

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

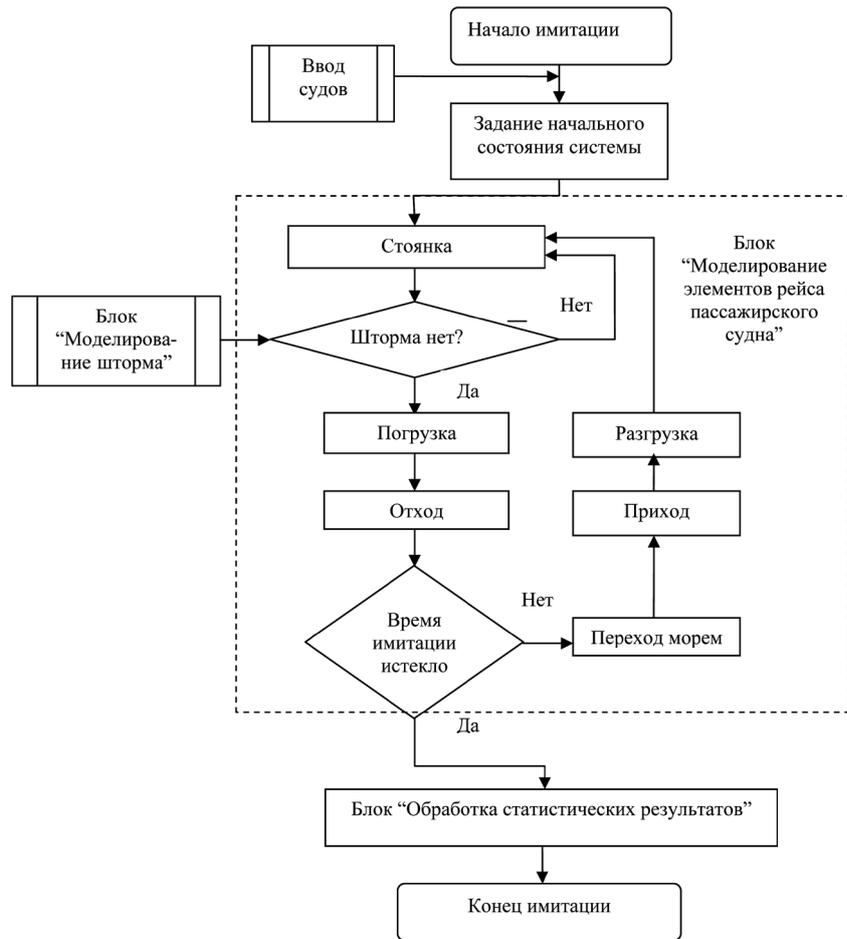


Рис. 1. Модель функционирования пассажирского судна на линии

обеспеченности, период волн, 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

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

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

эксплуатационные расходы суточного содержания судна;  $E_{\text{кос}}$  — косвенные эксплуатационные расходы за исключением переменных расходов в рейсе);  $\Pi$  — цена расходуемого 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;  $\Delta C_p$  — 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  $\Pi$  за жизненный цикл судна  $M[\Pi]$ .

Прибыль за жизненный цикл судна  $\Pi$  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;  $\Pi_0$  — 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/м<sup>3</sup> — удельная масса морской воды;  $V_i$  — отдельные плавучие объемы [2].

**Уравнение вертикальных сил:**

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

где  $\Delta$  — 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;  $\bar{\epsilon}$  — 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  $D_1$ ;  $\theta_x$  — ходовой угол крена;  $C_{yp} = \left(\frac{\partial C_{yp}}{\partial \gamma}\right)(\gamma - \xi)$  — безразмерный коэффициент, определяется экспериментально;  $S_p$  — площадь пера руля;  $\gamma$  — угол перекадки рулей;  $\xi$  — 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;  $\psi$  — угол дифферента;  $h'_{min}$  — минимально допустимое значение условной поперечной метацентрической высоты.

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

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

где  $\theta$ ,  $\psi$ ,  $\xi$ ,  $\beta$  — соответственно углы крена, дифферента, дрейфа, килеватости;  $\omega$  — угловая скорость рыскания.

**Уравнение обитаемости** — плавность процессов качки судна:

— в водоизмещающем режиме  $\tau = c(B/\sqrt{h}) \geq \tau_{min}$ , где  $\tau$  — собственный период качки судна, с;  $c$  — эмпирический коэффициент;  $\tau_{min}$  — 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

