как правило, отражающего экономическую результативность.

В качестве таких критериев часто выступают прибыль, приведенные затраты, срок окупаемости, рентабельность и др. [1, 2]. Однако известный уровень приближенности определения проектных элементов и характеристик большинства подсистем судна, а также значительная неопределенность условий постройки и эксплуатации на данном этапе проектирования приводят к существенной погрешности расчета экономических показателей, которые качественно могут отражать характер выбранного типа эффективности, но в количественном виде далеки от реальных значений.

Поэтому можно сделать вывод, что для поиска судна с оптимальными проектными элементами и характеристиками допустимо не рассчитывать детально экономический критерий, а использовать некую функцию, подобную экономическому показателю, зависящую от главных неизвестных в заданном диапазоне изменения параметров проектирования. Это позволит существенно упростить математические модели судна при сохранении достоверности и адекватности, сократить время на их разработку и исследование. Данная актуальная задача и является основной целью настоящей работы.

Материалы и методы

Materials and methods

Применяемые критерии годовой прибыли, рентабельности и приведенных затрат определяются тремя основными показателями: доходами, капитальными вложениями (стоимостью) и эксплуатационными затратами.

Доходы судна за рейс на этапе исследовательского проектирования определяются приближенным уравнением

$$Д = P_{гр} L_э F, \quad (1)$$

где $P_{гр}$ – заданная грузоподъемность, т; $L_э$ – протяженность линии эксплуатации, км; F – фрахтовая ставка перевозки 1 т груза на 1 км, руб./т·км.

Капитальные вложения в большей степени зависят от стоимости материалов (R_1) и заработной платы персонала (R_2). Остальные составляющие полной цены судна, например транспортно-заготовительные расходы и дополнительная заработная плата, определяются пропорционально R_1 и R_2, которые в свою очередь зависят от масс отдельных конструктивных элементов судна, их удельной стоимости и трудоемкости работ.

На начальном этапе проектирования одним из методов расчета масс судна и его стоимости является представление через модули, измерители массы [3, 4] и норматив единицы ее стоимости [5]:

- стоимость материалов для судна

$$R_1 = \sum \psi_{LBH\,i} \times LBH \times \theta_{LBH\,i} + \sum \psi_{N\,i} \times N \times \theta_{N\,i}, \quad (2)$$

где $\psi_{LBH\,i}$, $\theta_{LBH\,i}$ – приведенный измеритель и норматив стоимости 1 т масс, зависящих от

кубического модуля; $\psi_{N\,i}$, $\theta_{N\,i}$ – приведенный измеритель масс и норматив стоимости 1 т масс, зависящих от мощности главных двигателей;

- заработная плата

$$R_2 = \sum \psi_{LBH\,i} \times LBH \times \vartheta_{LBH\,i} \times \varphi_i + \\ + \sum \psi_{N\,i} \times N \times \vartheta_{N\,i} \times \varphi_i, \quad (3)$$

где $\vartheta_{LBH\,i}$, $\vartheta_{N\,i}$ – удельная трудоемкость изготовления подсистем судна, определяемых через кубический модуль и мощность; φ_i – норматив стоимости работ.

В общем виде капиталовложения на постройку судна (строительная стоимость) могут быть представлены уравнением

$$\text{К} = a_{LBH} LBH + a_N N, \quad (4)$$

где a_{LBH}, a_N – обобщенные параметры пропорциональности капиталовложений, зависящие от размерений и мощности судна, либо принимаемые по статистике, либо равные

$$a_{LBH} = \sum \psi_{LBH\,i} \times \left(k_1 \theta_{LBH\,i} + k_2 \vartheta_{LBH\,i} \varphi_i\right) k_3; \quad (5)$$

$$a_N = \sum \psi_{LBH\,i} \times \left(k_1 \theta_{N\,i} + k_2 \vartheta_{N\,i} \varphi_i\right) k_3, \quad (6)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты пропорциональности транспортно-заготовительных расходов, расходов на оплату труда, прочих и неучтенных расходов соответственно.

Текущие затраты на эксплуатацию судна состоят из прямых и косвенных расходов по судну. Доминирующее влияние из них составляют расходы на топливо, т.е. зависящие от мощности СЭУ, и лизинговые платежи (или их аналоги, такие как плата за кредит, амортизационные расходы), определяемые в зависимости от стоимости судна:

$$\text{З} = a_L a_{LBH} LBH + N(a_L a_N + a_T), \quad (7)$$

где a_L – приведенный показатель лизинговых платежей; a_T – параметр приведенных затрат на топливо.

