



УДК 629.5.01

В.В. Кузнецова, ст. преподаватель, к.т.н., каф. ПиТПС ФГБОУ ВО «ВГУВТ».

Е.П. Роннов, профессор, д.т.н., каф. ПиТПС ФГБОУ ВО «ВГУВТ».

603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СУДНА С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Ключевые слова: оптимизация, многокритериальная оптимизация, параметрическая чувствительность в оптимизации судна.

Рассмотрен один из методов многокритериальной оптимизации. Предложено введение дополнения в формулу для обобщенного критерия эффективности в виде коэффициента параметрической чувствительности. Решена задача оптимизации обстановочного судна с применением аддитивной свертки частных критериев эффективности с учетом и без учета параметрической чувствительности.

На начальном этапе проектирования судна очень часто встает задача выбора оптимального решения, которое в полной мере будет удовлетворять и эксплуатационным требованиям и в то же время наиболее выгодным экономическим показателям. Поэтому эффективность судна, как сложного инженерного сооружения, не может быть полностью оценена единственным критерием оптимальности. При решении задачи оптимизации, как правило, рассматривают несколько критериев эффективности, по которым производится выбор наилучшего проекта с набором оптимальных параметров. Чем больше вводится критериев оптимальности, тем более полную характеристику достоинств и недостатков проектируемого объекта можно получить.

Большинство методов решения задач многокритериальной оптимизации сводят множество частных критериев оптимальности к одному показателю эффективности. Наиболее распространенным обобщенным критерием оптимальности (K) является сумма частных критериев эффективности, называемая аддитивной сверткой (1) [1].

$$K = \max(\min) \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i, \quad (1)$$
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1,$$

где k_i – частные критерии эффективности;

λ_i – «весовые» коэффициенты или меры важности частных критериев.

Аддитивная свертка частных критериев эффективности - это формальный математический приём, придающий задаче оптимизации удобный для решения вид, однако он не лишён недостатков. Наиболее весомый из них заключается в том, что в аддитивном критерии (K) может происходить взаимная компенсация частных критериев: значительное уменьшение одного из критериев может быть покрыто возрастанием другого [1]. Для того, чтобы ослабить этот недостаток вводят ограничения на

минимальные значения частных критериев и их весовых коэффициентов. Кроме того, нивелировать взаимную компенсацию частных критериев поможет введение коэффициента параметрической чувствительности частного критерия оптимальности относительно варьируемых параметров. Это позволит найти оптимальное решение, при котором учитывается чувствительность характеристик судна к каждому варьируемому параметру в определенном диапазоне его изменения, т.е. учесть действие наиболее «сильного» по воздействию критерия.

Физический смысл критерия параметрической чувствительности можно выразить как скорость изменения характера зависимости частных критериев относительно варьируемых параметров на малом участке их приращения. Обобщенный аддитивный критерий с учетом параметрической чувствительности (второе слагаемое в выражении (2)) может быть представлен в виде:

$$K = \max(\min) \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i k_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_i \frac{\partial k_i}{\partial v_j} dv_j \right], \quad (2)$$

где v_j – варьируемый параметр в задаче оптимизации;

$\frac{\partial k_i}{\partial v_j} dv_j$ – коэффициент чувствительности или частный дифференциал критерия

эффективности по варьируемому параметру.

Рассмотрим задачу многокритериальной оптимизации обстановочных судов. Варианты проектов судов в диапазоне варьируемых параметров, получены расчётом по программе, разработанной в рамках исследования «Оптимизация основных элементов и характеристик обстановочных судов внутреннего плавания». В качестве частных критериев оптимальности были рассмотрены 5 показателей :

1) коэффициент утилизации водоизмещения

$$k_1 = \max \frac{P_{ep}}{D}, \quad (3)$$

где P_{ep} – грузоподъемность обстановочного судна, т ;

D – водоизмещение обстановочного судна, т.

2) удельная мощность

$$k_2 = \min \frac{N}{D}, \quad (4)$$

где N – мощность главного двигателя обстановочного судна, кВт.

3) оптимальность формы корпуса

$$k_3 = \min \frac{N}{P_{ep} \cdot V}, \quad (5)$$

где V – скорость хода обстановочного судна, м/с.

4) удельное водоизмещения, приходящееся на 1 тонну грузоподъемности

$$k_4 = \min \frac{D^0}{P_{ep}}, \quad (6)$$

где D^0 – водоизмещение порожнем обстановочного судна, т.

5) приведенные затраты

$$k_5 = \min(\mathcal{E} + 0,15 \cdot S), \quad (7)$$

где \mathcal{E} – эксплуатационные расходы, связанные с работой обстановочного судна, тыс. руб.;

S – строительная стоимость обстановочного судна, тыс. руб.

