

УДК 629.5. 022.22  
С 60

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЧАСТНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УДЛИНЕНИЯ КАТАМАРАНОВ С ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКОЙ

О. И. Соломенцев, д-р техн. наук, проф. ;  
А. С. Кныш, магистрант

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Рассмотрено применение частных целевых функций для определения характеристик удлинения катамаранов с гидродинамической разгрузкой на стадии исследования их концепции. Выполнены простейшие оптимизационные расчеты. Предложены обобщенные графики для определения относительного удлинения и относительной длины этих судов.

**Ключевые слова:** катамаран с гидродинамической разгрузкой, частная целевая функция, выбор главных элементов, условия ходкости.

**Анотація.** Розглянуто застосування частинних цільових функцій з метою визначення характеристик подовження катамаранів з гідродинамічним розвантаженням на стадії дослідження їхньої концепції. Виконано найпростіші оптимізаційні розрахунки. Запропоновано узагальнені графіки для визначення відносного подовження та відносної довжини цих суден.

**Ключові слова:** катамаран з гідродинамічним розвантаженням, частинна цільова функція, вибір головних елементів, умови швидкохідності.

**Abstract.** In this article we learn using of the partial design criteria for the determining of the catamaran ships with hydrofoils main characteristics in the concept exploration studies. Are discussed some results of the determining of optimal characteristics. Are proposed graphics for determining length-breadth, and length – displacement ratios for this ships.

**Keywords:** catamaran ship with hydrofoils, partial criteria, determination of the length-beam and length-volume characteristics, ship speed.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время более 50 % всех существующих малых пассажирских судов относятся к двух-корпусным судам (катамаранам). В тех случаях, когда водоизмещение катамарана невелико (менее 400...500 т) и из-за необходимости размещения двигателей и прочих технических средств не представляется возможным существенно увеличить удлинение корпусов, для катамаранов с целью улучшения характеристик ходкости применяется гидродинамическая разгрузка. Обычно в качестве элементов гидродинамической разгрузки высокоскоростного катамарана применяются два (иногда три) плоских подводных крыла, размещаемых в пространстве между корпусами.

На начальных стадиях проектирования судна оказывается необходимым наличие обобщенных графических и аналитических материалов для определения безразмерных характеристик формы корпуса проектируемого судна-катамарана с гидродинамической разгрузкой.

Основное отличие выбора характеристик формы корпуса однокорпусного и многокорпусного судов в том, что в первом случае принимаются во внимание требования как ходкости, так и остойчивости, во втором случае остойчивость обеспечивается за счет

наличия более чем одного корпуса и характеристики формы корпуса определяются в основном ходкостью. Кроме того, в обоих случаях может оказаться необходимым учет также и требования общей продольной прочности. В целом удлинение корпуса многокорпусного судна обычно получается больше, чем для сопоставимого однокорпусного судна, а отношение ширины к осадке – меньше.

В работе [6] отмечено, что наличие разгрузки не оказывает существенного влияния на характеристики формы корпуса катамарана. Но, с другой стороны, указанные характеристики определяются в основном ходкостью, а из-за наличия разгрузки структура соответствующих зависимостей, как увидим далее, получается у катамаранов без разгрузки и с разгрузкой существенно различной. На высоких скоростях сопротивление воды движению определяется в основном удлинением, тогда как роль прочих характеристик (коэффициентов общей и продольной полноты, отношения ширины одного корпуса к осадке) оказывается менее значимой. Поэтому, имея целью уточнить рекомендации работы [6] в части влияния наличия разгрузки на характеристики формы корпуса катамарана, ограничимся анализом только характеристик удлинения. Предполагается, что коэффициент общей полноты катамарана с гидродинамической

разгрузкой в этом случае может быть выбран по данным [7], а отношение ширины к осадке – по рекомендациям [4, 11].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из путей получения более адекватных и достоверных обобщенных формул и графиков указанного типа является применение на этапе исследования концепции частных целевых функций [2–4, 10, 11]. Под минимизацией частной целевой функции может пониматься либо минимизация потребной мощности, либо максимизация полезной нагрузки при постоянном водоизмещении. Применительно к выбору относительной длины одного корпуса среднескоростного катамарана без разгрузки подобная задача решалась в работах [3, 10] Применительно к определению отношения ширины одного корпуса  $B_1$  катамарана к осадке  $T$  эта же задача решалась в работе [4]. Аналогичные задачи применительно к центральному корпусу быстроходного судна с ауриггерами рассмотрены в работе [11].

