

УДК 629.12

Кочнев Юрий Александрович¹, к.т.н., доцент,
e-mail: tmnnkoch@mail.ru

Роннов Евгений Павлович¹, д.т.н., проф., зав. кафедрой
e-mail: ronnov.ep@vsuwt.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ФАКТОР ПОТЕНЦИАЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СУДНА

Аннотация. В работе рассмотрен метод двухкритериальной оптимизации судна с интервальной неопределённостью параметров технического решения, возникающей из-за применения при исследовательском проектировании приближенных методик и отличия ряда проектных решений на этапах проектирования от начально принятых.

Ключевые слова: оптимизация, интервальная неопределённость, математическая модель

Обоснование элементов и характеристик судна на этапах исследовательского проектирования выполняется с применением математических моделей, в основе которых лежат уравнения теории проектирования, дополненные регрессионными уравнениями взаимосвязи элементов и характеристик судна, совместно составляющие параметры технических решений (ПТР) [1], от варьируемых параметров.

В наиболее общем математическом виде задача проектирования представляется системой уравнений и неравенств

$$k_{opt} = f(X, X_1, X_2) \rightarrow \min(\max), \quad (1)$$

$$X_2 = f_k(X, X_1), k \in K, \quad (2)$$

$$q_s(X, X_1, X_2) = 0 \quad s \in S_1, \quad (3)$$

$$q_s(X, X_1, X_2) > 0 \quad s \in S_2, \quad (4)$$

где k_{opt} - критерий эффективности; X – вектор исходных данных; X_1 – вектор варьируемых параметров; X_2 – вектор искомых элементов и характеристик судна; k – индекс уравнения теории проектирования судна; K – общее число уравнений, описывающих взаимосвязь между элементами и характеристиками судна; S_1, S_2 – векторы элементов и характеристик судна, к которым применимы ограничения в виде равенств и не равенств соответственно.

Выражения (1)–(4) раскрываются в виде алгоритма решения оптимизационной задачи (рисунок 1) и математической модели с уравнениями теории проектирования судна, а именно:

- уравнения масс

$$D_{\Pi} = \sum_{i=1}^9 P_i, \quad (5)$$

где P_i – масса i -ого раздела стандарта нагрузки масс;

- системы уравнений ходкости

$$\begin{cases} P_e(n, v, t, U) = R(v, S, U) \\ N = f(v, P_e, t, \eta_B, \eta_P, U) \\ D_B = D_{opt}(v, \lambda_p, N, n, \psi, \rho, K'_P) \end{cases}, \quad (6)$$

где P_e – упор движителя; R – сопротивление воды движению судна; n – частота вращения гребного вала; v – скорость хода; t – коэффициент засасывания; $S = \{L, B, T, \delta, N', D, \dots\}$ – вектор характеристик судна; N' – вектор характеристик главного двигателя; $U = \{H_{\Phi i}, h_j, B_{cx}, \dots\}$ – вектор путевых условий; $H_{\Phi i}$ – глубина судового хода на i -ом участке; h_j – волнение j -ой обеспеченности; B_{cx} – ширина судового хода; $D = \{D_B, H/D, \lambda_p, \eta_B, \dots\}$ – вектор характеристики гребного винта; D_B – диаметр гребного винта; λ_p – относительная поступь; η_B, η_P – пропульсивный КПД и КПД передачи; ψ – коэффициент попутного потока; K'_P – коэффициент мощность-частота вращения;

- уравнений экономической эффективности

$$\Pi = D - Z_{год}, \quad (7)$$

$$D = \sum_{i=1}^{n_{гр}} \Phi_i \times P_{\Sigma i}, \quad (8)$$

$$Z = \sum_{i=1}^7 Z_i k_{доп} + Z_8, \quad (9)$$

где Π – прибыль от работы судна; D – доход за рассматриваемый период; Z – затраты за тот же период; Φ_i – фрахтовая ставка за перевозку i -ого груза; $P_{\Sigma i}$ – суммарная масса i -ого груза, перевезённого за год; $n_{гр}$ – количество перевозимых судном грузов за год; $Z_{год}$ – расходы судна за год; $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7$ – соответственно оплата труда экипажа, единый социальный налог, бесплатное питание экипажа, расходы на топливо, расходы на смазочные и другие материалы, расходы на ремонт судна, расходы на износ малоценных и быстроизнашивающихся предметов; $k_{доп}$ – коэффициент, учитывающий платежи на комплексное и хозяйственное обслуживание судна, а также прочие прямые расходы по судну; Z_8 – плата по кредиту или лизингу;

- уравнения остойчивости;
- уравнения прочности;
- уравнения непотопляемости;
- уравнения плавучести;
- и т.д.

