



УДК 629.122

Е.В. Купальцева аспирант ФГБОУ ВО "ВГУВТ"

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

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ «МАЛЫХ» ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ

Ключевые слова: алгоритм оптимизации, критерии экономической эффективности, «малое» пассажирское судно

В связи с постоянно меняющейся транспортной ситуацией интерес к внутренним водным пассажирским перевозкам с каждым годом возрастает. Устаревшему нерентабельному флоту требуется полноценная замена, отвечающая экономическим, эргономическим и экологическим современным требованиям. В данной работе отражено решение оптимизационной задачи выбора основных элементов и характеристик пассажирских судов, эксплуатирующихся на внутригородских и пригородных линиях.

В процессе решения внутренней задачи проектирования, как правило, главные размерения судна, их соотношения, а также коэффициенты, определяющие форму корпуса, являются варьируемыми параметрами.

В качестве составляющих вектора исходных данных $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, выступает техническое задание, содержащее установленные данные для проектирования. Искомыми величинами в данном случае являются компоненты вектора варьируемых параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_i)$ и соответствующие требования нормативных величин $Y = (y_1, y_2, \dots, y_j)$, определяющие элементы и характеристики судна, при которых критерий экономической эффективности достигает экстремума $F = f(X; Y; Z) \rightarrow \text{in}(\max)$ и выполняются ограничения, представленные в виде строгих равенств или в виде неравенств

$$q_s(X; Y; Z) = \dots, s \in \dots \quad (1)$$

$$q_s(X; Y; Z) > \dots, s \in \dots \quad (2)$$

при этом значения варьируемых параметров лежат в допустимых пределах

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max} \quad (3)$$

В процессе нахождения искомых величин вектор определяемых элементов и характеристик судна должен удовлетворять следующим требованиям:

- уравнению масс и плавучести судна

$$D(X; Z) = \rho \sum (X; Y; Z), \quad (4)$$

$D(X; Z)$ - масса судна, т;

ρ - плотность воды, t / m^3 ;

$V_i(X; Y; Z)$ - объемное водоизмещение, m^3 .

- уравнению баланса масс

$$D(X; Z) = \sum P_i(X; Z), \quad (5)$$

$P_i(X; Z)$ - масса отдельных статей нагрузки масс, т.

– уравнению ходкости

$$N_e(X; Z) = \frac{R(X; Z) \cdot v}{\eta \cdot \eta_r \cdot \eta_{\omega}}, \quad (6)$$

N_e - требуемая мощность судовой энергетической установки, кВт;

R - полное сопротивление движению судна, кН;

v - скорость хода судна, м/с;

η - пропульсивный КПД установки;

η_r, η_{ω} - КПД ревуکتора и вала;

– уравнению пассажировместимости [5]

$$\sum S_i^{nacc} \geq \gamma_{факт}^{nacc}(X; Y; Z), \quad (7)$$

S_i^{nacc} - площадь i -той палубы, которая может быть использована для размещения пассажиров, м²;

$S_{факт}^{nacc}$ - площадь, необходимая для размещения заданного числа пассажиров, м².

– условие минимального надводного борта

$$H(X; Y; Z) - \gamma(X; Z) + t_n(X; Y; Z) \geq H_{мин}^{нб}, \quad (8)$$

H - расчетная высота борта, м;

T - расчетная осадка, м;

t_n - толщина настила палубы, м;

$H_{мин}^{нб}$ - минимально допустимая высота надводного борта (регламентируется Правилами РРР).

– условию обеспечения остойчивости

$$h_0(X; Z) \geq h_0^{мин}, \quad (9)$$

h_0 - расчетная малая метацентрическая высота, м;

$h_0^{мин}$ - минимально допустимая малая метацентрическая высота, определяемые Правилами РРР, м;

– требование к наибольшей осадке

$$T(X; Z) < \Gamma - \Delta, \quad (10)$$

T - расчетная осадка судна, м;

Γ - гарантированная глубина судового хода, м;

Δ - запас воды под днищем, м.

Решение уравнений (4), (8), (9) и (10) представлены в работе [1], определение составляющих уравнения (5) приведены в статьях [2, 3], расчет сопротивления корпуса судов рассматриваемого типа приведен в [4], условие пассажировместимости проверяется на основе работы [5].

При выборе оптимального варианта проекта рассчитываются критерии, сопоставляющие экономический эффект от эксплуатации судна (доходная часть) с затратами в форме капитальных вложений и текущих эксплуатационных расходов.

Таковыми критериями, применительно к рассматриваемому типу судов, приняты:

– срок окупаемости капиталовложений на постройку судна

$$T_{ок} = \frac{K}{P}, \quad (11)$$

где K - капитальные вложения, тыс. руб.;

P - прибыль от эксплуатации судна, тыс. руб.

- удельная себестоимость перевозки одного пассажира

$$C = \frac{R}{n_{пасс}^{сум} \cdot l_{экл}^{сум}}, \quad (12)$$

где R - суммарные эксплуатационные расходы, тыс. руб.;

$n_{пасс}^{сум}$ - количество пассажиров, перевезенных пассажиров за рассматриваемый период, чел.;

$l_{экл}^{сум}$ - суммарная длина линии перевозки за рассматриваемый период, км.

- прибыль от эксплуатации судна.

В зависимости от задаваемых исходных данных в качестве варьируемых параметров (компонентов вектора X) принимаются коэффициент общей полноты корпуса судна и количество пассажиров в одном поперечном ряду (рядность кресел в салоне).

На основе сформулированной задачи разработан алгоритм ее решения и программный продукт в среде VBA (Visual Basic for Application), позволяющий определить оптимальные характеристики и элементы «малого» пассажирского судна.

