

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-171-178  
УДК 629.542:629.5.01  
EDN: CBRISA

Ю.А. Кочнев , Е.П. Роннов 

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», Нижний Новгород, Россия

## УЧЕТ ПОТЕНЦИАЛА БЕЗОПАСНОСТИ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОВОГО СУДНА С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

**Объект и цель научной работы.** Объектом исследования является внутренняя задача проектирования – обоснование проектных элементов и характеристик судна. Цель – разработка методики оптимизации основных проектных элементов (главных размерений, параметров формы корпуса) грузового судна по экономическому критерию с учетом потенциала безопасности, исключающего решения, при которых в результате нестабильности внешних условий возможно снижение мореходных качеств до опасного предела.

**Материалы и методы.** Для повышения эффективности решения внутренней задачи разработаны математическая модель и алгоритм оптимизации элементов и характеристик грузового судна, которые позволяют учитывать возможные интервальные значения параметров технических решений (стойчивость, непотопляемость и др.), а также особенности конструкции корпуса, способные влиять на безопасность судна из-за уменьшения до опасного предела, определяемого потенциалом безопасности.

**Основные результаты.** Проведенное численное моделирование показало на возможность существенной зависимости принятия решения в пределах инвариантности экономического критерия эффективности от учета потенциала безопасности, которое зависит от интервальных параметров внутренних и внешних условий, принимающих широкий диапазон значений в жизненном цикле судна.

**Заключение.** Анализ полученных результатов дает возможность заключить, что использование разработанной методики оптимизации основных проектных элементов и характеристик позволяет в пределах инвариантности экономической эффективности учитывать потенциал безопасности. Это более объективно оценивает судно как сложную техническую систему, предусматривая запас основных мореходных и других качеств на случай интервальной неопределенности внешних и внутренних условий жизненного цикла судна.

**Ключевые слова:** грузовое судно, оптимизация, интервальные параметры, потенциал безопасности.

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-171-178  
UDC 629.542:629.5.01  
EDN: CBRISA

Yu.A. Kochnev , Ye.P. Ronnov 

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

## SAFETY POTENTIAL IN CARGO CARRIER OPTIMIZATION WITH INTERVAL UNCERTAINTY OF TECHNICAL SOLUTIONS

**Object and purpose of research.** This paper discusses one of the sub-tasks in ship design, i.e. justification of design elements and ship parameters. The purpose of the study was to develop an optimization procedure for main design

*Для цитирования:* Кочнев Ю.А., Роннов Е.П. Учет потенциала безопасности в задаче оптимизации грузового судна с интервальной неопределенностью параметров технических решений. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 3(405): 171–178.

*For citations:* Kochnev Yu.A., Ronnov Ye.P. Safety potential in cargo carrier optimization with interval uncertainty of technical solutions. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 3(405): 171–178 (in Russian).

elements, i.e. main particulars and hull shape parameters, for a cargo carrier in terms of cost efficiency but taking into account safety potential, so as to preclude design solutions that could deteriorate seaworthiness down to a dangerous level if weather conditions are unstable.

**Materials and methods.** To solve this task more efficiently, the authors developed mathematical model and optimization algorithm for elements and parameters of cargo carrier, so as to take into account possible interval values of technical solution parameters, like stability, subdivision, etc., as well as structural features of hull that might become critical if safety potential of the ship approaches dangerously low level.

**Main results.** Numerical simulation performed in this study has shown that cost-efficiency-oriented decision making in ship design might seriously depend on the safety potential that, in its turn, depends on the interval parameters of both internal and external conditions that may vary widely over ship life cycle.

**Conclusion.** The study leads to the conclusion that the optimization procedure suggested by the authors for the main design elements and parameters makes it possible to take into account safety potential without prejudice to target cost efficiency parameters, thus offering a more objective assessment of the ship as a complex technical system, making sure it has sufficient safety margins in terms of sea-worthiness and other performance parameters in case it has to withstand unstable inner or outer condition at some point of its life cycle.