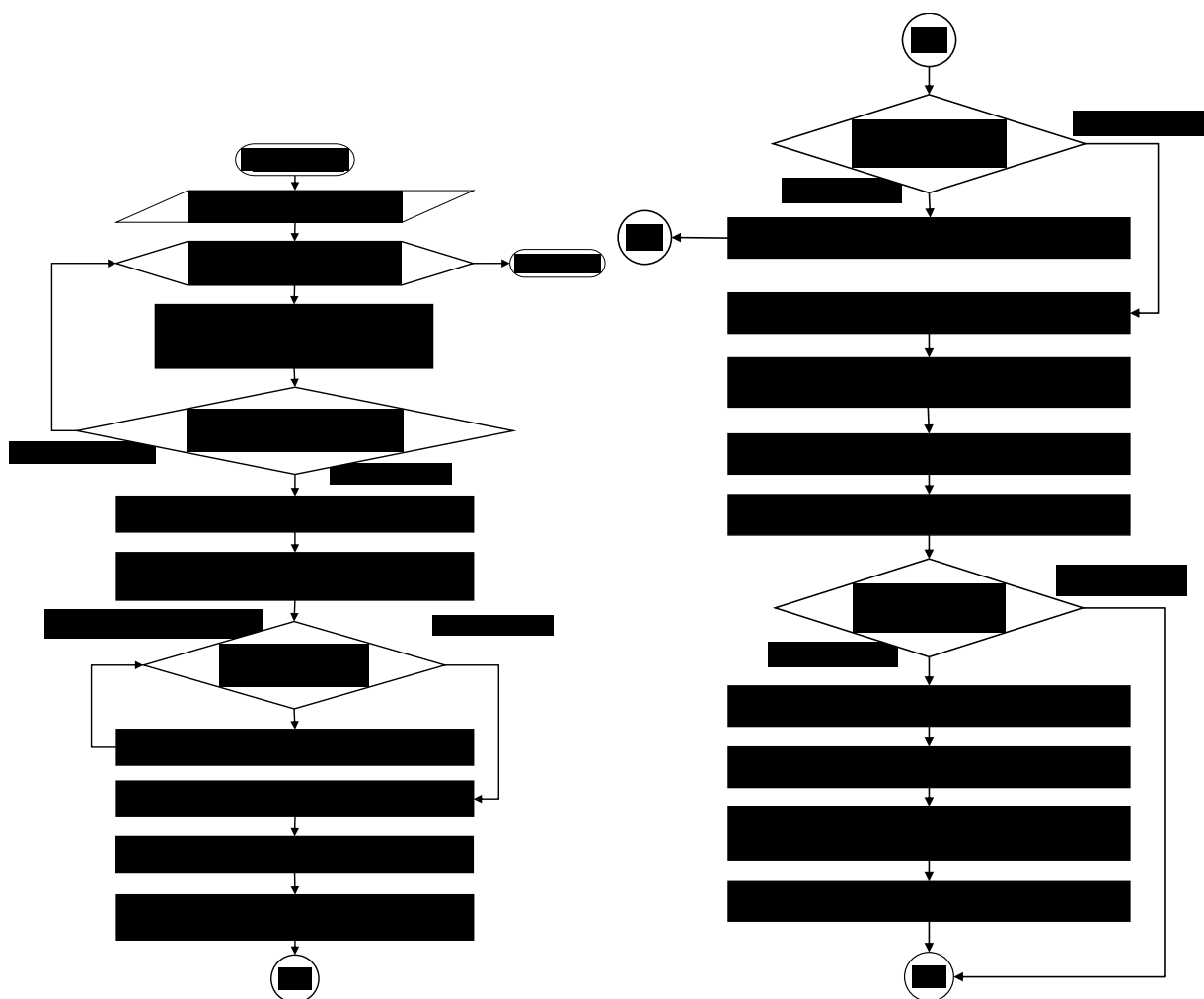


Рисунок 1 – Блок схема задачи оптимизации

В зависимости от типа судна, объема исходной и выходной информации, целей исследовательского проектирования алгоритм и математическая модель могут иметь ряд особенностей, однако с сохранением основных (типичных) уравнений, блоков и операций: расчёта масс, главных размерений, мощности, критерия эффективности, проверки мореходных качеств.

