

УДК 629.541.4
Н 48

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЫСТРОХОДНОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА

В. А. Некрасов, д-р техн. наук, проф.;
Нгуен Гуй Хоанг, асп.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Приведены формулировка и решение оптимизационной задачи выбора главных размерений быстроходного однокорпусного пассажирского судна.

Ключевые слова: быстроходное однокорпусное пассажирское судно, математическая модель, имитационное моделирование, формулировка и решение оптимизационной задачи.

Анотація. Наведені формулювання і розв'язок оптимізаційної задачі вибору головних розмірів швидкохідного однокорпусного пасажирського судна.

Ключові слова: швидкохідне однокорпусне пасажирське судно, математична модель, імітаційне моделювання, формулювання і розв'язок оптимізаційної задачі.

Abstract. The formulation and solutions of the optimization task on selecting the main dimensions of a high-speed monohull passenger vessel.

Keywords: high-speed monohull passenger vessel, mathematical model, simulation, formulation and solution of optimization task.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние годы во многих странах мира повысился интерес к быстроходным судам различного назначения, в том числе и к пассажирским. Особенно это касается тех стран, которые имеют протяженные морские границы и внутренние водные пути и в которых важную роль играет развитие пассажирских перевозок быстроходным водным транспортом. В районах с относительно небольшой интенсивностью волнения распространены суда с корпусами типа Deep V и глиссирующие. К таким районам можно отнести часть побережья и реки Вьетнама, а также реки Украины и ее Черноморско-Азовский бассейн. Оптимизация выбора главных размерений таких судов на начальных стадиях проектирования с применением систем автоматизированного проектирования значительно снижает трудоемкость проектных работ и обеспечивает выбор наиболее рационального в практическом отношении судна.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Оптимизационная задача выбора элементов скоростных пассажирских судов глиссирующего типа рассматривалась В.П. Соколовым в работах [9, 10]. Однако с тех пор существенно изменились содержание и методы решения оптимизационных задач проектирования судов. К последним исследованиям, посвященным определению главных размерений однокорпусных пассажирских судов типа Deep V, следует отнести работу А.О. Канифольского [5]. Однако в этой работе оптимизационная задача выбора основных характеристик такого судна не рассматривалась.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — формулирование и решение оптимизационной задачи выбора главных размерений однокорпусного пассажирского судна с корпусами типа Deep V и глиссирующего типа.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения задачи оптимизации определения главных размерений судна предполагается использовать следующий подход. На первых этапах разрабатываются модели функционирования судна и экономической эффективности, которые отражают все характерные особенности эксплуатации судов этого типа. Затем под эти особенности отрабатывается модель инженерных и мореходных качеств судна, схематизированное представление которой в теории проектирования судов обычно называется математической моделью судна. На основе сформированных зависимостей функционирования, эффективности и качеств формулируется оптимизационная задача проектирования судна. Поиск решения этой задачи осуществляется с помощью известного метода Пауэлла и метода штрафных функций на языке программирования Delphi 7.0.

Модель функционирования. Для решения задач обеспечения эффективности и надежности выполнения проектируемым судном стоящих перед ним задач разработана модель функционирования, схема которой приведена на рис. 1.

Разработанная модель функционирования судна состоит из следующих блоков:

– «Моделирование гидрометеорологических условий». Входными данными его являются скорость и направление ветра, высота волн 3%-й