**Keywords:** cargo carrier, optimization, interval parameters, safety potential.

*The authors declare no conflicts of interest.*

## Введение

### Introduction

Оптимальные основные проектные элементы и характеристики судна, и прежде всего главные размеры и параметры формы корпуса, находятся решением внутренней задачи проектирования, которая сформулирована в работах [1–5] при принятии решения по критерию, отражающему экономическую эффективность.

Транспортное судно, являющееся сложной технической системой, практически невозможно оценить единственным критерием. Причем в ряде случаев может иметь место слабая чувствительность экономического критерия от варьируемых параметров в реальном диапазоне существования последних. В процессе эксплуатации судно должно приносить прибыль судовладельцу и в то же время соответствовать предъявляемым к нему требованиям по уровню мореходных качеств, каждое из которых отвечает за обеспечение его безопасности.

Уровень обеспечения этих требований составляет потенциал безопасности, представляющий величину превышения фактических характеристик соответствующих качеств судна над их нормируемыми значениями. Такое превышение (т.е. их запас) не регламентируется Правилами [6], что не гарантирует обеспечения мореходных качеств в многообразных транспортно-логистических обстоятельствах, возможных в течение жизненного цикла судна.

Таким образом, оптимизация по экономическому показателю, особенно в случае его слабой чув-

ствительности, с учетом потенциала безопасности как дополнительного критерия отвечает целям более полного и объективного обоснования главных проектных элементов и характеристик, определяющих все основные проектные решения по судну в целом. Отметим, что понятие безопасности судна включает многочисленные аспекты, которые в настоящей работе не затрагиваются и решаются на последующих стадиях, при проектировании соответствующих подсистем.

## Модели и методы

### Models and methods

Задача оптимального проектирования сводится к выбору таких значений варьируемых параметров  $X$ , при которых функция цели (критерий оптимальности) достигает экстремального значения

$$\gamma_{opt} = f_2(X, Y, Y_1) \rightarrow \max(\min), \quad (1)$$

где  $Y$  – вектор исходных данных;  $Y_1$  – вектор искоемых элементов и характеристик судна.

Взаимосвязь между исходными данными, элементами и характеристиками судна описывается математической моделью, которая представляется в виде системы уравнений

$$Y_1 = f_k(X, Y), k \in K \quad (2)$$

где  $k$  – индекс уравнения теории проектирования судна;  $K$  – общее число уравнений взаимосвязи между элементами и характеристиками судна.

При этом должны выполняться ограничения в виде строгих равенств и неравенств

$$q_s(X, Y, Y_1) = 0, s \in S_1,$$

$$q_s(X, Y, Y_1) \geq 0, s \in S_2,$$

где  $S_1, S_2$  – векторы элементов и характеристик судна, к которым применимы ограничения в виде равенств и неравенств соответственно.

Уравнение (1) в зависимости от типа и назначения судна раскрывается различной фактической системой уравнений [7–9]. Эти математические модели и результаты их реализации позволяют определять главные размерения на этапах исследовательского проектирования и, в крайнем случае, технического предложения. Используемые в этом случае зависимости имеют диапазон точности конечных значений, полученный на основе статистических данных по судам с конкретными проектными решениями.

Проектирование нового судна при фиксировании главных размерений на этапах эскизного и технического проектов приведет к отклонению случайного ряда элементов и характеристик от их статистических значений, используемых в математических моделях, что переводит их в категорию неопределенных параметров. Это не позволит выбрать наилучший вариант по единственному критерию. Т.е. можно сформулировать многокритериальную задачу с интервальной неопределенностью параметров [10, 11].