В работе [6] показано, что для расчета большинства масс вместо модуля *LBH* без потери точности расчетов может быть применено водоизмещение *D*. Также для расчета мощности на начальном этапе проектирования можно использовать формулу адмиралтейского коэффициента:

$$N = \frac{D^{2/3} v^3}{Ca}, \quad (8)$$

где ν – заданная скорость судна, км/ч; *Ca* – адмиралтейский коэффициент.

Тогда выражения для целевой функции, подобной соответствующему экономическому критерию, зависящей от главных неизвестных судна или их сочетания, после приведения подобных слагаемых и объединения относительных коэффициентов примут вид:

- отражающие прибыль

$$Q_{\text{П}1} = b_p \times P_{\text{гр}} + b_{LBH} LBH + b_N N; \quad (9)$$

либо

$$Q_{\text{П}2} = D\left\{ d_P \eta + d_D + d_N \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}} \right\}; \quad (10)$$

- отражающие рентабельности

$$Q_{\text{Э}1} = \frac{b_P \times P_{\text{гр}}}{f_{LBH} LBH + f_N N}; \quad (11)$$

либо

$$Q_{\text{Э}2} = \eta \frac{b_P}{h_D + h_N \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}}}; \quad (12)$$

- отражающие приведенные затраты

$$Q_{\text{ЗП}1} = j_{LBH} LBH + j_N N; \quad (13)$$

либо

$$Q_{\text{ЭП}2} = D\left\{ k_D + k_N \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}} \right\}; \quad (14)$$

где *LBH* – кубический модуль судна, представляющий произведение длины *L*, ширины *B* и высоты борта *H*, м; *N* – мощность главных двигателей, кВт; *D* – проектное водоизмещение, т; η – коэффициент утилизации водоизмещения по грузоподъемности; b_p, b_{LBH}, b_N, d_p, d_D, d_N, f_{LBH}, f_N, h_D, h_N, j_{LBH}, j_N, k_D, k_N – весовые коэффициенты соответствующего критерия эффективности (далее ВКЭ).

Для конкретного оптимизируемого по заданным исходным данным судна в уравнениях (9)–(14) неопределенными являются ВКЭ, которые могут быть получены на основе регрессионного анализа распределения прибыли, рентабельности и приведенных затрат для судов с различными характеристиками. При классическом способе расчета рассматриваемых критериев необходимо определить доходы судна от перевозки заданного груза на некоторой линии эксплуатации (Д), себестоимость или текущие затраты за год (З), а также капиталовложения для строительства или приобретения в лизинг судна (К).

Анализируя методики расчета перечисленных величин на начальных этапах проектирования [5], можно заключить, что капиталовложения определяются кубическим модулем и мощностью, себестоимость дополнительно учитывает особенности линии эксплуатации судна, которые можно свести к ее длине, а доходы от работы судна в значительной степени зависят также от протяженности линии перевозки и фрахта за перевозку 1 т груза на 1 км.

В задачах проектирования судов исходными данными чаще всего выступает грузоподъемность, через которую, используя уравнение грузовместимости [7, 8], может быть получен кубический модуль для танкера

$$LBH = \frac{P_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}\tau}, \tag{15}$$

где $\rho_{\text{гр}}$ – плотность наливного груза, т/м³; τ – относительные величины по судну, включающие потери объема на набор, второй борт и второе дно, длину грузового района, неравномерность распределения груза и т.п.

Аналогичным образом, используя уравнения первой группы для определения мощности судна [3], ее значение можно получить по выражению

$$N = \frac{\left(\frac{P_{\text{гр}}}{\eta}\right)^{2/3} v^3}{Ca}. \tag{16}$$

Т.е. можно заключить, что критерии эффективности судна зависят от четырех параметров: грузоподъемности, характеристик груза (плотности для наливных судов), скорости хода и протяженности линии эксплуатации.

Таблица 1. Исходные данные для дробно-факторного эксперимента

Table 1. Input data for fractional-factorial experiment

№ опыта	$P_{\text{гр}}$	$\rho_{\text{гр}}$	v	$L_{\text{э}}$
1	2000	0,72	18	300
2	5000	0,72	18	1100
3	2000	0,98	18	1100
4	5000	0,98	18	300
5	2000	0,72	22	1100
6	5000	0,72	22	300
7	2000	0,98	22	300
8	5000	0,98	22	1100

Используя методы планирования экспериментов [9, 10] при окончательно полученном перечне переменных, а также дробно-факторное исследование применительно к нефтеналивному танкеру, необходимо провести восемь тестовых расчетов оптимизации с их различными значениями, охватывающими диапазон, характерный для наливных судов внутреннего и смешанного («река – море») плавания (табл. 1).