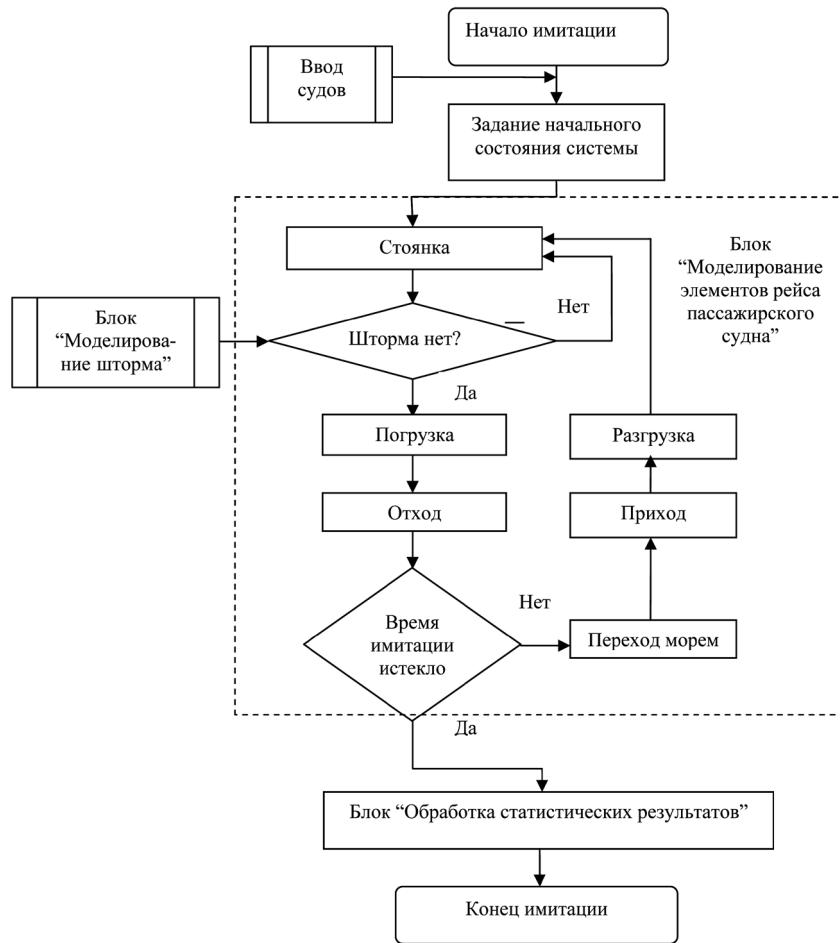


Рис. 1. Модель функционирования пассажирского судна на линии

обеспеченности, период волны, направление и длина волн и видимость в заданном районе;

– «Моделирование элементов рейса». В нем моделируются пассажиропоток, погрузка, разгрузка и т. д., проводится проверка на возможность выполнения рейса по гидрометеорологическим условиям;

– «Обработка информации и вычисления характеристик рейса». В нем выполняются статистическая обработка результатов моделирования и расчет показателей экономической эффективности.

Модель экономической эффективности. Для определения характеристик затрат и показателя эффективности эксплуатации разрабатывается модель экономической эффективности. При этом в качестве ресурсного показателя используется стоимость жизненного цикла судна.

Стоимость жизненного цикла судна S определяется как сумма затрат на проектирование $S_{пр}$, постройку $S_{п}$, эксплуатацию $S_{э}$ и утилизацию $S_{у}$ [6]: $S = S_{пр} + S_{п} + S_{э} + S_{у}$.

Стоимость постройки $S_{п} = S_{ст} + S_{об} + S_{м} + S_{р}$, где $S_{ст}$, $S_{об}$, $S_{м}$, $S_{р}$ — соответственно затраты на создание металлического корпуса, оборудования, механизмов судна и выполнение работ по строительству.

Стоимости составляющих $S_{п}$ находятся по формулам:

$$S_{ст} = c_{ст} P_{ст}; \quad S_{об} = c_{об} P_{об}; \quad S_{м} = c_{м} P_{м}; \quad S_{р} = S_{ос} + S_{н.р.} + S_{от} + S_{зп},$$

где $P_{ст}$, $P_{об}$, $P_{м}$ — масса металлического корпуса, оборудования и механизмов судна, т; $c_{ст}$, $c_{об}$, $c_{м}$ — удельная стоимость на единицу массы металлического корпуса, оборудования и механизмов, млн дол./т; $S_{ос}$ — основная зарплата рабочих; $S_{н.р.}$ — накладные расходы; $S_{от}$ — отчисление; $S_{зп}$ — запас расхода. Значения $c_{ст}$, $c_{об}$, $c_{м}$ в этой модели — случайные генерирующиеся в соответствии с заданными параметрами и типом закона распределения.