По известным исходным данным заданным, однозначно составляющим вектор  $Y$ , и параметрам технических решений ( $Y_2$ ), заданным или непрерывно на некотором интервале  $[y_{2j\min}, y_{2j\max}]$ , или целочисленными значениями  $[y_{2j1}, y_{2j2}, \dots, y_{2jn}] = [y_{2j\min}, y_{2j\max}]$ , нужно найти такие варьируемые параметры (вектор  $X$ ) и, как следствие, элементы и характеристики судна (вектор  $Y$ ), чтобы функция цели достигала экстремума

$$\gamma_{opt} = F \left[ \begin{array}{l} f_1(X, Y, Y_1, Y_2), \\ f_2(X, Y, Y_1, Y_2), \dots, \\ f_m(X, Y, Y_1, Y_2) \end{array} \right] \rightarrow \max(\min) \quad (3)$$

где  $f_1, f_2, \dots, f_m$  – частные критерии оптимальности;  $m$  – число рассматриваемых критериев оптимальности.

Взаимосвязь между элементами и характеристиками судна представляется системой уравнений и ограничений

$$Y_1 = f_k(X, Y, [y_{2\min}, y_{2\max}]), k \in K, \quad (4)$$

$$q_s(X, Y, Y_1, [y_{2\min}, y_{2\max}]) = 0, s \in S_1, \quad (5)$$

$$q_s(X, Y, Y_1, [Y_{2\min}, Y_{2\max}]) \geq 0, s \in S_2. \quad (6)$$

Поскольку параметр  $Y_2$  задается в виде интервалов, то и целевая функция будет определена интервалом  $[F_{\min}, F_{\max}]$ , нахождение экстремума которой рассмотрено, например, в [11, 12], при этом нижняя и верхняя границы интервала будут многокритериальными.

В качестве первого критерия эффективности судна наиболее рационально использовать относительную прибыль [13], которая прямо включает доходы судна от перевезенного груза и расходы на эксплуатацию, а в косвенном виде, через кредитные или лизинговые платежи, – стоимость постройки, т.е. капитальные затраты.

$$\Pi' = \frac{\Pi_{\delta}}{\Pi_{\delta_0}}, \quad (7)$$

где  $\Pi_{\delta}$  – прибыль судна при выбранном значении варьируемых параметров;  $\Pi_{\delta_0}$  – базовое значение прибыли.

Проектирование судна ведется в соответствии с требованиями классификационных обществ, действия которых направлены на обеспечение конструктивной безопасности. Даже наиболее выгодное экономически судно должно отвечать нормам устойчивости, непотопляемости, плавучести, прочности и т.д. Поэтому в качестве второго частного критерия оптимизации принят потенциал безопасности судна (ПБ) [14], отражающий наличие запаса устойчивости, плавучести и прочности, а также прямое и косвенное влияние элементов и характеристик подсистем судна.

$$\text{ПБ} = \left( \Gamma_1^I \times \beta_1^I \times \Gamma_1^{II} + \Gamma_2^I \times \beta_2^I \right) \times \beta_1^{III}, \quad (8)$$

где  $\Gamma_1^I$  – потенциал безопасности по запасу плавучести;  $\Gamma_2^I$  – потенциал безопасности по устойчивости;  $\Gamma_1^{II}$  – потенциал безопасности по прочности;  $\beta_1^I, \beta_2^I$  – весовые коэффициенты влияния показателей безопасности;  $\beta_1^{III}$  – коэффициент влияния подсистем судна на потенциал безопасности.

$$\beta_1^{III} = \alpha_1 \Gamma_1^{III} + \alpha_2 \Gamma_2^{III},$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – весовые коэффициенты;  $\Gamma_1^{III}$  – потенциал безопасности судовых устройств;  $\Gamma_2^{III}$  – потенциал безопасности по надстройке.