Результаты

Results

Применив разработанную ранее методику оптимизации элементов и характеристик комбинированных судов (тип танкер/площадка) [11], которая при задании грузоподъемности по сухому грузу равной нулю позволяет определять элементы и характеристики «чистого» танкера, авторы получили виртуальную базу по наливным судам.

После статистической обработки результатов расчета и построения регрессионных моделей для всех исследуемых величин получены значения весовых коэффициентов рассматриваемых критериев эффективности для уравнений (9)–(14).

Анализ показал низкую корреляцию между исходными данными (параметрами уравнения регрессии) и одним из критериев – рентабельностью. Поэтому в дальнейшем рассмотрении его принято представлять в виде соотношения прибыли к капиталовложениям, отражающим срок окупаемости. В работе [12] показана общая взаимосвязь между капиталовложениями (стоимостью судна), кубическим модулем, водоизмещением, скоростью и мощностью. Прибыль, используемая в числителе общепринятого уравнения для рентабельности, определяется функционалами (9) и (10).

Т.е. окончательно значение функции, подобной показателю рентабельности, можно представить в виде

$$Q_{\text{Э}1} = \frac{Q_{\text{П}1}}{K_{LBH}} = \frac{Q_{\text{П}1}}{f_{LBH}LBH + f_N N}; \tag{17}$$

$$Q_{\text{Э}2} = \frac{Q_{\text{П}2}}{K_D} = \frac{Q_{\text{П}2}}{h_D + h_N \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}}}, \tag{18}$$

где K_{LBH}, K_D – капиталовложения, определенные через «кубический модуль – мощность» и «водоизмещение – скорость» соответственно.

Исследования также показали возможность определять с достаточной степенью точности выбранные критерии эффективности без учета длины линии эксплуатации. В таком случае ВКЭ определяются однозначно:

$$Q_{П1} = 1{,}48 \times P_{гр} - 0{,}125 \times LBH - 1{,}621 \times N; \quad (19)$$

$$Q_{П2} = D\left\{81{,}84 \times \eta - 36{,}55 - 4{,}263 \times 10^{-3} \times \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}}\right\}; \quad (20)$$

$$K_{LBH} = 0{,}138 \times LBH - 1{,}89 \times 10^{-3} \times N; \quad (21)$$

$$K_D = 181{,}8 - 14{,}3 \times 10^{-3} \times \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}}; \quad (22)$$

$$Q_{ЗП1} = 0{,}119 \times LBH + 0{,}288 \times N; \quad (23)$$

$$Q_{ЗП2} = D\left\{37{,}5 + 18{,}09 \times 10^{-3} \times \frac{v^3}{\sqrt[3]{D}}\right\}. \quad (24)$$

В случае, если в задаче оптимизации расстояния между предполагаемыми портами перевозки груза необходимо учитывать, то ВКЭ могут быть найдены общим уравнением

$$b_i = a_0 + a_1 L_э \times 10^{-3}, \quad (25)$$

где a_0, a_1 – коэффициенты регрессии.

Численные значения ВКЭ для расчета функции подобной прибыли и приведенных затрат приведены в табл. 2 и 3.

Следует отметить, что коэффициенты f_{LBH}, f_N, h_D, h_N, характеризующие стоимость судна, во всех случаях определяются без учета длины линии эксплуатации.

Полученные уравнения и критерии позволяют рассчитать основные критерии эффективности (9)–(14). Однако в некоторых типах задач исследовательского проектирования может быть необходимо показать взаимосвязь со всеми главными неизвестными судна (L, B, H, T, δ, N), что позволяет отслеживать влияние изменения каждой из величин на эффективность.