Затраты на эксплуатацию для обеспечения жизненного цикла судна предлагается рассчитывать через тайм-чартерный эквивалент по формуле

$$S_{э} = m_p \left[\frac{\Psi^*}{24} t_p + \left(\Psi \sum g_{см} (q_x t_x + q_{ст} t_{ст}) + \Delta C_p \right) \right],$$

где m_p — количество рейсов обслуживания, выполненных судном за время жизненного цикла; t_p — продолжительность кругового рейса судна, ч; Ψ^* — условный тайм-чартерный эквивалент, определяется по формуле $\Psi^* = E_{пр} + E_{кос}$ ($E_{пр}$ — прямые

эксплуатационные расходы суточного содержания судна; $E_{\text{кос}}$ — косвенные эксплуатационные расходы за исключением переменных расходов в рейсе); Π — цена расходоуемого топлива; $g_{\text{см}} = 1,02 \dots 1,04$ — коэффициент учета мазочных материалов; $q_x, q_{\text{ст}}$ — нормы расхода топлива на ходу и на стоянке; t_x — время хода судна; $t_{\text{ст}}$ — стояночное время судна; ΔC_p — переменные расходы фрахтователя за исключением расходов на топливо, включающие в себя навигационные расходы, портовые сборы и прочие расходы, связанные с выполнением данного рейса.

Прямые расходы определяются как сумма расходов за сутки на содержание экипажа $E_{\text{эк}}$, страхование судна $E_{\text{страх}}$, ремонт $E_{\text{рем}}$, амортизационные отчисления $E_{\text{ам}}$ и снабжение $E_{\text{сн}}$, т. е.

$$E_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{эк}} + E_{\text{страх}} + E_{\text{рем}} + E_{\text{ам}} + E_{\text{сн}}}{T_{\text{эк}}},$$

где $T_{\text{эк}}$ — годовой эксплуатационный период, сут, рассчитывается с помощью долговременных распределений характеристик ветра и волнения в районе обслуживания с учетом времени стоянки судна на ремонте.

Исходя из случайного характера исходных данных и принятого вида ресурсного показателя в качестве показателя эффективности предлагается использовать математическое ожидание прибыли Π за жизненный цикл судна $M[\Pi]$.

Прибыль за жизненный цикл судна Π определяется по формуле

$$\Pi = D - S_3 = \Pi_0 N_{\text{п}} N_{\text{р}} T_{\text{эк}} - m_{\text{р}} \left[\frac{C^*}{24} t_{\text{р}} + \left(\Pi \sum g_{\text{см}} (q_x t_x + q_{\text{ст}} t_{\text{ст}}) + \Delta C_p \right) \right],$$

где D — доходы, полученные за время жизненного цикла судна; Π_0 — цена одной перевозки пассажира; $N_{\text{п}}$ — количество перевезенных пассажиров за рейс; $N_{\text{р}}$ — количество рейсов в год; $T_{\text{эк}}$ — время эксплуатации за жизненный цикл судна, лет.

Модель инженерных и мореходных качеств судна. Для разработки этой модели необходимо составить уравнения вместимости, массовой нагрузки, плавучести, вертикальных сил, центровки, ходкости, остойчивости, управляемости и обитаемости.

Уравнение ходкости имеет вид $N_{\text{ф}} \geq N_e = \frac{Rv}{\eta_{\text{р}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{в}} \eta_{\text{ред}}}$,

где $N_{\text{ф}}$ — фактическая мощность главного двигателя; N_e — необходимая мощность главного двигателя, кВт; R — полное сопротивление движению судна, кН; v — скорость хода судна, м/с; $\eta_{\text{р}}$ — КПД движителя; $\eta_{\text{к}}$ — коэффициент влияния корпуса; $\eta_{\text{в}}$ — коэффициент полезного действия валопровода; $\eta_{\text{ред}}$ — КПД редуктора [4].