Задача оптимизации судна в окончательном математическом виде запишется следующим образом

$$[F_{\min}, F_{\max}] = f \left\{ \begin{array}{l} \Pi'(X, Y, Y_1, [Y_{2\min}, Y_{2\max}]), \\ \text{ПБ}(X, Y, Y_1, [Y_{2\min}, Y_{2\max}]) \end{array} \right\} \rightarrow \text{extr}. \quad (9)$$

Для решения интервального уравнения его необходимо преобразовать в систему, решение которой даст интервал критерия эффективности для судна с рассматриваемыми главными размерениями ( $Y_i, i \in I$ , где  $I$  – область варьируемых элементов)

$$\begin{cases} F_{\min} = f \{ \Pi'(X, Y, Y_1, Y_{2\min}), \text{ПБ}(X, Y, Y_1, Y_{2\min}) \} \\ F_{\max} = f \{ \Pi'(X, Y, Y_1, Y_{2\max}), \text{ПБ}(X, Y, Y_1, Y_{2\max}) \} \end{cases} \quad (10)$$

Нахождение экстремума полученной целевой функции с двумя критериями эффективности, учитывая интервальность их значений, может быть выполнено методом последовательных уступок [15] по наибольшему интервалу [16]. В таком случае уравнение (10) решается алгоритмически в два этапа:

- оптимизация по первому частному критерию эффективности и расчет величины уступки  $Q$

$$f_1 = M(\tilde{\Pi}'(X, Y, Y_1, \tilde{Y}_2)) \rightarrow \max, \quad (12)$$

- оптимизация по второму частному критерию при наличии дополнительных ограничений

$$\begin{cases} f_2 = M(\tilde{\text{ПБ}}(X, Y, Y_1, \tilde{Y}_2)) \rightarrow \max \\ \tilde{\Pi}'(X, Y, Y_1, \tilde{Y}_2) - f_1 \leq Q \end{cases}, \quad (13)$$

где  $\tilde{Y}_2$  – интервал параметров технического решения;  $\tilde{\Pi}'$  – интервал экономического критерия;  $\tilde{\text{ПБ}}$  – интервал потенциала безопасности;  $M(\dots)$  – центры интервалов критерия эффективности.

Вектор параметров технических решений ( $Y_2$ ) содержит интервалы величин, влияющие на экономическую эффективность, потенциал безопасности судна в целом и на его частные представления – прочность, остойчивость и т.д.:

- изменение положения масс на судне

$$\tilde{z}_g = [z_{g\min}, z_{g\max}];$$



**Рис. 1.** Блок-схема оптимизации главных размерений грузового судна с интервальной неопределенностью параметров

**Fig. 1.** Optimization of main particulars for cargo carrier with interval uncertainty of parameters

- изменение размеров отсеков судна  
 $\tilde{l}_3 = [l_{3\min}, l_{3\max}]$ ;
  - особенности конструкции корпуса  
 $\tilde{a} = [a_{\min}, a_{\max}]$ ;
  - частные решения в надстройке  
 $\tilde{S} = [S_{\min}, S_{\max}]$ ;
  - частные решения по судовым устройствам  
 $\tilde{A} = [A_{\min}, A_{\max}]$ ,
- где индексы 1 и 2 означают соответственно нижнюю и верхнюю границу интервалов изменения параметров судна.
- Алгоритм, реализующий предложенную математическую модель, приведен на блок-схеме (рис. 1).

## Результаты

### Results

По разработанной математической модели и алгоритму в качестве тестового расчета выполнена оптимизация наливного судна типа «Волго-Дон макс» с главными размерениями в виде длины  $L = 135,0$  м, ширины  $B = 16,6$  м и двумя вариантами обоснования осадки:

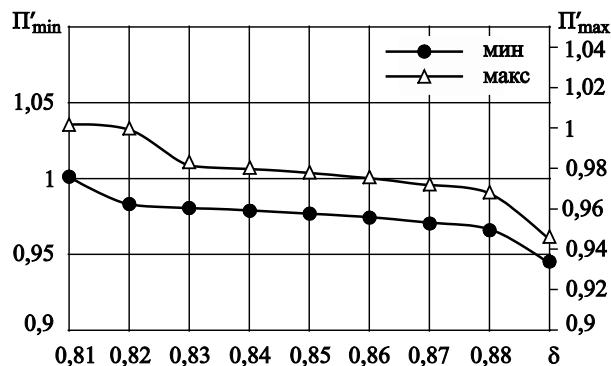
- проектирование судна при постоянной грузоподъемности и выбором осадки судна исходя из обеспечения уравнения плавучести;
- проектирование судна на максимальную осадку и максимальную грузоподъемность исходя из ограничений линии эксплуатации.