**ЦЕЛЮ ДАННОЙ РАБОТЫ** является получение графических и аналитических зависимостей для предварительного выбора характеристик удлинения для катамарана с гидродинамической разгрузкой. Дополнительно приведена общая математическая формулировка метода частных целевых функций, которая отсутствует в известных работах.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим на примере катамарана с гидродинамической разгрузкой основную идею метода частных целевых функций. Предварительно отметим, что основной характеристикой катамарана с разгрузкой (в качестве элементов разгрузки в данной работе рассматриваются только подводные крылья) является коэффициент разгрузки  $K_{\text{рзг}}$ , определяемый формулой

$$K_{\text{рзг}} = \frac{Z_{\text{рзг}}}{D},$$

где  $Z_{\text{рзг}} = Z_{\text{рзг}}'' = \frac{\rho v^2}{2} \sum_{i=1}^I C_{zi} S_{\text{кр}i}$  – вертикальная сила разгрузки;  $D$  – весовое водоизмещение при отсутствии хода и, соответственно, гидродинамической разгрузки;  $C_{zi}$  – коэффициент подъемной силы  $i$ -го подводного крыла, вычисленный с учетом влияния на эту величину свободной поверхности;  $S_{\text{кр}i}$  – площадь  $i$ -го подводного крыла;  $I$  – количество подводных крыльев.

Уравнение равновесия в проекциях сил на вертикальную ось имеет в данном случае вид

$$\sum_{j=1}^J p_j = D = \rho g V_* (1 + K_{\text{рзг}}) = 2\rho g V_{1*} (1 + K_{\text{рзг}}). \quad (1)$$

В (1)  $p_j$  –  $j$ -я статья нагрузки масс;  $J$  – количество статей нагрузки;  $V_*, V_{1*}$  – объемные водоизмещения катамарана в целом и одного корпуса катамарана с учетом разгрузки. Здесь  $\rho$  – плотность воды и  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Пусть далее необходимо найти одну из компонент вектора главных элементов проектируемого судна-катамарана  $X$  – величину  $x_n \in X$ . Рассмотрим предельно упрощенное уравнение весов (масс) проектируемого катамарана с гидродинамической разгрузкой при переменной скорости в таком виде:

$$P_K(x_n) + P_{\text{кв}}(x_n, \text{Fr}) + P_M(x_n, \text{Fr}) + P_T(x_n, \text{Fr}) + P_{\text{пол}} = D = 2\rho g V_1 = 2\rho g V_{1*} (1 + K_{\text{рзг}});$$

$$P_K = P_{\text{кл}} + \Delta P_K; P_{\text{кв}} = \rho_c S_{\text{кр}} e_{\text{кр}}; S_{\text{кр}} = \frac{K_{\text{рзг}} D}{C_z \frac{\rho v^2}{2}},$$

где  $\rho_c$  – плотность материала корпуса;  $S_{\text{кр}}$  – площадь подводного крыла (суммарная площадь всех крыльев);  $e_{\text{кр}}$  – средняя по хорде толщина подводного крыла (крыльев);  $C_z$  – коэффициент подъемной силы на крыле;  $P_{\text{кл}}, \Delta P_K$  – составляющие массы корпуса, зависящие и не зависящие от длины, величина  $P_{\text{кл}}$  определяется по аналогии с работой [11];  $P_{\text{кр}}$  – масса крылевого устройства;  $P_M, P_T$  – массы механизмов и топлива;  $P_{\text{пол}}$  – полезная нагрузка;  $D$  – весовое водоизмещение.