Уравнение вместимости пассажирских судов составляется в виде $A_{\text{н}} = \sum A_{\text{ни}} \geq A_{\text{н}}^*$, где $A_{\text{н}}$ — необ-

ходимая суммарная площадь палуб, значение которой определяется в процессе решения оптимизационной задачи; $A_{\text{ни}}$ — площадь i -й палубы; $A_{\text{н}}^*$ — располагаемая суммарная площадь палуб.

Уравнение весовой нагрузки имеет вид $D = \sum m_i$, где D — водоизмещение судна, т; $\sum m_i$ — сумма всех статей массовой нагрузки судна: массы корпуса, оборудования, энергетической установки, снабжения, топлива, перевозимого груза, экипажа и пассажиров с багажом, запаса воды и провизии, т [3].

Уравнение плавучести: $\rho \sum V_i = D$, где $\rho = 1,025$ т/м³ — удельная масса морской воды; V_i — отдельные плавучие объемы [2].

Уравнение вертикальных сил:

$$\Delta = N \cos \bar{\alpha} + T \sin (\bar{\alpha} + \bar{\varepsilon}) - F \sin \bar{\alpha},$$

где Δ — вес судна, кН; N — сила поддержания со стороны воды, в водоизмещающем режиме она определяется гидростатической составляющей давления воды, в переходном режиме — суммой гидростатической и гидродинамической составляющих, а в режиме глиссирования — в основном гидродинамической составляющей, кН; T — тяга движителя, кН; F — силы трения; $\bar{\alpha}$ — угол атаки, град; $\bar{\varepsilon}$ — угол между вектором силы T и основной линией, град.

Уравнение центровки. Величины координат центров тяжести (ЦТ) и величины (ЦВ) должны удовлетворять уравнению удифферентовки в водоизмещающем режиме и уравнению равновесия моментов в режиме глиссирования [12].

— уравнение удифферентовки: $x_c - dx_c \leq x_g \leq x_c + dx_c$, где x_g, x_c — соответственно абсциссы центра тяжести и центра величины; dx_c — допустимое отклонение положения абсциссы центра величины, не приводящее к заметному росту сопротивления;

— уравнение равновесия моментов: $N(x_g - x_c) + Fl_F - Tl_T = 0$, где l_F и l_T — соответственно плечо силы трения F и тяги силы T относительно ЦТ.

Уравнение поперечной остойчивости судна имеет следующий вид:

— в водоизмещающем режиме $h_0 = Z_c + r_0 - Z_g \geq (h_0)_{\text{мин}}$, где h_0 — начальная поперечная метацентрическая высота, м; Z_c — аппликата ЦВ судна, м; r_0 — поперечный метацентрический радиус, м; Z_g — аппликата ЦТ судна, м; $(h_0)_{\text{мин}}$ — минимально допустимое значение начальной поперечной метацентрической высоты, м;

— в переходном режиме и режиме глиссирования [13]

$$h' = \frac{D_1 h_1}{D} + \rho v^2 \frac{1}{D \theta_x} \left[\left(\frac{\partial C_{\text{уп}}}{\partial \gamma} \right) (\gamma - \xi) S_p (Z_g - l_1) - \left(\frac{\partial C_y}{\partial \xi} \right) \left(\frac{D_1}{\rho} \right)^{2/3} \xi \left(Z_g + \frac{2}{3} L_{\text{см}} \psi \right) \right] \geq (h')_{\text{мин}},$$

где h' — условная поперечная метацентрическая высота; $D_1 = (1/2)\rho\delta\psi B(L_{cm})^2$ — водоизмещение судна при скорости v_1 ; h_1 — метацентрическая высота при водоизмещении D_1 ; θ_x — ходовой угол крена; $C_{yp} = \left(\frac{\partial C_{yp}}{\partial \gamma}\right)(\gamma - \xi)$ — безразмерный коэффициент, определяется экспериментально; S_p — площадь пера руля; γ — угол перекадки рулей; ξ — угол дрейфа; l_1 — расстояние от центра давления сил на руле до основной линии; $\frac{\partial C_y}{\partial \xi}$ — безразмерный коэффициент в функции от $Fr_B = \frac{v}{\sqrt{gB}}$; L_{cm} — смоченная длина судна по скуле; ψ — угол дифферента; h'_{min} — минимально допустимое значение условной поперечной метацентрической высоты.