Потенциалы безопасности первой категории – остойчивость и плавучесть – имеют явную зависимость от варьируемых параметров и параметров технического решения, заданных интервально, и находятся прямым расчетом из математической модели.

Показатель «прочность» потенциала безопасности в критерии эффективности принят как конечное значение с нижней границей, соответствующей выполнению судном требований Правил, и с верхней границей, принятой по статистическим значениям для грузовых судов внутреннего и смешанного (река – море) плавания ( $\Gamma_1^{\text{II}} = [1; 1,93]$ ). Это обусловлено широким диапазоном конструктивных решений, влияющих на предельный момент прочности корпуса судна, которые можно рассмотреть только при решении задачи их частной оптимизации.

Аналогичное решение принято по показателям безопасности третьей категории:

- нижняя граница потенциала судовых устройств соответствует комплектации судна якорем



**Рис. 2.** Зависимость границ относительной прибыли от коэффициента общей полноты при постоянной грузоподъемности судна

**Fig. 2.** Relative profit margin as function of block coefficient for constant cargo capacity

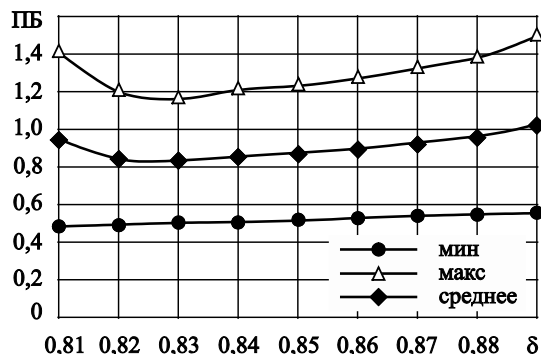
Холла, имеющим наименьшую держащую силу, а верхняя – оптимальному якорю ( $\Gamma_1^{\text{III}} = [0,35; 1,0]$ ) [17];

- нижняя граница потенциала безопасности надстройки соответствует планировке с наихудшим временем эвакуации, а верхняя, соответственно, с минимальным ( $\Gamma_2^{\text{III}} = [0,71; 1,0]$ ).

Результаты расчета экономического критерия в виде интервала при различных значениях коэффициента общей полноты судна с постоянными главными размерениями и грузоподъемностью приведены на рис. 2.

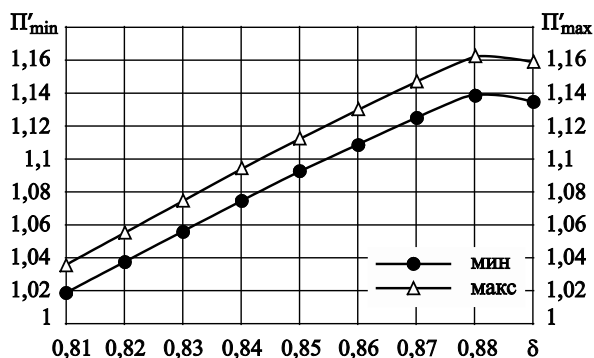
Анализ графиков рис. 2 отражает незначительное влияние применения интервальных значений параметров технических решений на экономический критерий эффективности судна (использованы различные масштабы для представления нижней и верхней границ полученного интервала). Максимальное приращение критерия эффективности для принятых главных размерений составляет менее 1 %.

В то же время абсолютное отличие критерия эффективности при различных значениях коэффициента общей полноты также составляет около 6 %, что близко по значению к величине погрешности разработанной математической модели. Если рассматривать область вблизи оптимального значения коэффициента общей полноты, то отличие экстремального и ближайшего значений критерия эффективности составляет порядка 0,1 %. Ни в первом случае, ни тем более во втором говорить об однозначно определенном наилучшем варианте невозможно.