Однако на последующих этапах проектирования, ряд параметров технических решений, определяемых уравнениями модели, может принять другое значение, вследствие приближённости расчётных методик, частных решений конструктора подсистемы судна или смены характеристик доступного к установке оборудования. Таким образом ПТР непрерывно или дискретно изменяются в интервале $[x_{zj\ min}, x_{zj\ max}]$, что приводит критерий эффективности также к интервальному виду $[F_{min}, F_{max}]$. В области экстремума целевой функции, когда она стремится к горизонтальной линейной зависимости, значения критерия эффективности двух или нескольких близких вариантов судов может попадать в границы инвариантности, что не позволяет судить об однозначном выборе наилучшего варианта, даже при использовании интервальной теории решения уравнений [2].

Сложность судна, как технического объекта в данном случае, требует применения многокритериальной оптимизации, где в качестве второго критерия целесообразно принять потенциал безопасности [3], отражающий запас мореходных и других качеств, и сформированный на основе структуры обеспечения безопасности судна (Рисунок 2)

$$ПБ = (\Gamma_1^I \times \beta_1^I \times \Gamma_1^{II} + \Gamma_2^I \times \beta_2^I \times \Gamma_2^{II}) \times \beta^{III}, \quad (10)$$

где Γ_1^I – частный потенциал безопасности показателей первой категории – потенциал запаса плавучести; Γ_2^I – частный потенциал безопасности показателей первой категории – потенциал остойчивости; Γ_1^{II} – частный потенциал безопасности показателей второй категории – потенциал прочности; Γ_2^{II} – частный потенциал безопасности показателей второй категории – потенциал манёвренности; β_1^I, β_2^I – весовые коэффициент показателей безопасности первой категории; β^{III} – коэффициент влияния показателей безопасности третьей категории на потенциал безопасности.



Рисунок 2 – Схема обеспечения проектной безопасности судна

Тогда задача оптимизации судна в математическом виде запишется следующим образом

$$[F_{min}, F_{max}] = f[\Pi(X, X_1, X_2, [X_{3min}, X_{3max}]), ПБ(X, X_1, X_2, [X_{3min}, X_{3max}])] \rightarrow extr, \quad (11)$$

Π – критерий эффективности судна в виде прибыли; ПБ – критерий эффективности судна в виде потенциала безопасности.

Для решения интервального уравнения его необходимо преобразовать в систему, решение которой даст интервал критерия эффективности для судна с рассматриваемыми главными размерения ($X_{2,i} \ i \in I$, где I – область варьируемых главных размерений)

$$\begin{cases} F_{min} = f[\Pi(X, X_1, X_2, X_{3min}), ПБ(X, X_1, X_2, X_{3min})] \\ F_{max} = f[\Pi(X, X_1, X_2, X_{3max}), ПБ(X, X_1, X_2, X_{3max})] \end{cases} \quad (12)$$

Решение последней системы уравнений возможно методом уступок [4], применением аддитивного и мультипликативного критерия [5] с общим алгоритмом решения, приведённом на блок схеме рисунка 3

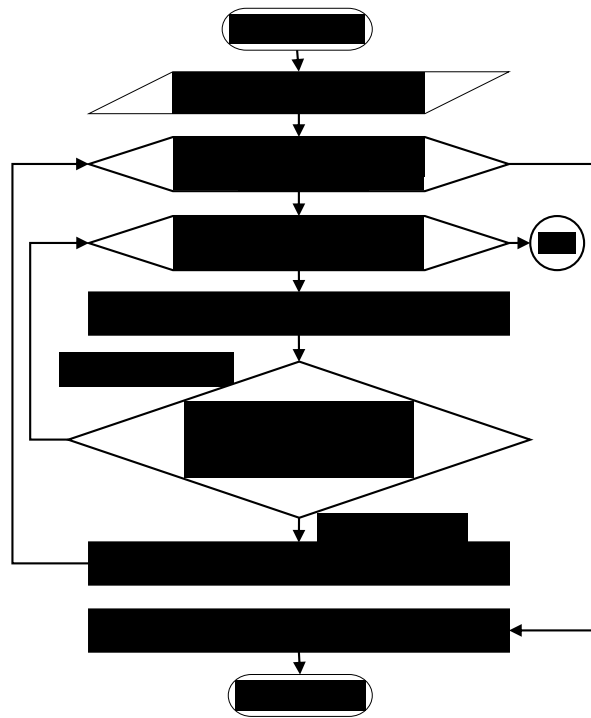


Рисунок 3 – Блок схема оптимизации судна с интервальными параметрами технических решений.