Уравнение управляемости судна — устойчивое глиссирование на циркуляции [8]:

$$\theta \sin \psi + \xi + |x_g| \omega \leq \frac{\sin \psi}{\operatorname{tg} \beta},$$

где θ , ψ , ξ , β — соответственно углы крена, дифферента, дрейфа, килеватости; ω — угловая скорость рыскания.

Уравнение обитаемости — плавность процессов качки судна:

— в водоизмещающем режиме $\tau = c(B/\sqrt{h}) \geq \tau_{min}$, где τ — собственный период качки судна, с; c — эмпирический коэффициент; τ_{min} — минимально допустимое значение периода качки, обусловленное условиями обитаемости, с;

— в переходном режиме и режиме глиссирования [11]

$$\bar{n} = C_1 \frac{(1 + 0,5\bar{\alpha})^{1/4}}{L^{5/4}} \frac{h_{3\%}}{V^{1/3}} Fr_v \leq \bar{n}_{max},$$

где \bar{n} — коэффициент перегрузки в центре тяжести судна; C_1 — эмпирический коэффициент; $\bar{\alpha}$ — угол атаки; $h_{3\%}$ — высота волны 3%-й обеспеченности; \bar{n}_{max} — максимально допустимое значение коэффициента перегрузки.

Математическая модель. Математическая модель судна — это его описание с помощью формул, уравнений, неравенств и логических операторов качеств судна как сложной технической системы. В ней в соответствии с начальными данными (независимые переменные, исходные данные, нормативы, параметры) вычисляются главные элементы судна (коэффициенты полноты, его размерения и т. п.).

Блок-схема математической модели судна представлена на рис. 2. В этой схеме «Да» значит, что



Рис. 2. Блок-схема математической модели судна

условия на проверку удовлетворяются, а «Нет» — не удовлетворяются.

Формулировка задачи оптимизации выбора главных размерений судна. Современная методология проектирования судов учитывает их функциональное многообразие и основывается на общих принципах математического моделирования. В общем случае в задаче оптимизации главных размерений судна оптимизируемые параметры подразделяются на параметры задания на проектировании u_j ($j=1, \dots, m$) и варьируемые переменные x_i ($i=1, \dots, n$), определяющие характеристики судна. Тогда возможные решения задачи проектирования можно определить как комбинацию значений векторов (X, U) : $X=(x_1, \dots, x_n)$; $U=(u_1, \dots, u_m)$, которые обеспечивают максимальное значение выбираемой вероятностной характеристики прибыли целевой функции.

Таким образом, оптимизация основных параметров судна сводится к нахождению максимума целевой функции $f(X, U)=M[\Pi]=M[D-P] \rightarrow \max$ при одновременном выполнении требований к ограничениям независимых переменных $(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max}$ и к функциональным ограничениям $g_j(X, U) \geq A_j$ и $h_k(X, U) \leq B_k$.

Ограничения по независимым переменным представляются в виде

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max},$$

где x_i — главные элементы судна (длина судна L , ширина судна B , высота борта H , осадка T , коэффициент общей полноты δ , скорость судна v ...) и $(x_i)_{\min}$ и $(x_i)_{\max}$ — соответственно их минимальные и максимальные значения.

К функциональным ограничениям задачи относятся требования:

– **к эффективности эксплуатации:**

• по ходкости $N_{\phi} \geq N_e = \frac{Rv}{\eta_p \eta_k \eta_b \eta_{ред}}$;

• по вместимости $A_{\Pi} \geq A_{\Pi}^*$;

• по весовой нагрузке $D = \sum m_i$;

• по плавучести судна в водоизмещающем режиме $\rho \sum V_i = D$;

• по вертикальным силам в переходном режиме и режиме глиссирования $gD = N \cos \bar{\alpha} + T \sin(\bar{\alpha} + \bar{\varepsilon}) - F \sin \bar{\alpha}$;