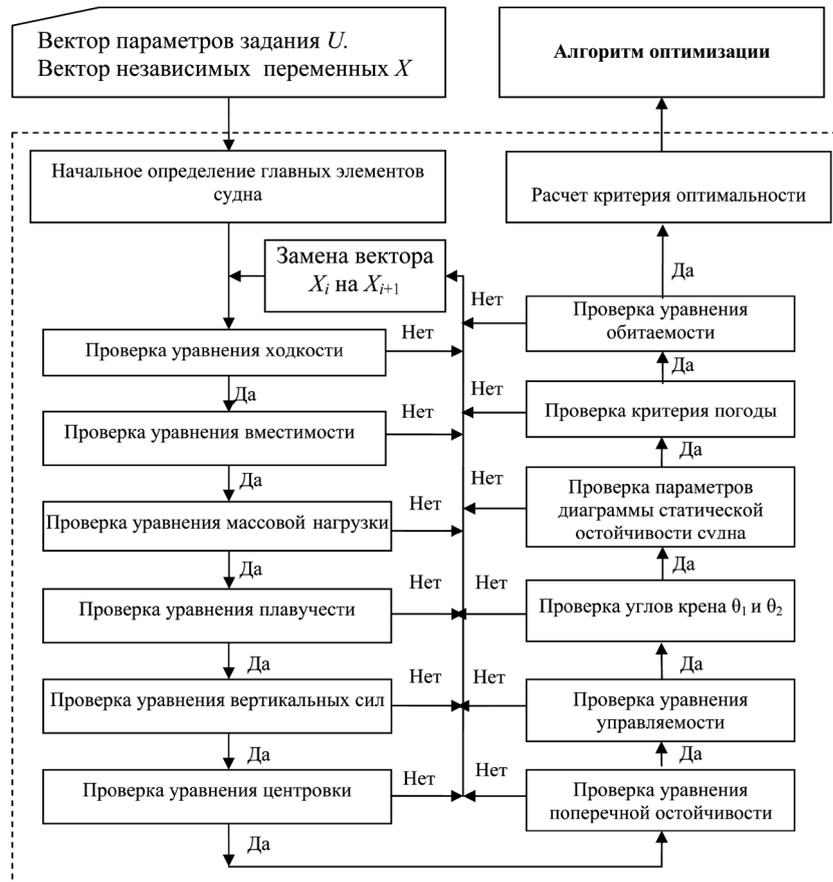


Рис. 2. Блок-схема математической модели судна

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  $\delta$ , 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  $gD = N \cos \bar{\alpha} + T \sin(\bar{\alpha} + \bar{\epsilon}) - F \sin \bar{\alpha}$ ;

• 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  $P_{\Pi}$  — 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  $\theta_2$

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

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

• 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, м<sup>2</sup>;  $Z_{\Pi}$  — 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  $Z'_{\Pi}$  — площадь парусности и ее плечо в водоизмещающем режиме;  $\phi'$  — коэффициент влияния

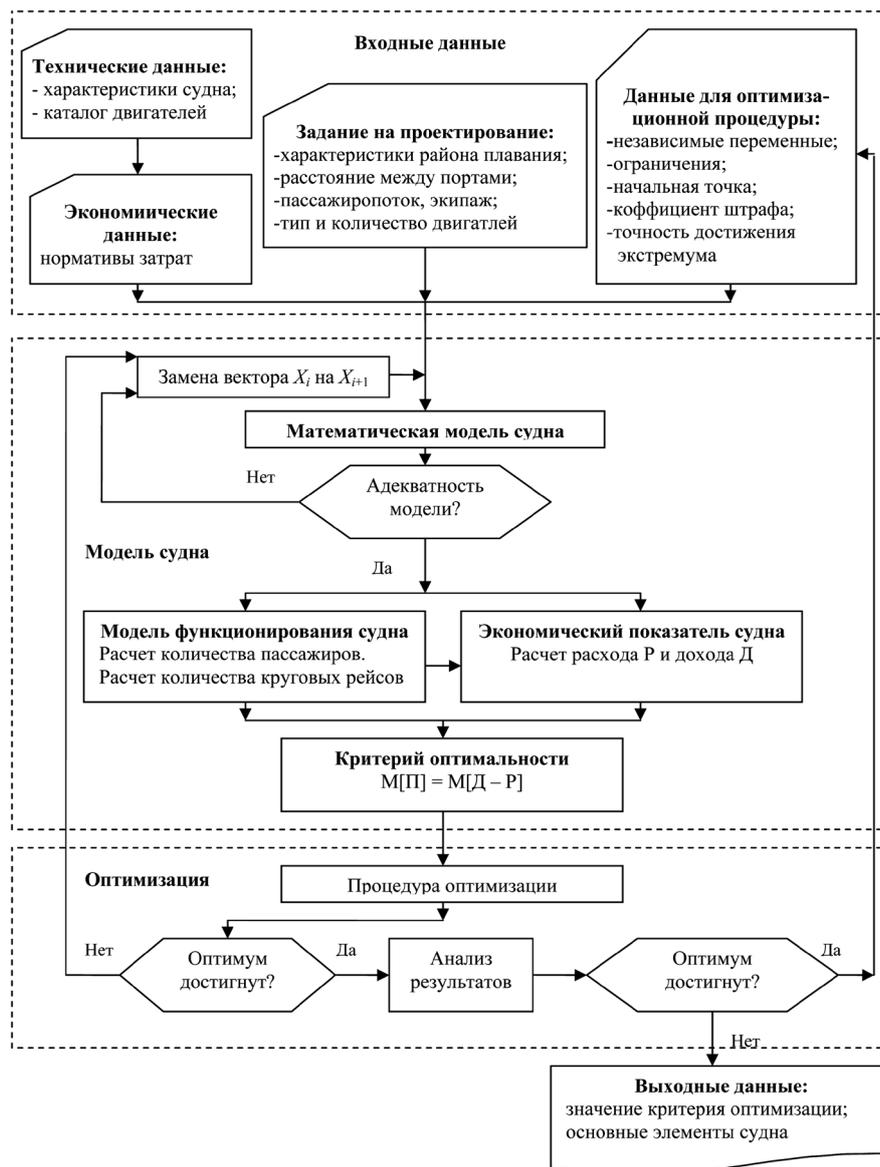


Рис. 3. Общая блок-схема алгоритма определения основных элементов судна

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