Т.е. функцию цели можно представить в виде общего уравнения

$$Q_\lambda = b_\lambda + b_{\lambda L} L + b_{\lambda b} B + b_{\lambda H} H + b_{\lambda T} T + b_{\lambda\delta}\,\delta + b_{\lambda N} N \times 10^{-3}, \quad (26)$$

где λ – индекс критерия эффективности, принимающий значения П, ЗП, К, соответственно прибыль, приведенные затраты и стоимость постройки судна; b_λ, $b_{\lambda L}$, $b_{\lambda b}$, $b_{\lambda H}$, $b_{\lambda T}$, $b_{\lambda\delta}$, $b_{\lambda N}$ – коэффициенты уравнения регрессии (в общем виде $b_{\lambda S}$), отражающие начальный уровень эффективности и влияние длины, ширины, высоты борта, осадки, коэффициента общей полноты водоизмещения и мощности соответственно. Данные коэффициенты также могут быть определены однозначно в соответствии с табл. 4, или, используя уравнение (25), спрогнозированы исходя из длины линии эксплуатации (табл. 5).

Обсуждение

Discussion

Полученные целевые функции являются эквивалентными в смысле показателя оптимизации зависимостям, отражающим изменения прибыли, приведенных затрат и рентабельности от принятых проектных элементов и характеристик судна.

Таблица 2. Значения весовых коэффициентов соответствующих критериев эффективности для расчета критерия прибыли

Table 2. Weighted coefficients for corresponding efficiency criteria in calculation of profit-based criterion

Переменная	b_p	b_{LBH}	b_N	d_p	d_D	$d_N \times 10^{-3}$
a_0	1,74	–0,431	–1,778	77,080	–40,65	–7,888
a_1	–0,26	0,306	0,158	4,756	4,093	3,625

Таблица 3. Значения весовых коэффициентов соответствующих критериев эффективности для расчета критерия приведенных затрат

Table 3. Weighted coefficients for corresponding efficiency criteria in calculation of reduced costs criterion

Переменная	$10 \times j_{LBH}$	j_N	k_D	$k_N \times 10^{-3}$
a_0	0,988	0,796	45,1	7,835
a_1	0,201	–0,508	–7,55	10,25

Таблица 4. Значения весовых коэффициентов соответствующих критериев эффективности для расчета критериев через главные неизвестные

Table 4. Weighted coefficients for corresponding efficiency criteria in calculation of main unknown-based criterion

Критерий	b_λ	$b_{\lambda L} \times 10^3$	$b_{\lambda b} \times 10^2$	$b_{\lambda H} \times 10^2$	$b_{\lambda T}$	$b_{\lambda \delta}$	$b_{\lambda N}$
П	–18,18	39,5	44,4	6,5	2,143	3,608	–0,869
ЗП	–0,710	3,771	3,32	1,03	0,115	0,400	0,202
К	–1,047	4,85	4,321	0,623	0,165	0,539	–0,111

Таблица 5. Значения весовых коэффициентов соответствующих критериев эффективности для расчета критериев через главные неизвестные при известной линии эксплуатации

Table 5. Weighted coefficients for corresponding efficiency criteria in calculation of main unknown-based criterion for given operational profile

Критерий		b_λ	$b_{\lambda L} \times 10^3$	$b_{\lambda B}$	$b_{\lambda H}$	$b_{\lambda T}$	$b_{\lambda \delta}$	$b_{\lambda N}$
П	a_0	–11,75	33,87	0,341	0,898	0,235	–3,712	4,032
	a_1	–6,43	5,646	0,103	–0,833	1,908	7,32	–4,902
ЗП	a_0	–0,653	3,448	$3{,}334 \times 10^{-2}$	$0{,}889 \times 10^{-2}$	0,156	0,443	0,099
	a_1	–0,057	0,323	$0{,}014 \times 10^{-2}$	$1{,}923 \times 10^{-2}$	–0,041	–0,043	0,104

Например, на рис. 1 показано влияние коэффициента общей полноты на прибыль судна. По оси ординат отложены нормированные значения целевой функции, отнесенные к их средним значениям на интервале исследования. Расчеты выполнены для наливного судна грузоподъемностью 4500 т при длине 130 м, ширине 16,0 м, высоте борта 6,05 м. При этом осадка судна определяется из уравнения плавучести исходя из текущего значения коэффициента общей полноты. Значение прибыли на графиках, несмотря на наличие двух относительно существенных скачков сохраняет тенденцию к снижению на всем интервале исследования, что характерно при проектировании судна заданной грузоподъемностью и типом груза.

Получившиеся критерии по формулам (9), (10) без учета длины линии эксплуатации и по формулам (19), (20) с учетом ее протяженности в 500 км в одном направлении также склонны к монотонному снижению, однако без местных резких изменений. Это обуславливается принятой функцией их представления и не учитывает частные особенности математической модели, например, дискретность изменения мощности главных двигателей.