• по центровке в переходном режиме и режиме глиссирования $x_c - \Delta x_c \leq x_g \leq x_c + \Delta x_c$ и $N(x_g - x_c) + Fl_F - T_{IT} = 0$;

– **к обитаемости, обеспечивающей плавность процессов качки судна:**

• в водоизмещающем режиме $\tau = c(B/\sqrt{h}) \geq \tau_{\min}$;

• в переходном режиме и режиме глиссирования

$$\bar{n} = C_1 \frac{(1+0,5\bar{\alpha})^{1/4}}{L^{5/4}} \frac{h_{3\%}}{V^{1/3}} Fr_v \leq \bar{n}_{\max};$$

– **к безопасности эксплуатации:**

• по поперечной остойчивости:

в водоизмещающем режиме $h_0 = Z_c + r_0 - Z_g \geq (h_0)_{\min}$;

в переходном режиме и режиме глиссирования

$$h' = \frac{D_1 h_1}{D} + \rho v^2 \frac{1}{D \theta_x} \left[\left(\frac{\partial C_{зр}}{\partial \gamma} \right) (\gamma - \xi) S_p (Z_g - l_1) - \left(\frac{\partial C_y}{\partial \xi} \right) \left(\frac{D_1}{\rho} \right)^{2/3} \xi \left(Z_g + \frac{2}{3} L_{cm} \Psi \right) \right] \geq (h')_{\min};$$

• по углу крена от скопления пассажиров на верхней палубе у одного борта $\theta_1 = \frac{0,25 P_{\Pi} D}{D h_0} \leq 10^\circ$, где P_{Π} — общий вес располагающихся на палубе пассажиров, кН; B — ширина судна, м;

• по углу крена от совместного действия кренящих моментов $M_{кр1}$ (от скопления пассажиров у борта на своих прогулочных палубах) и $M_{кр2}$ на установившейся циркуляции θ_2

$$\theta_2 \leq \frac{M_{кр1} + M_{кр2}}{D h_0} = \frac{0,25 P_{\Pi} B + 0,24 D v_{0,8}^2 (Z_g - \frac{T}{2})}{D h_0} \leq 12^\circ,$$

где $v_{0,8} = 0,8(0,514v)$ м/с; z_g — аппликата ЦТ судна, м;

• по параметрам диаграммы статической остойчивости (ДСО). Согласно Правилам [7] ДСО должна удовлетворять следующим условиям:

$$l \geq 0,2 \text{ м при } \theta \geq 30^\circ; \quad \theta_{\max} \geq 15^\circ; \quad S_{30..40^\circ} \geq 0,03 \text{ м} \cdot \text{рад};$$

$$S_{\theta_{\max}} \geq \begin{cases} 0,07 \text{ м} \cdot \text{рад} & \text{при } \theta_{\max} = 15^\circ \\ 0,055 \text{ м} \cdot \text{рад} & \text{при } \theta_{\max} \geq 30^\circ, \\ 0,055 + 0,001(30 - \theta_{\max}) & \text{при } 30^\circ \geq \theta_{\max} \geq 15^\circ, \end{cases}$$

где l — плечо диаграммы статической остойчивости, м; θ_{\max} — угол крена, соответствующий максимальному плечу диаграммы статической остойчивости, град; $S_{30..40^\circ}$ — площадь диаграммы, ограниченная кривой восстанавливающих плеч от 30° до 40° ; $S_{\theta_{\max}}$ — площадь диаграммы, ограниченная кривой восстанавливающих плеч до угла θ_{\max} ;

• по критерию погоды:

в водоизмещающем режиме $K_{\Pi} = \frac{M_c}{M_v} \geq 1$, где M_v —

ветровой кренящий момент, определяется по формуле $M_v = 0,001 p_v A_v Z_{\Pi}$, (p_v — расчетное удельное давление ветра, Па; A_v — площадь парусности, м²; Z_{Π} — отстояние центра парусности от плоскости действующей ватерлинии, м; M_c — опрокидывающий момент, определяемый по диаграмме статической или динамической остойчивости;