Учитывая связь массы механизмов  $P_M$  и массы топлива  $P_T$  с мощностью главных двигателей, можно сразу записать

$$P_K(x_n) + P_{\text{кв}}(x_n) + \left( q_M + q_T \frac{L_R}{v} \right) N_{\text{ГД}}(x_n, \text{Fr}) + P_{\text{пол}} = D$$

или

$$P_K(x_n) + P_{\text{кв}}(x_n) + \left( q_M + q_T \frac{L_R}{v} \right) \frac{R(x_n, \text{Fr})}{\eta_{\text{пр}}(x_n, \text{Fr})} + P_{\text{пол}} = D,$$

где  $R, \eta_{\text{пр}}$  – полное сопротивление воды движению корабля и полный пропульсивный коэффициент;  $q_M, q_T$  – измеритель массы механизмов и удельный расход топлива;  $L_R$  – длина кругового рейса.

Зависимости  $P_K(x_n), P_{\text{кв}}(x_n), R(x_n, \text{Fr})$  и  $\eta(x_n, \text{Fr})$  предполагаются известными. Далее расчет выполняется в такой последовательности.

Варируется в каких-то представляющих реальный интерес пределах число Фруда  $\text{Fr}$ . Затем фиксируется водоизмещение  $D$  и выполняются вариации параметра  $x_n$  в пределах, представляющих интерес для решаемой задачи. Одновременно все или часть параметров  $x_k \in X, k \neq n$  варьируются таким образом, чтобы каждой вариации  $x_n$  отвечало постоянное значение водоизмещения  $D$ . Здесь необходимо использовать уравнение плавучести. Характер вариации величин  $x_k \in X, k \neq n$  определяется особенностями решаемой задачи. Пример решения задачи о выборе способа вариации величин  $x_k \in X, k \neq n$  приведен в работе [11].

Далее делается следующее базовое допущение: предполагается, что значение  $x_n$ , отвечающее максимуму полезной нагрузки (постоянного веса)  $P_{\text{пол}}$ , является для заданных условий наилучшим (оптимальным). Но тогда это же значение будет отвечать минимуму суммы переменных весов  $\mathfrak{Z} = P_K + P_{KV} + P_M + P_T$  либо минимуму любой величины, которая отличается от этой суммы на постоянный (т. е. не зависящий от  $x_n$ ) множитель. Введем величину

$$f(x_n, Fr) = \frac{\mathfrak{Z}(x_n, Fr)}{V^{2/3} \left( q_M + q_T \frac{L}{v} \right)}, \quad V = \frac{D}{\rho g},$$

и определим ее как частную целевую функцию.

Тогда необходимое условие оптимальности величины  $x_n = x_{n0} = x_{n0}(Fr)$  при заданном числе Фруда  $Fr$  определится очевидным условием

$$x_{n0}(Fr) = \arg \min_{x_n} f(x_n, Fr) : \left. \frac{\partial f(x_n, Fr)}{\partial x_n} \right|_{x_n = x_{n0}(Fr)} = 0. \quad (2)$$

Способы проверки, является ли условие (2) одновременно и достаточным условием оптимальности, известны из курса высшей математики. Для данного класса задач условие (2) обычно является не только необходимым, но и достаточным условием оптимальности. Тогда, выполнив систематические расчеты по (2), можно найти зависимость  $x_{n0} = x_{n0}(Fr)$ .

Определяемая условием (2) оптимизационная задача должна быть содержательной. Это означает, что если  $x_{n \min} \leq x_n \leq x_{n \max}$ , то должно быть  $x_{n \min} < x_{n0} < x_{n \max}$ ,  $x_{n0} \neq x_{n \min}$  и  $x_{n0} \neq x_{n \max}$ . Иными словами, на интервале  $x_{n \min} \leq x_n \leq x_{n \max}$  функция  $f(x_n)$  должна проходить через экстремум. Это возможно, если зависимость  $f(x_n)$  определяется противоположно влияющими на величину  $x_n$  факторами; при  $x_n < x_{n0}$  определяющей является одна группа факторов, которая влияет на  $x_n$  в одну сторону, а при  $x_n > x_{n0}$  – другая, которая влияет на  $x_n$  в противоположную сторону.