Критерий, полученный по формуле (18), имеет на последнем интервале незначительное увеличение, однако значение находится на границе варьирования коэффициентом общей полноты в численном эксперименте, по которому были построены предлагаемые уравнения, поэтому наличие погреш-

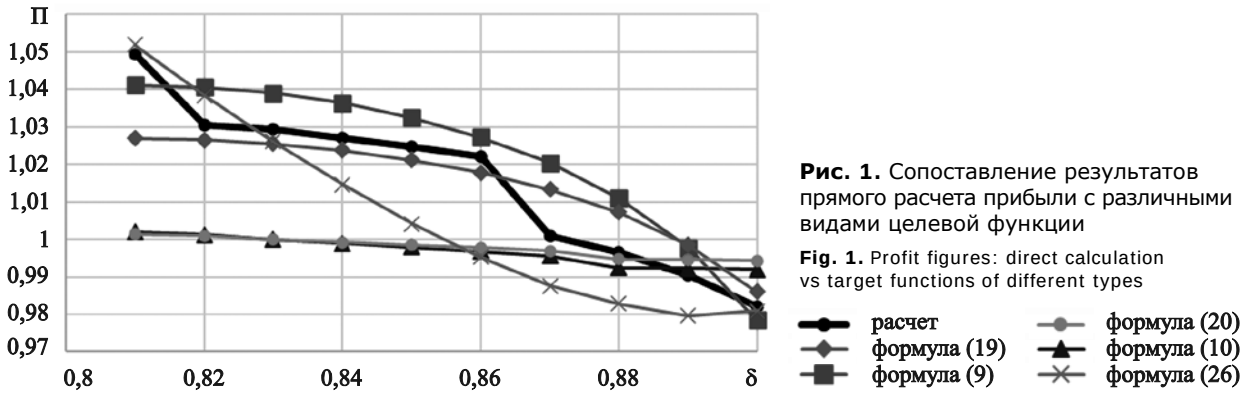
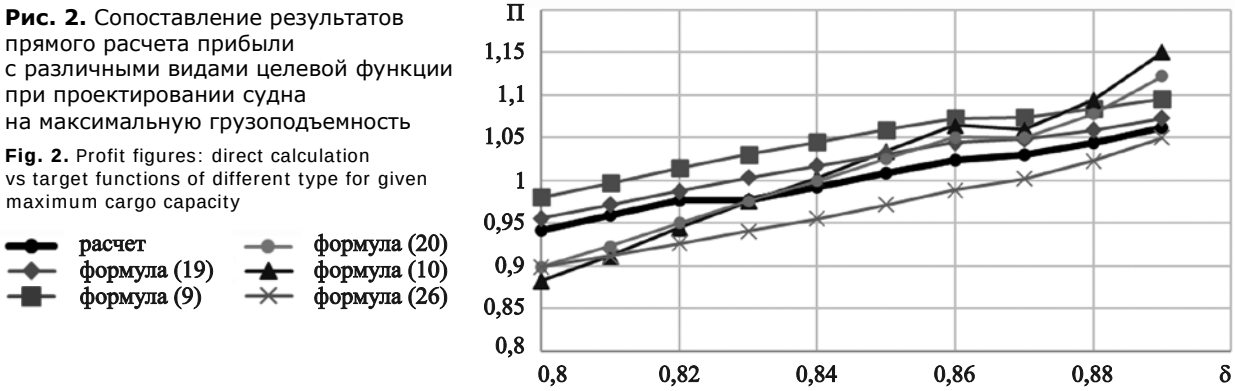


Рис. 1. Сопоставление результатов прямого расчета прибыли с различными видами целевой функции

Fig. 1. Profit figures: direct calculation vs target functions of different types

Рис. 2. Сопоставление результатов прямого расчета прибыли с различными видами целевой функции при проектировании судна на максимальную грузоподъемность

Fig. 2. Profit figures: direct calculation vs target functions of different type for given maximum cargo capacity



ности здесь допустимо. Также следует отметить, что наиболее качественное сопоставление с истинным изменением прибыли получается по формулам (9) или (20), т.е. представление целевой функции через грузоподъемность, кубический модуль и суммарную мощность главных двигателей.

Подобные выводы можно сделать и при проектировании судна на максимальную грузоподъемность (рис. 2). Как видно, в данном случае результаты, получаемые по формуле (26), сохраняют монотонность и подобны расчетному значению на всем диапазоне изменения коэффициента общей полноты.

