

**ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛОЦМАНСКИХ КАТЕРОВ**

Клева Я.А., Бондаренко А.В.

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Рассмотрена специфика выбора главных элементов лоцманских катеров. Сформулирована оптимизационная задача проектирования и показаны ее особенности.

Ключевые слова: лоцманский катер, математическая модель, критерий оптимальности, независимые переменные, ограничения.

Введение. В настоящее время в рамках программы обновления лоцманского флота Украины осуществляется проектирование и строительство специализированных катеров нового поколения. Современный подход к разработке проектов этих судов немислим без применения методов оптимизации. Учитывая постоянный инженерный поиск наилучших проектных решений, обеспечивающих наибольшую эффективность, представляется целесообразным рассмотреть особенности постановки оптимизационной задачи проектирования лоцманских катеров (ЛК).

При выборе главных элементов данных судов проектантам необходимо учитывать специфику их проектирования и эксплуатации. Таким образом, актуальной является проблема тщательного изучения особенностей данного типа катера как объекта оптимизации при создании математической модели и модели функционирования, а также при выборе наилучшего метода для решения оптимизационной задачи.

Целью данной статьи является рассмотрение особенностей выбора оптимальных характеристик лоцманских катеров, с учетом специфики их проектирования и эксплуатации.

Степень изученности проблемы. Для осуществления поиска наиболее эффективного проекта лоцманского катера широко используются методы оптимального проектирования [1, 2]. В зарубежных и отечественных публикациях большое внимание уделено проблеме определения главных элементов судна, например [3, 5]. Некоторые пути решения оптимизационной задачи для скоростных малых судов представлены в [4, 6].

Применение традиционных подходов не всегда оправдано при оптимальном проектировании основных элементов ЛК в связи с различиями в целевых функциях, системах ограничений и т.п. Ввиду отсутствия систематических исследований, учитывающих особенности проектирования и эксплуатации ЛК, представляется целесообразным более детальная проработка проблемы создания математической модели для поиска оптимальных характеристик данного типа судна.

Изложение основного материала. Проведенный анализ статистических данных по ЛК позволил выявить основные особенности оптимизационной задачи проектирования ЛК, обусловленные следующими факторами:

- характером эксплуатации;
- формой корпуса;
- режимом движения;
- требованиями обеспечения высоких мореходных качеств в условиях волнения;
- ограничениями по главным размерениям и водоизмещению;
- разнообразием архитектурно-конструктивных типов;
- многообразием материалов для изготовления современных корпусов (сталь, алюминий-магниево-сплавы, стеклопластик и др.);
- комбинацией разных материалов для изготовления корпуса и надстройки в рамках одного проекта;
- высокой скоростью;

– типом главного двигателя (ГД) и движителей.

Требование учета специфики эксплуатации ЛК продиктовано, прежде всего, необходимостью осуществлять лоцманские операции в сложной метеорологической и навигационной обстановке: работа в штормовых условиях, на волнении, при качке, в условиях обледенения, в мелкоколотом льду, на мелководе, в узких устьях рек и ограниченных акваториях порта при большом скоплении судов.

Анализ свидетельствует, что лоцманские катера, как правило, эксплуатируются в переходном режиме движения при числах Фруда по водоизмещению $1,0 \leq F_{n\nabla} \leq 3,0$. Поэтому, корпус катера традиционно представлен или круглоскулыми, или остроскулыми обводами. Учитывая тенденцию уменьшения размеров и водоизмещения современных ЛК, проблема создания практичного и комфортного интерьера может быть решена за счет:

- изменений архитектурно-конструктивных типов катеров,
- пересмотра традиционной компоновки схем общего расположения,
- применения новых материалов для снижения массы корпуса.

Как правило, проектные решения представлены различными вариантами расположения рулевой рубки, машинного отделения, мест (кают) для лоцманов и разнообразными комбинациями материалов для изготовления корпуса и надстройки.

Как отмечено в [4], наряду с формой и компоновкой корпуса при прогнозировании проектных характеристик скоростных судов ключевым моментом является решение вопроса о выборе оптимального варианта двигателя и движителя. Пропульсивная установка ЛК обычно двухвальная с двумя двигателями, что обеспечивает отличную маневренность и позволяет ему надежно удерживаться у борта обслуживаемого судна. На большинстве ЛК в качестве главных двигателей используют средне- и высокооборотные дизельные установки. В качестве движителей на ЛК в одинаковой степени (в зависимости от условий эксплуатации и функциональных задач) получили распространение: гребной винт, водомет, поворотно-откидные колонки.