При выборе величин  $x_n \in \bar{X}$  приходится учитывать, что это могут быть только те величины, которые определяются:

ходкостью, которая учитывается в исходном уравнении масс через массы механизмов и топлива;

общей продольной прочностью, которая учитывается в исходном уравнении масс через массу корпуса.

Конкретно в данной работе ограничимся определением характеристики удлинения  $x_1 = x'_1 = \frac{L}{B_1}$  или

$x_1 = x''_1 = l_1 = \frac{L}{\sqrt[3]{V_1}}$ . При этом величины  $x_1$  и  $x_2$  определяются для случая отсутствия хода. В то же время при

вычислении частных целевых функций в расчетные зависимости подставляются приведенные величины

$x''_1 = \frac{L}{\sqrt[3]{V_1^*}}$ . Очевидно, что величины  $x''_{1*}$  зависят,

а величины  $x'_1, x''_1$  не зависят от коэффициента разгрузки и от скорости.

При расчете сопротивления  $R = R(x_n, Fr)$ , наряду с расчетами сопротивления отдельно корпусов и крыльев необходимо учитывать взаимовлияние крыльев и взаимовлияние корпусов и крыльев. Схема учета влияния носового крыла на кормовое давно отработана в расчетах ходкости кораблей на подводных крыльях. При этом обратное влияние предполагается малосущественным.

Взаимовлиянием корпуса и крыльев в расчетах ходкости кораблей на подводных крыльях обычно пренебрегают. Вероятно, это связано с тем, что в основном эксплуатационном режиме для судов на подводных крыльях этот фактор не является существенным, поскольку полностью вышедшие из воды корпуса не влияют в этом случае на сопротивление. Для катамаранов с гидродинамической разгрузкой режим, при котором взаимовлияние корпуса и крыльев при расчете ходкости существенно, является основным эксплуатационным режимом. Поэтому учет этого взаимовлияния желателен, но, к сожалению, пока в распоряжении проектанта материалов для этого явно недостаточно. Теоретические решения оказываются достаточно громоздкими. На практике этот вопрос часто решается на основе модельных испытаний, но систематизированные и пригодные для использования на начальной стадии материалы таких испытаний неизвестны. Поэтому далее приходится отказаться от учета взаимовлияния корпусов и крыльев в расчетах ходкости. Тогда можно принять за основу соотношение из работы [9] и найти полное сопротивление катамарана с гидродинамической разгрузкой как

$$R = (1 - K_{P3})R_0 + R_K; \\ R_K = K_{P3} \varepsilon_{RK} D,$$

где  $R_0$  – полное сопротивление воды движению катамарана, с которого условно сняты подводные крылья, определяется по изложенным выше методикам и схемам в функции приведенной относительной длины  $l^*$  и приведенного отношения ширины одного корпуса  $B_1$  к осадке  $B_1/T^*$ ;  $\varepsilon_{RK}$  – обратное гидродинамическое качество крыльевого разгружающего комплекса катамарана, создающего подъемную силу, равную  $K_{P3}D$ .

При  $K_{P3} = 0$ , когда разгрузка отсутствует, имеем  $R = R_0$ . При  $K_{P3} = 1$  (катамаран на подводных крыльях) имеем  $R = R_K$ .

Далее необходимо рассмотреть расчет  $\varepsilon_{RK}$ . В общем случае

$$\varepsilon_{RK} = \varepsilon'_{RK} + \varepsilon''_{RK},$$

где составляющие обратного гидродинамического качества крыльевого разгружающего комплекса  $\varepsilon'_{RK}$  и  $\varepsilon''_{RK}$  отвечают профильному и индуктивному сопротивлению крыльев соответственно.