Зависимости приведенных затрат и показателя рентабельности, например при изменении длины судна при постоянной грузоподъемности, приведены на рис. 3 и 4. Общий анализ рисунков показывает, что сохраняется направление по изменению критерия эффективности вне зависимости от того, по какой формуле он рассчитан. Также прослеживается тенденция, что форма целевой функции имеет более похожую форму на истинное распределение критерия эффективности при использовании в качестве аргументов кубического модуля и мощности.

Рис. 3. Изменение приведенных затрат при различных видах целевой функции

Fig. 3. Reduced costs for different types of target functions

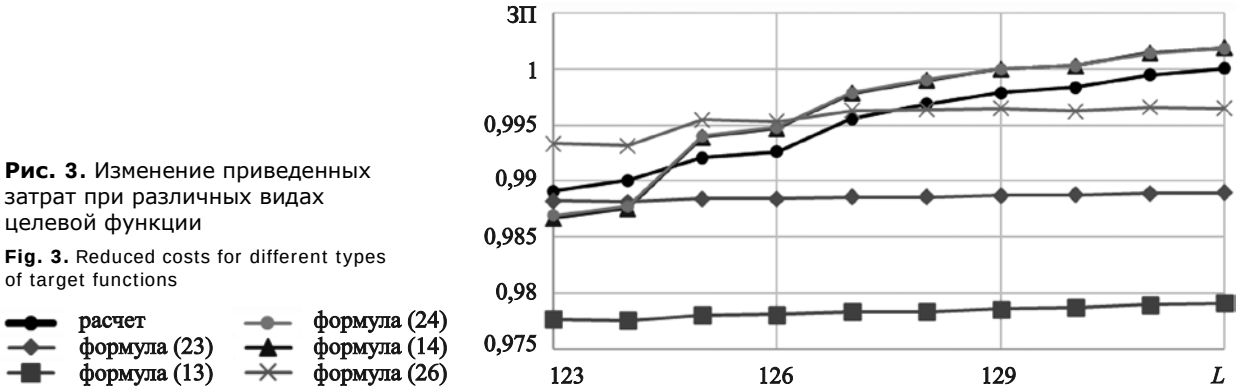
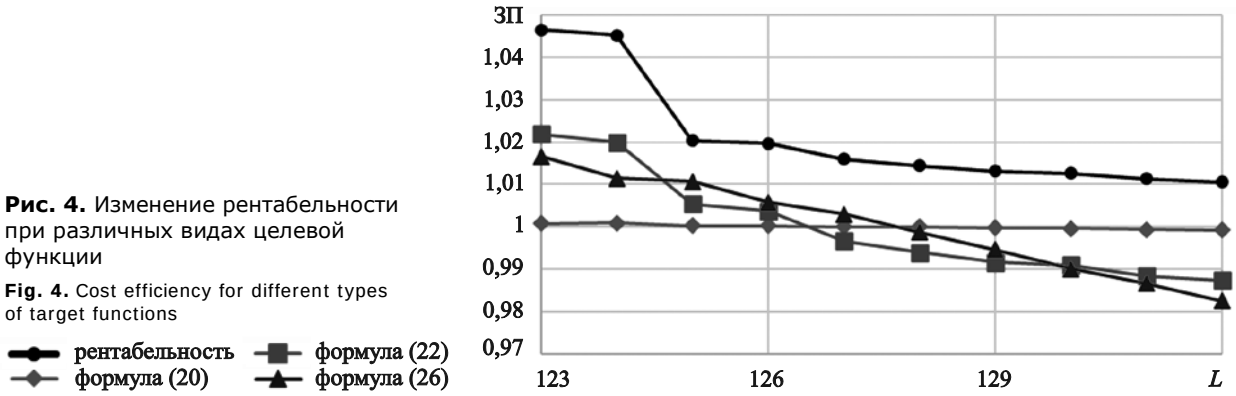


Рис. 4. Изменение рентабельности при различных видах целевой функции

Fig. 4. Cost efficiency for different types of target functions



Заключение

Conclusion

Использование полученных зависимостей позволяет существенно упростить математическую модель судна за счет исключения трудоемких моделей расчета экономических показателей, которые обычно основаны на статистической информации стоимости единицы оборудования, материала и трудоемкости изготовления основных единиц системы «судно», значение которых, как известно, может колебаться в широком диапазоне.