в переходном режиме и режиме глиссирования критерий погоды имеет вид [1] $K'_{\Pi} = \frac{M'_c}{M'_v} \geq 1$, где M'_v —

ветровой кренящий момент в соответствующем режиме, определяется по формуле $M'_v = 0,001 p'_v A'_v Z'_{\Pi} \phi' f'$ ($p'_v = p_v$ — расчетное удельное давление ветра; A'_v и Z'_{Π} — площадь парусности и ее плечо в водоизмещающем режиме; ϕ' — коэффициент влияния

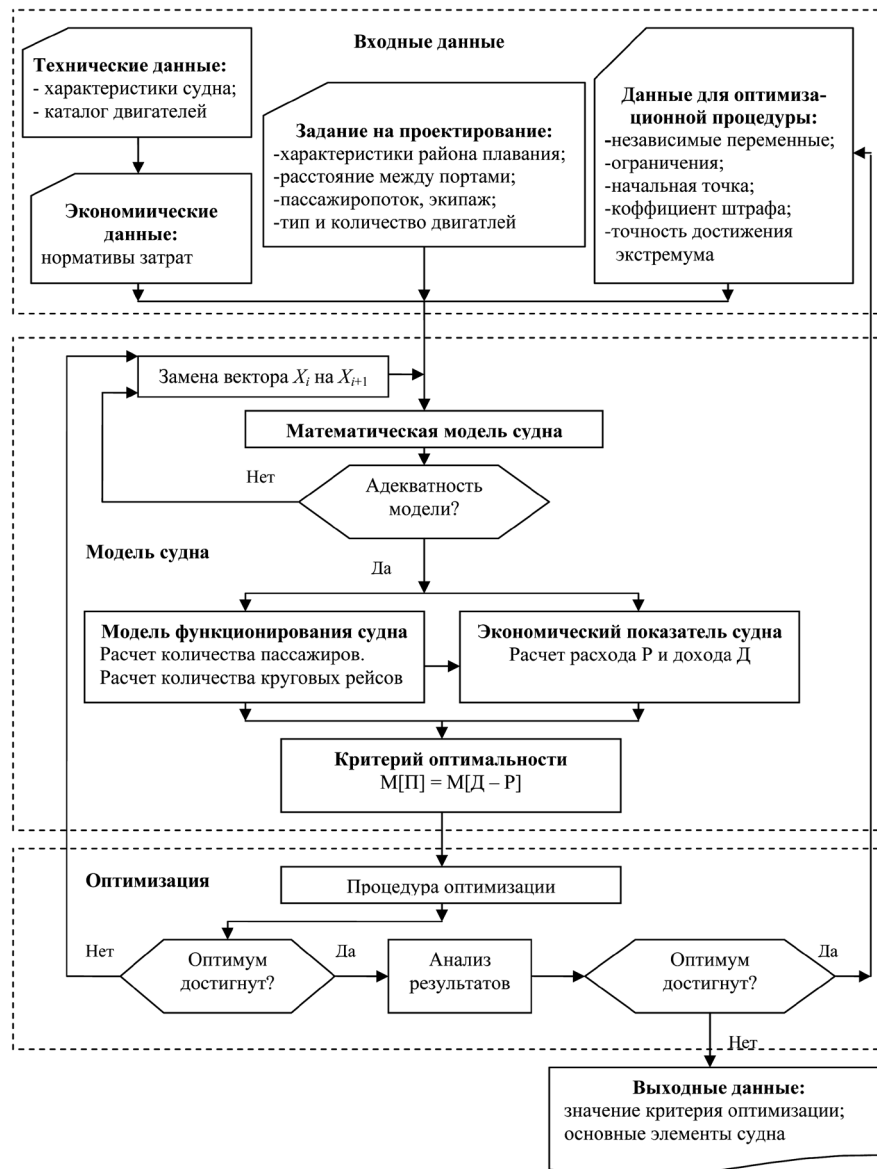


Рис. 3. Общая блок-схема алгоритма определения основных элементов судна

аэродинамической нагрузки, обусловленной скоростью судна; f' — коэффициент обтекания, определяется путем модельных испытаний в аэродинамической трубе, а при отсутствии данных таких продувок принимается равным единице; M'_c — минимальный выдерживаемый судном момент, при котором вызываемый им крен еще не приводит к переходу судна в водоизмещающее положение и который определяется по диаграмме статической или динамической остойчивости.