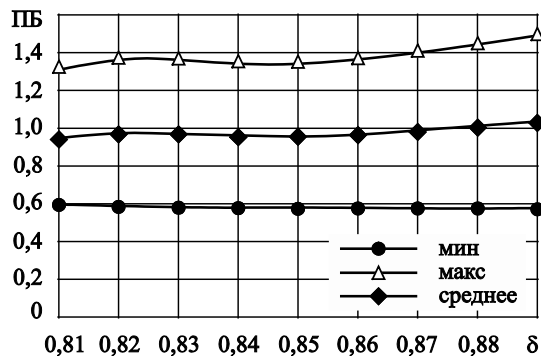
**Рис. 3.** Зависимость интервалов потенциала безопасности от коэффициента общей полноты при постоянной грузоподъемности судна

**Fig. 3.** Safety potential intervals as function of block coefficient for constant cargo capacity



**Рис. 4.** Зависимость границ относительной прибыли от коэффициента общей полноты при проектировании судна на максимальную грузоподъемность

**Fig. 4.** Relative profit margin as function of block coefficient for design to max cargo capacity



**Рис. 5.** Зависимость интервалов потенциала безопасности от коэффициента общей полноты при проектировании судна на максимальную грузоподъемность

**Fig. 5.** Safety potential intervals as function of block coefficient for design to max cargo capacity

Применяя к оптимизации судна метод последовательных уступок [9], т.е. задавая погрешностью к точности определения относительной прибыли в  $Q\%$ , наилучший вариант судна будет соответствовать коэффициенту полноты с максимальным интервалом потенциала безопасности при значении первого критерия  $\Pi' \pm Q\%$  (рис. 3).

Анализ рисунка показывает, что при выборе величины уступки по экономическому критерию менее 1% оптимальный вариант судна не будет отличаться от варианта оптимизации только по  $\Pi'$ . Увеличение процента уступки до 6% изменит оптимальное значение коэффициента общей полноты к верхней границе варьирования.

Нижняя граница интервала потенциала безопасности практически не зависит от коэффициента общей полноты корпуса судна и демонстрирует незначительное возрастание, что говорит о росте безопасности судна с увеличением  $\delta$ . Верхняя граница и аналогично медианное значение имеют хорошо выраженный глобальный минимум в диапазоне изменения варьируемой величины, но при ее значениях, характерных для современных грузовых судов внутреннего и смешанного (река – море) плавания высоких классов, показывает устойчивый рост.

Результаты тестового расчета при проектировании судна на максимальную осадку и, соответственно, максимальную грузоподъемность приведены на рис. 4 и 5.

Изменение экономического критерия, в данном случае ожидаемое, показывает существенное увеличение, что обуславливается ростом дохода судна от перевозки большего количества груза. Однако нижняя граница интервала относительной прибыли при большем значении коэффициента общей полноты меньше верхней границы интервала при меньшем значении  $\delta$ . Т.е. в районе экстремума также оправдано применение двухкритериальной оптимизации с целью установления более безопасного судна.

Нижняя граница потенциала безопасности показывает устойчивое снижение с ростом общей полноты, однако в районе максимального экономического критерия это снижение менее 1%. Верхняя граница ПБ показывает рост на уровне 6%, что обеспечивает увеличение и медианных значений. Иными словами, несмотря на меньшее значение экономического критерия при коэффициенте общей полноты 0,89, можно рекомендовать принимать за оптимальный именно его, за счет обеспечения большей конструктивной безопасности.

## Обсуждение

### Discussion

Проведенные исследования по разработанной математической модели и алгоритму показывают, что применение оптимизации с учетом потенциала безопасности может изменить наиболее предпочтительный вариант, в отличие от оптимального решения, только по экономическому критерию, в случае, когда последний имеет слабую чувствительность от варьируемых параметров в области экстремума, т.е. практически инвариантен. Сдвиг оптимального варианта при этом будет зависеть от принятой величины уступки по первому (экономическому) критерию.