Вследствие изменения экономической ситуации в области речного и смешанного («река – море») судоходства внедрение инноваций на судостроительных верфях в любом случае делает аналитически полученные абсолютные значения прибыли, рентабельности, приведенных затрат и других критериев эффективности не соответствующими действительности даже через незначительный период времени от выполненных расчетов. Однако в задачах исследовательского проектирования наиболее важное значение имеет направление изменения целевой функции, которое с достаточной степенью точности обеспечивается предлагаемыми зависимостями.

Порядок получаемых значений по уравнениям (9)–(14), (19)–(24) и (26) изменяется в широком диапазоне. Но следует еще раз подчеркнуть, что они обеспечивают единство положения экстремума в области изменения варьируемых параметров проектирования оптимизационной задачи.

Возможность учета протяженности линии эксплуатации позволяет использовать полученные критерии в различных задачах (включая внешнее проектирование) для обоснования характеристик судна и формирования планов пополнения и замещения устаревающего флота.

Также следует отметить, что хотя тестовые расчеты в работе выполнены по наливным судам внутреннего и смешанного («река – море») плавания, полученные значения ВКЭ могут быть применены и для сухогрузов, учитывая адекватность методик и основных составляющих математических моделей обоснования их элементов на начальном этапе проектирования.

Список использованной литературы

1. Использование экономических критериев для определения характеристик и элементов в договоре покупки судна из числа серийно освоенных в постройке / *М.В. Войлошников, С.А. Огай, А.И. Азовцев, А.С. Огай* // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 229–233. DOI: 10.52375/20728689_2023_3_229.
2. *Огай А.С., Войлошников М.В., Огай С.А.* Исходные модели для построения целевых функций морских гражданских судов при определении их характеристик и элементов на начальных стадиях проектирования // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 2, ч. 1. С. 226–237. DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.030.
3. *Ашик В.В.* Проектирование судов : учебник. Ленинград : Судостроение, 1985. 320 с.
4. *Пашин В.М.* Оптимизация судов. Системный подход – математические модели. Ленинград : Судостроение, 1983. 296 с.
5. *Гайкович А.И.* Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов : в 2 т. Т. 1. Описание системы «Корабль». Санкт-Петербург : Моринтех, 2014. 819 с.
6. *Поспелов В.И.* Выбор на ЭВМ оптимальных элементов грузовых судов внутреннего плавания. Ленинград : Судостроение, 1978. 74 с.
7. *Роннов Е.П., Анисимова В.В.* Уравнения грузовместимости для судов-площадок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2012. № 1. С. 36–40.
8. *Гуляев И.А., Роннов Е.П.* Расчет грузовместимости комбинированных судов в задаче оптимизации главных элементов // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 68. С. 59–67. DOI: 10.37890/jwt.vi68.184.
9. *Тимофеев Г.А., Барбашов Н.Н., Лопатина А.С.* Применение метода последовательного анализа при планировании эксперимента // Инженерный вестник. 2015. № 10. С. 11.
10. *Плотников К.В., Тряскин В.Н.* Постановка и решение задачи проектирования поперечных танкерных рам в грузовой части крупнотоннажных нефтеналивных судов с использованием аппарата аппроксимации метода планирования эксперимента // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3, ч. 2. С. 93–100.
11. *Гуляев И.А., Роннов Е.П., Кочнев Ю.А.* Оптимизация комбинированного судна типа танкер/площадка на основе имитационного моделирования // Научные проблемы водного транспорта. 2022. № 71. С. 29–45. DOI: 10.37890/jwt.vi71.249.
12. *Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б., Попова М.А.* Разработка технических критериев эффективности грузовых судов // Научные проблемы водного транспорта. 2024. № 81. С. 25–32. DOI: 10.37890/jwt.vi81.551.

References

1. Economic criteria in determination of parameters and elements in procurement contract for batch-produced ships / *M.V. Voiloshnikov, S.A. Ogai, A.I. Azovtsev, A.S. Ogai* //

Transport Business of Russia. 2023. No. 3. P. 229–233. DOI: 10.52375/20728689_2023_3_229 (*in Russian*).