Так как рассмотренные нами частные критерии оптимальности между собой несоизмеримы (приведенные затраты по отношению к остальным критериям) и имеют различное направление оптимизации (коэффициент утилизации водоизмещения по отношению к остальным критериям), то необходимо произвести их нормализацию, т.е. осуществить переход к условным единицам измерения критериев и сориентировать желаемое направление их изменения. Нормализацию критериев произведем по следующим формулам [2]:

$$k_i^* = \begin{cases} \frac{k_i - k_{\min}}{k_{\max} - k_{\min}}, & \text{если } k_i \rightarrow \max \\ \frac{k_{\max} - k_i}{k_{\max} - k_{\min}}, & \text{если } k_i \rightarrow \min \end{cases}, \quad (8)$$

Обобщённый критерий эффективности для выбора наилучшего проекта судна получим с помощью аддитивной свертки частных критериев [2].

$$K = \max \sum_{i=1}^5 \lambda_i k_i^*,$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad (9)$$

В большинстве случаев «вес» частных критериев эффективности назначают, исходя из субъективного представления экспертами о сравнительной важности критериев. Поскольку такое определение «весовых» коэффициентов носит субъективный характер, в рассматриваемой задаче воспользуемся формальным подходом к их назначению. Для каждого частного критерия оптимальности вычисляется коэффициент относительного разброса по формуле [3]:

$$\Delta_i = \frac{k_i^{\max} - k_i^{\min}}{k_i^{\max}} \quad (10)$$

«Весовые» коэффициенты :

$$\lambda_i = \frac{\Delta_i}{\sum_{i=1}^5 \Delta_i} \quad (11)$$

Введем в обобщенный критерий эффективности (формула (9)) коэффициенты параметрической чувствительности $\frac{\partial k_i}{\partial v_j} dv_j$, предварительно подвергнув их нормализации в соответствии с формулой (8). В качестве варьируемых параметров в данной задаче оптимизации обстановочных судов примем длину судна $L(v_1)$, ширину судна $B(v_2)$, осадку судна $T(v_3)$, число Фруда по скорости $Fr_v(v_4)$ и коэффициент полноты водоизмещения $\delta(v_5)$.

$$K = \max \left[\sum_{i=1}^5 \lambda_i k_i^* + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \lambda_i \left(\frac{\partial k_i}{\partial v_j} dv_j \right)^* \right] \quad (12)$$

Коэффициенты параметрической чувствительности были определены как произведение частных производных критериев эффективности по варьируемым параметрам на приращение варьируемых параметров. Для вычисления частных

производных были определены функциональные зависимости каждого частного критерия эффективности от варьируемых параметров, с использованием метода подобия и размерностей (13)

$$k_i = f\left(\frac{L}{B}, \frac{B}{T}, Fr_v, \delta\right) \quad (13)$$

Получены решения задачи многокритериальной оптимизации обстановочного судна с использованием обобщенного критерия оптимальности без учета чувствительности (формула (9)) и с учетом параметрической чувствительности (формула (12)). Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Решения задачи многокритериальной оптимизации обстановочного судна

| Варьируемые параметры: $L=22\dots44$ м; $B=3,2..4,7$ м; $T=0,50\dots1,05$ м; $Fr_v=0,23\dots0,37$; $\delta = 0,538\dots0,807$; при заданном количестве биев, равном 4. | | |
|--|---|--|
| | Критерий оптимальности (формула (9)) | Критерий оптимальности (формула (12)) |
| Оптимизация по архитектурно-конструктивному типу судна | Носовое расположение рабочей площадки и развитая надстройка | Носовое и кормовое расположение рабочей площадки и развитая надстройка |

Как видно из таблицы, учет параметрической чувствительности меняет решение задачи многокритериальной оптимизации. В данном случае, оптимальные суда, полученные двумя способами, существенно отличаются расположением рабочей площадки, тогда как другие элементы и характеристики судов близки по значениям.

Приведем причины, обуславливающие необходимость учета параметрической чувствительности в задачах оптимизации:

- 1) нивелирует взаимную компенсацию частных критериев эффективности;
- 2) очевидно, что в математической модели оптимизации судна входят параметры, найденные с определённой степенью точности. В этом случае приходится идти на компромисс между оптимизацией и чувствительностью. Параметры выбираются так, чтобы критерий оптимальности не достигал экстремального значения, но был менее чувствителен к некоторым переменным.

Для того чтобы сделать наиболее полный вывод об эффективности решения задачи многокритериальной оптимизации судов с учетом параметрической чувствительности необходимо рассмотрение и анализ большего числа задач. Необходимо отметить, что теория чувствительности нашла свое прикладное применение в оптимизации параметров схмотехники, химических систем, физических процессов, где на основании опытов доказана ее эффективность [4]. Полагаем, приведенные выше результаты расчетов показывают, что многокритериальная оптимизация с учетом чувствительности критериев к варьируемым параметрам может приводить к более объективному решению проектных задач судостроения.

Список литературы:

- [1] Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации и принятия решений/ И.Г. Черноруцкий.- СПб: Лань,2001.- 384 с.
- [2] Фетинина, Е.П. Типологические аспекты многокритериального выбора вариантов/ Е.П. Фетинина, Т.В. Кораблина, Ю.А. Соловьева: Монография.- Новокузнецк: СибГИУ,2003.- 118 с.
- [3] Лисьев, Г.А. Технологии поддержки принятия решений/Г.А. Лисьев, И.В. Попова.- М.:Флинта, 2011.-133 с.

[4]Кофанов, Ю.Н. Системная теория параметрической чувствительности/ Ю.Н. Кофанов.- М.:АНО «Академия надёжности», 2010.-148 с.

**NUMERICAL ANALYSIS OF EFFICIENCY MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION
VESSEL'S BASED ON PARAMETRIC SENSITIVITY**

V.V. Kuznetsova, E.P. Ronnov

Key words: optimization, multi-criteria optimization, parametric sensitivity in the optimization vessel's.

The method of multi-criteria optimization is considered. Addition of a formula for the generalized criterion of efficiency - coefficient of parametrical sensitivity is offered. The problem of optimization vessel's by means of additive convolution of private criteria with parametrical sensitivity and without parametrical sensitivity is solved.