Для оценки адекватности разработанной математической модели на первом этапе численного эксперимента выполнен расчет элементов и характеристик ряда существующих судов данного типа- пассажировместимостью от 50 до 300 чел., скоростью хода от 12 до 24 км/ч. Полученные результаты сравнивались с проектными характеристиками рассматриваемых судов. Оценка производилась на основе анализа величины среднего квадратичного отклонения σ , вычисленного как квадратный корень из среднего арифметического всех квадратов разностей между рассматриваемыми величинами и их средним арифметическим. В качестве элементов, выбранных для сравнения приняты: расчетная длина и ширина судна, грузовое водоизмещение и соответствующие ему осадка и коэффициент общей полноты, высота борта и мощность энергетической установки. По результатам выполненного анализа получено, что величина σ колеблется в пределах 1,5...9,8%, что можно считать вполне допустимым для использования разработанной математической модели при расчете основных элементов и параметров судна на этапе концептуального проектирования.

В качестве примера решения поставленной оптимизационной задачи на рис. 1 приведены графики зависимости относительных показателей экономической эффективности при постоянном значении коэффициента общей полноты $\delta=0,55$ при варьировании количества пассажиров в одном поперечном ряду для различных значений скоростей. При проведении численного эксперимента было принято:

- АКТ III (пассажиры располагаются только в трюме);
- количество пассажиров 80 чел.;
- длина линии эксплуатации $l_{экл} = 10$ км.

При расчете относительных показателей их абсолютные значения отнесены к минимальной себестоимости перевозки, максимальной прибыли от эксплуатации и нормативному сроку эксплуатации речных пассажирских судов соответственно.

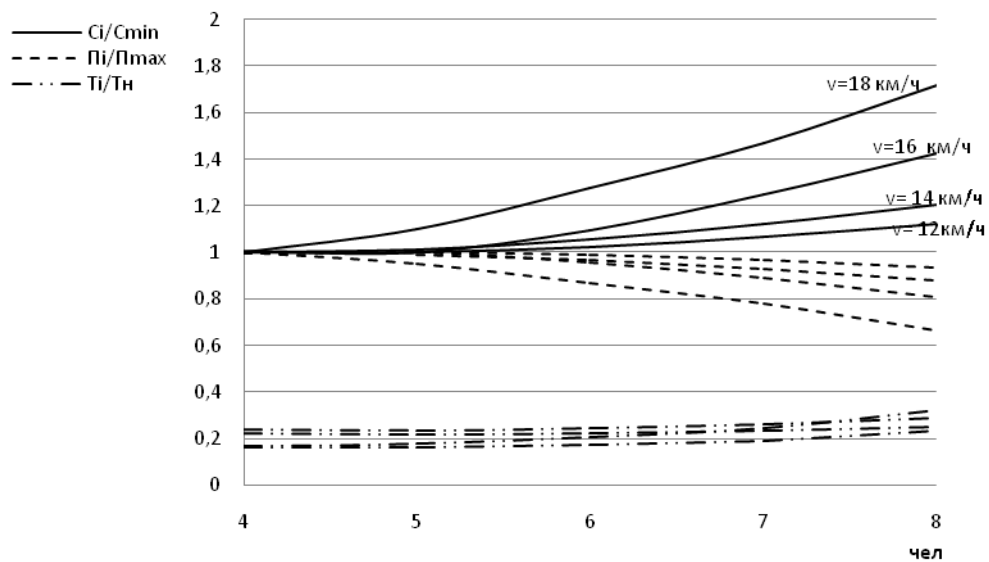


Рис.1- Зависимость относительных показателей экономической эффективности «малого» пассажирского судна при варьировании числа пассажирских кресел в одном пассажирском ряду для различных значений скоростей при $\delta=0,55$

Разработанная математическая модель «малого» пассажирского судна и созданный на ее основе программный комплекс позволяют, наряду с определением оптимальных главных элементов и характеристик судов, выполнив численные эксперименты, исследовать их влияние на экономические показатели, что представляет определенный интерес при проектировании в условиях поиска оптимального решения.

Список литературы:

- [1] Дормидонтов, Н.К. Проектирование судов внутреннего плавания / Н.К. Дормидонтов [и др.] - Л.: «Судостроение», 1974г. - 335 с.
- [2] Роннов, Е.П. Масса металлического корпуса «малых» пассажирских судов. / Роннов Е.П., Купальцева Е.В. // Вестник Астраханского Государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология 2015. №.3- С. 23-29.
- [3] Купальцева, Е.В. Определение составляющих нагрузки масс «малых» пассажирских судов на начальном этапе проектирования / Е. В. Купальцева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта — Н. Новгород.: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015.— № 45. — С. 181–189.
- [4] Роннов, Е.П. Расчёт ходкости «малого» пассажирского судна на начальной стадии проектирования / Е.П. Роннов, Е.В. Купальцева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта — Н. Новгород.: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015.— №47 . — С.63–68.
- [5] Купальцева, Е.В. Определение пассажироместимости «малого» пассажирского судна на начальной стадии проектирования // Вестник ГУ МРФ – Санкт- Петербург, 2016- № 4(38) - С.113-121.

THE MATHEMATIC MODEL OPTIMIZATION OF THE MAIN ELEMENTS FOR "SMALL" PASSENGER VESSELS

E.V. Kupaltseva, E.P. Ronnov

Key words: the optimization algorithm, the criteria of economic efficiency, "small" passenger vessel

The interest into the inland water passenger transportation increases every year in the constantly changing traffic situation. Full replacement of the fleet that meets the economic, ergonomic and ecological modern requirements are necessary. In this work contain an algorithm of solving an optimization problem of choosing the main elements and characteristics passenger vessels operating on intra-city and suburban lines