Зависимость рассмотренных частных критериев, в качестве примера реализации предложенной математической модели и алгоритма рассмотрена для наливного теплохода типа «Волго-Дон-макс». Вариант с постоянными главными размерениями, скоростью хода судна и варьируемым коэффициентом общей полноты корпуса приведён на рисунке 4.

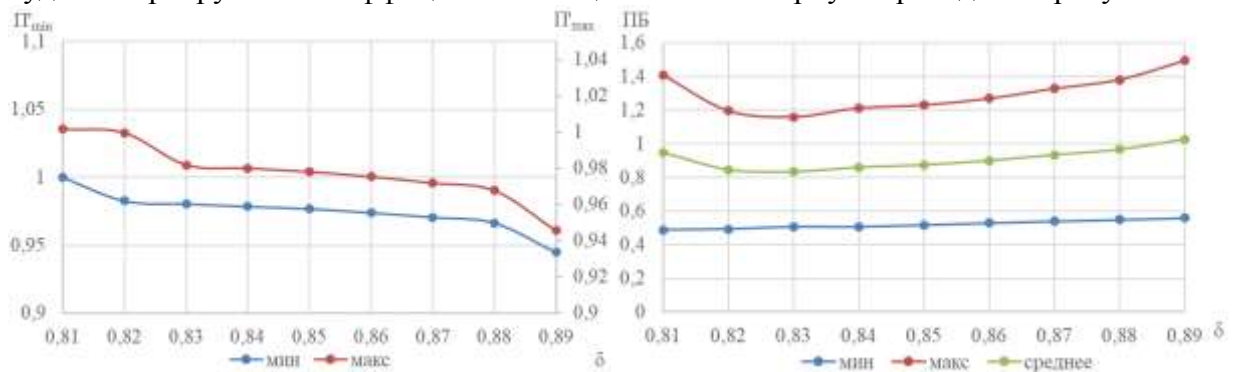


Рисунок 4 – Зависимость относительной прибыли (Π'_{min} , Π'_{max}) и потенциала безопасности (ПБ) судна типа «Волго-дон-макс».

Анализ графиков показывает, что экономическая эффективность снижается с ростом коэффициента общей полноты, что соответствует действительности, в то же время потенциал безопасности (нижняя, верхняя границы и среднее значение) возрастают практически на всём интервале. Поэтому, если применить, например, метод последовательных уступок к решаемой задаче, то в зависимости от её величины оптимальное значение коэффициента δ измениться.

Список литературы

1. Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980. – 240 с.
2. Левин, В. И. Задача решения уравнения в интервальной постановке / В. И. Левин // 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.
3. Кочнев, Ю. А. Потенциал безопасности грузового судна / Ю. А. Кочнев // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2022. – № 4(53). – С. 32-41. – DOI 10.24866/2227-6858/2022-4/32-41.
4. Калугин, Ю. Б. Решение двухкритериальной задачи методом пропорциональных уступок для критериев разной значимости / Ю. Б. Калугин // Специальная техника и технологии транспорта. – 2019. – № 4(42). – С. 85-89.
5. Перова, А. В. Аддитивный критерий выбора оптимальных решений / А. В. Перова, Д. Е. Крохин // Современные технологии производства в машиностроении: Сборник научных трудов. Том Выпуск 7. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2013. – С. 103-105.

SAFETY POTENTIAL FACTOR IN THE JUSTIFICATION OF THE ELEMENTS OF THE VESSEL

Yury A. Kochnev, Evgeny P. Ronnov

Annotation. The paper considers a method of two-criteria optimization of a vessel with an interval uncertainty of the parameters of a technical solution arising from the use of approximate methods in research design and the difference between a number of design solutions at the design stages from the initially laid ones.

Keywords: optimization, interval uncertainty, mathematical model