Алгоритм решения оптимизационной задачи определения основных элементов судна. На основе разработанной математической модели судна и сформированного с помощью методов имитационного моделирования способа решения стохастической задачи его функционирования создается общий алгоритм

определения основных элементов судна, схема которого изображена на рис. 3.

ВЫВОДЫ

1. Сформулирована и решена оптимизационная задача выбора главных размерений однокорпусного пассажирского судна с корпусами типа Deep V и глиссирующего типа.

2. При оптимизации главных характеристик пассажирского судна с корпусами типа Deep V и глиссирующего типа целевая функция оказывается сложной нелинейной функцией многих случайных величин и ограничений в виде равенств и неравенств. Вероятностные характеристики этой функции эффективно определяются с помощью метода Монте-Карло, а оптимальное значение — с помощью методов нелинейного программирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Богданов, А.И.** Критерий погоды для морских судов с динамическими принципами поддержания [Текст] / А.И. Богданов, Л.Н. Стреляев // Труды ЦНИИМФ. — Вып. 258. — 1980. — С. 60–65.
- [2] **Бронников, А.В.** Проектирование судов [Текст] / А.В. Бронников. — Л. : Судостроение, 1991. — 320 с.
- [3] **Ваганов, А.М.** Проектирование скоростных судов [Текст] / А.М. Ваганов. — Л. : Судостроение, 1978. — 280 с.
- [4] **Егоров, И.Т.** Ходкость и мореходность глиссирующих судов [Текст] / И.Т. Егоров, М.М. Буньков, Ю.М. Садовников. — Л. : Судостроение, 1978. — 336 с.
- [5] **Канифольский А.О.** Определение главных размерений быстроходных однокорпусных водоизмещающих судов на начальных стадиях проектирования [Текст] / А.О. Канифольский. — О. : ОНМУ, 2003.
- [6] **Краев, В.И.** Экономические обоснования при проектировании морских судов [Текст] / В.И. Краев. — Л. : Судостроение, 1981. — 280 с.
- [7] Правила классификации и постройки высокоскоростных судов Российского морского Регистра судоходства [Текст]. — СПб., 2008.
- [8] **Соболев, Г.В.** Управляемость корабля и автоматизация судовождения [Текст] / Г.В. Соболев. — Л., 1976. — 475 с.
- [9] **Соколов, В.П.** Схема проектного обоснования рациональной ширины и центровки глиссирующих судов [Текст] / В.П. Соколов // Проектирование морских судов и плавучих технических средств; Труды ЛКИ, 1983. — С. 79–83.
- [10] **Соколов В.П.** Особенности оптимизации проектных характеристик скоростных пассажирских судов [Текст] / В.П. Соколов // Проектирование морских судов и плавучих технических средств : Труды ЛКИ, 1987. — С. 106–110.
- [11] **Соколов, В.П.** Учет перегрузок по ускорению в структуре критерия мореходности при проектировании скоростных судов [Текст] / В.П. Соколов, С.В. Разумов // Проектирование морских судов и плавучих технических средств : Труды ЛКИ, 1986. — С. 79–82.
- [12] **Царев, Б.А.** Оптимизационное проектирование скоростных судов [Текст] / Б.А. Царев. — Л., 1988. — 102 с.
- [13] **Царев, Б.А.** Развитие форм уравнения устойчивости и пути его применения при проектировании высокоскоростных судов [Текст] / Б.А. Царев // Сб. НТО. — 1972. — № 174. — С. 25–46.

© В. О. Некрасов, Нгуен Гуй Хоанг

Надійшла до редколегії 26.01.2012

Статтю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. *О.І. Соломенцев*

Статтю розміщено у Віснику НУК №2, 2012