2. *Ogai A.S., Voiloshnikov M.V., Ogai S.A.* Initial models for target functions of sea-going commercial ships to determine their parameters and elements at early design stages // Marine Intellectual Technologies. 2022. No. 2, Part 1. P. 226–237. DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.030 (*in Russian*).
3. *Ashik V.V.* Design of ships. Leningrad : Sudostroenie, 1985. 320 p. (*in Russian*).
4. *Pashin V.M.* Optimization of ships. System approach: Mathematical models. Leningrad : Sudostroenie, 1983. 296 p. (*in Russian*).
5. *Gaikovich A.I.* Theory of displacement ship design. In 2 vol. Vol. 1. Description of “Ship” system. St. Petersburg : Morintech, 2014. 819 p. (*in Russian*).
6. *Pospelov V.I.* Computer-assisted selection of optimal elements for inland-navigation cargo ships. Leningrad : Sudostroenie, 1978. 74 p. (*in Russian*).
7. *Ronnov Ye.P., Anisimova V.V.* Cargo capacity equations for deck-cargo vessels // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2012. No. 1. P. 36–40 (*in Russian*).
8. *Gulyaev I.A., Ronnov Ye.P.* Cargo capacity calculations of combined ships for optimization of their main elements // Russian Journal of Water Transport. 2021. No. 68. P. 59–67. DOI: 10.37890/jwt.vi71.249 (*in Russian*).
9. *Timofeev G.A., Barbashov N.N., Lopatina A.S.* Sequential analysis in experiment planning // Engineering Bulletin. 2015. No. 10. P. 11 (*in Russian*).
10. *Plotnikov K.V., Tryaskin V.N.* Formulation and solution of design problem for transverse frames in the cargo part of large crude-oil tankers through experiment planning approximation method // Marine Intellectual Technologies. 2019. No. 3, Part 2. P. 93–100 (*in Russian*).
11. *Gulyaev I.A., Ronnov Ye.P., Kochnev Yu.A.* Optimization of a combined vessel (platform/tanker) based on simulation modeling // Russian Journal of Water Transport. 2022. No. 71, P. 29–45. DOI: 10.37890/jwt.vi71.249 (*in Russian*).
12. *Kochnev Yu.A., Kochneva I.B., Popova M.A.* Development of technical criteria for efficiency of cargo vessels // Russian Journal of Water Transport. 2024. No. 81. P. 25–32. DOI: 10.37890/jwt.vi71.249 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Кочнев Юрий Александрович, д.т.н., доцент, профессор кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». Адрес: 603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 5. Тел. +7 (831) 419-41-07. E-mail: tmnnkoch@mail.ru. Researcher ID: M-4684-2016. https://orcid.org/0000-0002-6864-4473.

Роннов Евгений Павлович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». Адрес: 603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 5. Тел. +7 (831) 419-46-74. E-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru. https://orcid.org/0000-0002-3022-1926.

Кочнева Ирина Борисовна, к.т.н., доцент, доцент кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». Адрес: 603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Нестерова,д. 5. Тел. +7 (831) 419-79-54. E-mail: iringre@mail.ru. https://orcid.org/0000-0002-5612-3742.

Гуляев Илья Александрович, к.т.н., начальник корпусного отдела ФАУ «Российское классификационное общество». Адрес: 109240, Россия, Москва, Яузская ул., д. 12. Тел. +7 (495) 785-43-59. E-mail: guliaev@rfclass.ru. https://orcid.org/0000-0003-2602-3115.

About the authors

Yury A. Kochnev, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Ship Design and Construction Technology, Volga State University of Water Transport. Address: 5, Nesterova st., Nizhny Novgorod, Russia, post code 603950. Tel.: +7 (831) 419-41-07. E-mail: tmnnkoch@mail.ru. Researcher ID: M-4684-2016. https://orcid.org/0000-0002-6864-4473.

Yevgeny P. Ronnov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Ship Design and Construction Technology Department, Volga State University of Water Transport. Address: 5, Nesterova st., Nizhny Novgorod, Russia, post code 603950. Tel.: +7 (831) 419-46-74. E-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru. https://orcid.org/0000-0002-3022-1926.

Irina B. Kochneva, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Environmental Protection and Occupational Safety, Volga State University of Water Transport. Address: 5, Nesterova st., Nizhny Novgorod, Russia, post code 603950. Tel.: +7 (831) 419-79-54. E-mail: iringre@mail.ru. https://orcid.org/0000-0002-5612-3742.

Ilya A. Gulyaev, Cand. Sci. (Eng.), Head of Hull Department, Russian Classification Society. Address: 12, Yauzskaya st., Moscow, Russia, post code 109240. Tel.: +7 (495) 785-43-59. E-mail: guliaev@rfclass.ru. https://orcid.org/0000-0003-2602-3115.

Поступила / Received: 12.03.26
Принята в печать / Accepted: 07.05.26
© Коллектив авторов, 2026