Использование нескольких критериев при последовательном проектировании позволяет более объективно оценить эффективность судна в будущих реальных условиях эксплуатации, показывает влияние конструкторских и технологических решений, а также открывает возможность при необходимости более подробно формулировать техническое задание на разработку проекта судна для повышения нижней границы интервала эффективности.

## Заключение

### Conclusion

Выполненные расчеты и анализ результатов реализации разработанной методики оптимизации с учетом потенциала безопасности показывают необходимость ее применения для задач исследовательского и реального проектирования судна. Учет совокупности критериев эффективности позволяет более широко оценить наиболее важные качества судна и обеспечить выполнение не только пожеланий заказчика проекта, но и требования технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта и рекомендаций транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом период до 2035 г. в части повышения качества, комфорта и безопасности транспортных услуг.

## Список использованной литературы

1. *Ашик В.В.* Проектирование судов : учебник. Ленинград : Судостроение, 1985. 320 с.
2. *Худяков Л.Ю.* Исследовательское проектирование кораблей. Ленинград : Судостроение, 1980. 240 с.
3. *Пашин В.М.* Оптимизация судов. Ленинград : Судостроение, 1983. 296 с.
4. *Бронников А.В.* Проектирование судов : учебник. Ленинград : Судостроение, 1991. 320 с.
5. *Гайкович А.И.* Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов : [В 2 т.]. Т. 2. Анализ и синтез системы «Корабль». Санкт-Петербург : НИЦ Моринтех, 2014. 812 с.
6. Правила-2019. Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов (ПТНП). Правила освидетельствования судов в эксплуатации (ПОСЭ). Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Правила предотвращения загрязнения окружающей среды с судов (ППЗС). Москва : Российский Речной Регистр, 2019. Разд. паг. (1917 с.) URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf> (дата обращения: 24.07.2023).
7. *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.
8. *Кочнев Ю.А.* Определение элементов и характеристик «малых» танкеров на начальных стадиях проектирования // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2010. № 28. С. 26–34.
9. *Роннов Е.П., Анисимова В.В.* Расчет нагрузки масс обстановочных судов внутреннего плавания // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 31. С. 92–102.
10. *Libura M.* Integer Programming Problems with Inexact Objective Function // Control and Cybernetic. 1980. Vol. 9, No. 4. P. 189–202.
11. *Левин В.И.* Устойчивость решения задач оптимального проектирования систем с интервальными параметрами // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2013. № 2(29). С. 64–70.
12. *Левин В.И.* Задача решения уравнения в интервальной постановке // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2017. Т. 22, № 5-2. С. 1172–1178. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1172-1178.
13. *Войлошиников М.В.* Модель оценки судов, активов морских предприятий и ресурсов океана : учеб. Пособие. Владивосток : МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2010. 357 с.
14. *Кочнев Ю.А.* Потенциал безопасности грузового судна // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 4(53). С. 32–41. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-4/32-41.
15. *Калугин Ю.Б.* Решение двухкритериальной задачи методом пропорциональных уступок для критериев разной значимости // Специальная техника и технологии транспорта. 2019. № 4(42). С. 85–89.

16. Левин В.И. Сравнение интервалов и оптимизационные задачи с интервальными параметрами // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2001. № 2. С. 57–62.
17. Кочнев Ю.А. Определение держащей силы судовых якорей на основе модельных испытаний // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2022. № 68–69. С. 43–50.