С учетом вышеизложенного, для выбора основных характеристик ЛК оптимизационная задача проектирования формулируется следующим образом: из множества конструктивных параметров ЛК, определяемых системой технических и эксплуатационных ограничений, необходимо выбрать единственный набор, обеспечивающий оптимальный результат по принятому критерию. Математически это может быть представлено в виде

$$F(X, C) \rightarrow \min(\max), X \in R^n;$$

$$X \in R^n;$$

$$G_i(X, C) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m;$$

$$H_j(X, C) = 0, j = 1, 2, \dots, k,$$

где $F(X, C)$ – целевая функция; $G_i(X, C)$ – ограничения типа неравенств; $H_j(X)$ – ограничения типа равенств; $C(C_1, \dots, C_m)$ – вектор параметров задания на проектирование; $X(x_1, \dots, x_k)$ – вектор независимых переменных судна; m – количество ограничений типа неравенств; k – количество ограничений типа равенств; R^n – n -мерное векторное множество.

Выбор целевой функции для ЛК является весьма трудной задачей, ввиду «недоходности» в чистом виде рассматриваемого объекта поскольку размеры доходов, как и сама возможность их получения зависят от случайных обстоятельств. Очевидно, что одним из основных показателей эффективности лоцманских катеров является вероятность выполнения функциональных операций в районе лоцманского обслуживания. Наиболее полно стохастический характер явлений при эксплуатации ЛК можно учесть, если в качестве целевой функции оптимизационной задачи данного типа судна будет использован специализированный критерий «стоимость-эффективность» в виде:

$$ЦФ = \frac{M[\Pi]}{P} \rightarrow \max,$$

где $M[\Pi]$ – математическое ожидание прибыли; P – вероятность невыполнения лоцманским судном основных функциональных задач.

Вектор нормативных и заданных параметров $C(C_1, \dots, C_6)$ представляет собой набор таких характеристик: тип ЛК, тип главного двигателя (ГД), район плавания, дальность плавания, тип движителя, материал корпуса и надстройки.

Для проектируемого судна выбраны следующие независимые переменные $X(x_1, \dots, x_8)$: соотношения главных размерений (L/B , B/d , D/d), коэффициент продольной полноты C_p , водоизмещение Δ , количество лоцманов N_{PIL} , эксплуатационная скорость v_s , и относительное положение абсциссы центра тяжести LCG/L .

Для допустимого множества поискового пространства характерно наличие двух групп ограничений: тривиальных и функциональных, представленных в виде равенств или неравенств. Тривиальные ограничения устанавливаются требованиям к независимым переменным и исходным параметрам:

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max},$$

где x_i^{\min} , x_i^{\max} – допустимые значения независимых переменных (табл. 1).

Таблица 1 – Допустимые значения независимых переменных

<i>Наименование независимой переменной</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Нижняя граница x_i^{\min}</i>	<i>Верхняя граница x_i^{\max}</i>
Отношение длины судна к ширине, L/B	x_1	2,50	5,00
Отношение ширины судна к осадке, B/d	x_2	2,50	4,50
Отношение высоты борта к осадке, D/d	x_3	1,2	2,50
Водоизмещение, Δ , т	x_4	10	35
Коэффициент продольной полноты, C_p	x_5	0,45	0,65
Эксплуатационная скорость v_s , узл	x_6	12	35
Количество лоцманов, N_{PIL} , чел	x_7	2	8
Относительное положение абсциссы центра тяжести, LCG/L	x_8	0,35	0,41

Функциональные ограничения формируют требования к качествам оптимизируемого объекта:

$$A_j(X) \leq a_j,$$

где $A_j(X)$, a_j – соответственно расчетные и допустимые значения качеств судна.

Согласно статистических данных большинство современных ЛК являются высокоскоростными (по определению ИМО), так как функционируют со скоростью $v \geq 3,7\Delta^{0,1667}$ м/с. Анализ показывает некоторые различия в Правилах классификационных обществ к мореходным качествам судов этого типа. Поэтому в модели предусмотрено формирование системы ограничений путем выбора из следующего множества:

– минимальное значение поперечной метацентрической высоты:

$$GM_t \geq h,$$

где $h = 0,15$ м – в соответствии с требованиями [8] и $h = 0,5$ м – для [7];

– максимальное значение вертикальных ускорений

$$a_{CG} \leq 0,25g ;$$

– максимальная осадка

$$d \leq d_{\max} ;$$

– погрешность решения уравнения масс – 1%;