## References

1. Ashik V.V. Design of ships. Leningrad : Sudostroyeniye, 1985. 320 p. (in Russian).
2. Khudyakov L.Yu. Research design of ships: introduction to theory. Leningrad : Sudostroyeniye, 1980. 240 p. (in Russian).
3. Pashin V.M. Optimization of ships. Leningrad : Sudostroyeniye, 1983. 296 p. (in Russian).
4. Bromnikov A.V. Ship design. Textbook. Leningrad : Sudostroyeniye, 1991. 320 p. (in Russian).
5. Gaikovich A.I. Theory of displacement ship design. Vol. 2. Analysis and synthesis of “Ship” system. St. Petersburg : Morintech, 2014. 812 p. (in Russian).
6. Russian River Register Rules (2019 edition): Rules for Technical Supervision during Construction of Ships and Manufacture of Materials and Products for Ships (RTSC). Rules for the Surveys of Ships in Service. Rules for the Classification and Construction of Ships (RCCS). Rules for Prevention of Environment Pollution from Ships (RPPS). Moscow, Russian River Register of Shipping, 2019. 1418 p. URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/docs/Russian-River-Register.-RULES-2019.-January-2021.pdf> (Accessed: 24.07.2023) (in Russian).
7. Gulyaev I.A., Ronnov Ye.P., Kochnev Yu.A. Optimization of a combined tanker/platform type vessel based on simulation modeling // Russian Journal of Water Transport. 2022. No. 71. P. 29–45. DOI: 10.37890/jwt.vi71.249 (in Russian).
8. Kochnev Yu.A. Determination of elements and characteristics of “smaller” tankers at early design stages // Bulletin of Volga State Academy of Water Transport. 2010. No. 28. P. 26–34 (in Russian).
9. Ronnov Ye.P., Anisimova V.V. Table-of-weights calculation for river-going navigation support vessels // Russian Journal of Water Transport. 2012. No. 31. P. 92–102 (in Russian).
10. Libura M. Integer Programming Problems with Inexact Objective Function // Control and Cybernetic. 1980. Vol. 9, No. 4. P. 189–202.
11. Levin V.I. Stability of optimal design solutions for systems with interval parameters // Radio Electronics. Computer Science. Control. 2013. No. 2(29). P. 64–70 (in Russian).
12. Levin V.I. Solution to equation in the interval arrangement // Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences. 2017. Vol. 22, No. 5-2. P. 1172–1178. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1172-1178 (in Russian).
13. Voiloshnikov M.V. Assessment model for ships, marine industry assets and ocean resources. Student’s Guide. Vladivostok : Admiral G. Nevelskoy Maritime State University, 2010. 357 p. (in Russian).
14. Kochnev Yu.A. Cargo ship safety potential // Far Eastern Federal University (FEFU) School of Engineering Bulletin. 2022. No. 4(53). P. 32–41. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-4/32-41 (in Russian).
15. Kalugin Yu.B. Solution to bi-criterial problem through the method of proportional trade-offs for the criteria of different significance // Spetsialnaya tekhnika i tekhnologii transporta (Special Equipment and Technologies for Transport). 2019. No. 4(42). P. 85–89 (in Russian).
16. Levin V.I. Comparison of intervals and optimization tasks with interval parameters // Radio Electronics. Computer Science. Control. 2013. No. 2. P. 57–62 (in Russian).
17. Kochnev Yu.A. Determination of holding power for ship anchors as per model test data // RS Research Bulletin. 2022. No. 68–69. P. 43–50 (in Russian).

---

## Сведения об авторах

Кочнев Юрий Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». Адрес: 603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 5. E-mail: [tmnkoch@mail.ru](mailto:tmnkoch@mail.ru). <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) 419-46-73. E-mail: [kaf\\_ptps@vsuwt.ru](mailto:kaf_ptps@vsuwt.ru). <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>.

## About the authors

Yury A. Kochnev, Cand. 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. E-mail: [tmnkoch@mail.ru](mailto:tmnkoch@mail.ru). <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) 419-46-73. E-mail: [kaf\\_ptps@vsuwt.ru](mailto:kaf_ptps@vsuwt.ru). <https://orcid.org/0000-0002-3022-1926>.

Поступила / Received: 18.04.23  
Принята в печать / Accepted: 25.08.23  
© Кочнев Ю.А., Роннов Е.П., 2023