– по параметрам диаграммы статической остойчивости (ДСО) наблюдаются расхождения в требованиях различных классификационных обществ:

$$l_{\max} \geq a, \theta_{l_{\max}} \geq b, \theta_{зак} \geq 60^\circ$$

где $a = 0,20$ м в соответствии с требованиями [8] и $a = 0,25$ м – для [7]; $b = 15^\circ$ в соответствии с требованиями [8] и $b = 25^\circ$ – для [7];

– площадь под кривой диаграммы статической остойчивости:

$$A_{30^\circ-40^\circ} \geq 0,03 \text{ м}\cdot\text{рад},$$

$$A_{0^\circ-30^\circ} \geq 0,055 \text{ м}\cdot\text{рад},$$

$$A_{0^\circ-40^\circ} \geq 0,09 \text{ м}\cdot\text{рад};$$

– по обитаемости, обеспечивающей плавность процессов качки судна

$$\tau_{\min} \geq 6 \text{ с};$$

– по углу крена от скопления людей на одном борту:

$$\theta_{\text{сум}} \leq 10^\circ ;$$

– по критерию погоды:

$$\frac{M_{\text{доп}}}{M_{\text{крен}}} = K_{\Pi} \geq 1,$$

где $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент; $M_{\text{крен}}$ – кренящий момент от воздействия ветровой нагрузки;

– по критерию динамической остойчивости, определяемым сопоставлением имеемых потенциальных возможностей судна с возможным ветроволновым воздействием, соответствующим заданному району плавания и выраженным через отношение моментов [7]:

$$\frac{M'_{\text{доп}}}{M_{\text{крен}}} = K_{\text{д}} \geq 1,$$

где $M'_{\text{доп}}$ – динамически допустимый момент;

– по критерию волнстойкости, K_{γ} , который оценивает остойчивости судна на волнении без ветра при плавании на ограниченных глубинах в прибрежных районах [7]:

$$K_{\gamma} = \chi^{-1} \geq 1,$$

где χ – безразмерный параметр интенсивности качки, определяемый согласно [7].

Анализ показывает, что оптимизационная задача включает как детерминированные (дальность плавания, тип ГД), так и стохастические (цена топлива, количество заявок на лоцманское обслуживание) исходные данные. В качестве независимых переменных используются дискретные (количество лоцманов) и непрерывные величины (главные размерения, скорость). Рассматриваемая задача является однокритериальной, с ограничениями и носит нелинейный характер, что требует применения методов нелинейного программирования для ее решения.

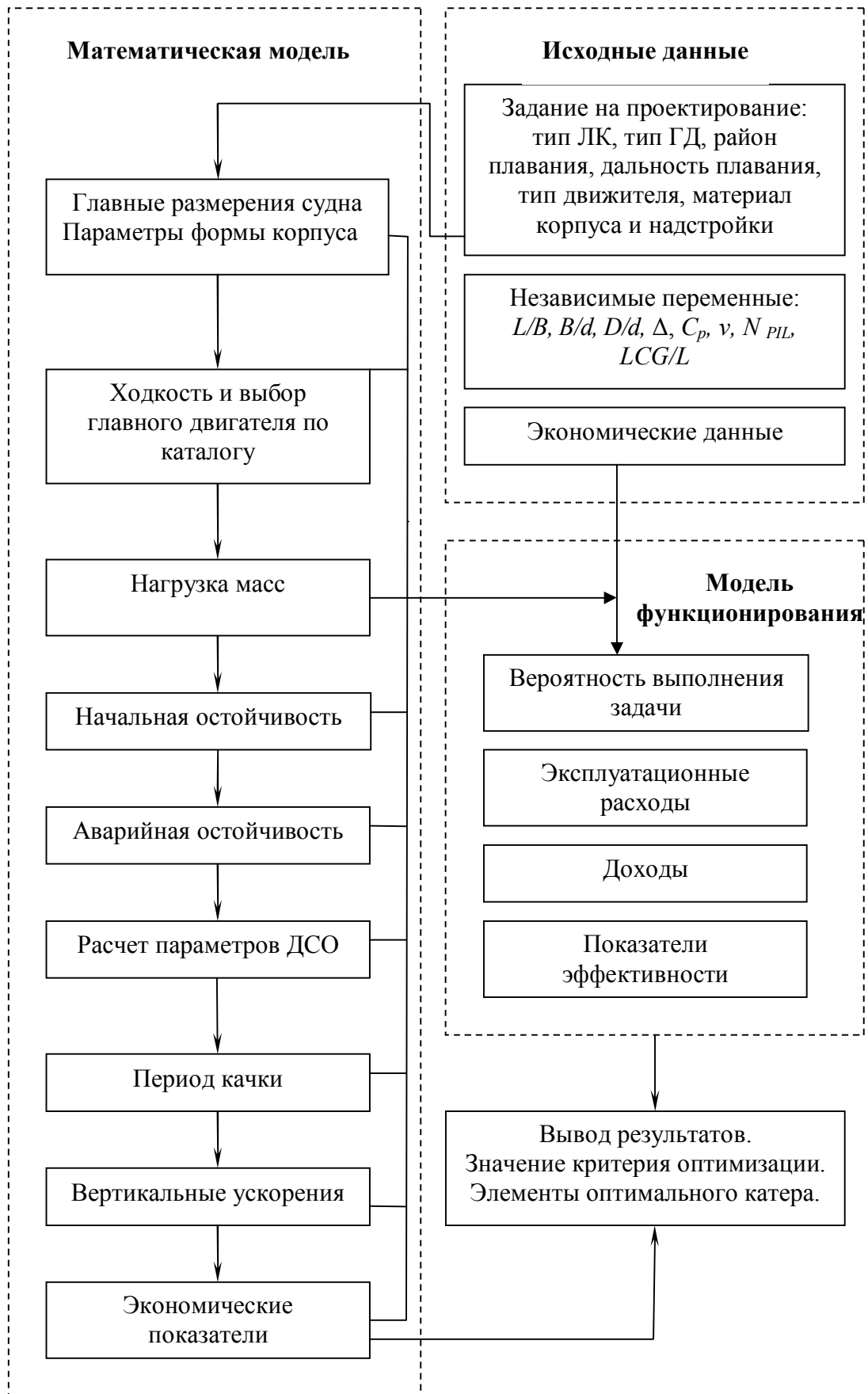


Рисунок 1 – Блок-схема математической модели и модели функционирования ЛК

Следующим этапом решения задачи оптимизации главных элементов ЛК в стохастической постановке является разработка математической модели судна. Математическая модель ЛК (рис. 1) содержит аналитические зависимости позволяющие определить: геометрические характеристики судна; сопротивление и необходимую мощность энергетической установки; разделы нагрузки масс; параметры начальной остойчивости и диаграммы статической остойчивости; показатели обитаемости и комфорта ЛК; строительную стоимость.

Выводы:

1. В результате анализа специфики проектирования и эксплуатации лоцманских катеров была сформулирована оптимизационная задача определения главных элементов судов данного типа. С учетом этих особенностей определены основные параметры и независимые переменные; сформировано множество ограничений, выбрана целевая функция.

2. Показано, что при оптимизации характеристик ЛК возникают сложности: необходимость алгоритмического вычисления ЦФ; большое количество оптимизируемых переменных; наличие ограничений в виде равенств и неравенств.

3. Случайный характер условий эксплуатации приводит к тому, что показатели затрат и эффективности являются случайными величинами и требует применения методов стохастического программирования для решения поставленной задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банди Б. Методы оптимизации : Вводный курс / Б. Банди. – М. : Радио и связь, 1988. – 127 с.
2. Вашедченко А.М. Методы оптимального проектирования судов / А. М. Вашедченко, О. І. Кротов, О. В. Бондаренко. – Николаїв : НУК, 2010. – 125 с.
3. Пашин В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. – Л. : Судостроение, 1983. – 292 с.
4. Царев Б. А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б. А. Царев. – Л. : Изд. ЛКИ, 1988. – 102 с.
5. Eames M. Concept Exploration – An Approach to Small Warship Design / M. Eames, T. Drummond // RINA Transaction. – 1977. – Vol. 119. – 36 p.
6. Majumder M. Optimised Design of Small Craft / M. Majumder, A. Akinturk, S. Calisal // Marine Technology. – 2002. – April – Vol. 39, № 2. – P. 67-76.
7. Регистр судоходства Украины. Правила классификации и постройки малых судов // Регистр судоходства Украины. – К. : Регистр судоходства Украины, 2002. – Т. 1, Т. 4.
8. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов // Российский морской регистр судоходства. – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2008. – 182 с.

Клева Я.А., Бондаренко О.В. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОЦМАНСЬКИХ КАТЕРІВ

Розглянуто специфіку вибору головних елементів лоцманських катерів. Сформульовано оптимізаційну задачу проектування і наведено її особливості.

Ключові слова: лоцманський катер, математична модель, критерій оптимальності, незалежні змінні, обмеження.

Kleva Y.A., Bondarenko A.V. THE FEATURES OF THE CHOICE OF OPTIMAL CHARACTERISTICS OF PILOT BOATS

The specific of choice of principal particulars of pilot boats is considered. The optimization task is formulated and its features are showed.

Keywords: pilot boats, mathematical model, goal function, independent variables, constraints.