Дальнейший анализ проведем в предположении, что гидродинамическая разгрузка катамарана реализуется при помощи двух крыльев: носового и кормового. Тогда величины  $\varepsilon'_{RK}$  и  $\varepsilon''_{RK}$  определяются в соответствии с зависимостями работ [5, 12], которые относятся к судам на подводных крыльях. Отметим также следующее. При вычислении величины  $\mathfrak{Z}$  необходимо каждый раз находить массу крыльцевого устройства как функцию суммарной площади всех крыльев  $S_{KP} = \sum_{i=1}^2 S_{KP_i}$  при заданных коэффициенте разгрузки  $K_{P3T}$  и скорости  $v = Fr\sqrt{gL}$ .

Площадь  $S_{KP} = \sum_{i=1}^2 S_{KP_i}$  определяется из условия вида

$$\frac{\rho v^2}{2} \sum_{i=1}^2 C_{Z_i}(\lambda_{KP_i}, \bar{h}_{KP_i}) S_{KP_i} = K_{P3T} D,$$

при этом  $S_{KP_i} = l_{KP_i} b_{KP_i}$ , а зависимости вида  $C_{Z_i} = C_{Z_i}(\lambda_{KP_i}, \bar{h}_{KP_i})$  известна [12].

Далее, поскольку крылья крепятся на корпусах, при всех вариациях коэффициента разгрузки и скорости один из геометрических размеров крыла в плане – размах каждого крыла  $l_{KP_i}$  – постоянен и может быть принят равным расстоянию между корпусами в середине расположения крыла. Вариации площади крыла из-за этого оказываются возможными только за счет второго геометрического размера крыла в плане – хорды  $b_{KP_i}$ . Это, в свою очередь, всякий раз будет вести к изменению относительного удлинения  $\lambda_{KP_i}$ , а следовательно, и коэффициента подъемной силы  $C_{Z_i}$ . Кроме того, пусть при отсутствии хода  $\bar{h}_{KP_i} = \bar{h}_{KP_i}^{(0)} = \frac{h_{KP_i}^{(0)}}{b_{KP_i}}$ , где  $h_{KP_i}^{(0)}$  – абсолютное погружение  $i$ -го крыла при отсутствии хода. Тогда при наличии хода будет

$$\bar{h}_{KP_i} = \frac{h_{KP_i}^{(0)} - \Delta \bar{T}_{X\Sigma} T}{b_{KP_i}},$$

$\Delta \bar{T}_{X\Sigma}$  – безразмерное ходовое изменение осадки, [9].

В этом случае, минимизируя функцию  $f = \frac{\Delta \bar{T}_{X\Sigma}}{V^{2/3} \left( q_M + q_T \frac{L_R}{v} \right)}$ , можно оценить вариантным ме-

тодом такую величину  $L/B_1$ , которая отвечала бы максимуму полезной нагрузки  $P_n$  при заданном полном водоизмещении. При этом каждому текущему значению  $L/B_1$  при фиксированных водоизмещении  $D$ , коэффициенте общей полноты  $\delta$  и отношении ширины одного корпуса к осадке  $B_1/T$  отвечает своя комбинация абсолютных значений главных размерений одного корпуса –  $L, B_1, T$ . Эти величины

определяются из уравнения плавучести не имеющего хода катамарана по аналогии в соответствующих соотношениях работы [11]. Можно искать тем же способом отвечающую максимальной полезной нагрузке величину  $l_1 = \frac{L}{\sqrt[3]{V_1}}$  или однозначно связанную

с ней величину  $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}} = \frac{L}{\sqrt[3]{2V_1}} = \frac{l_1}{\sqrt[3]{2}}$  при фиксированных коэффициенте общей полноты  $\delta$ , водоизмещении  $D = 2\rho g V_1 = 2\rho g \delta L B_1 T$  и отношении ширины одного корпуса к осадке  $B_1/T$ . Каждой такой комбинации также отвечает своя, определяемая из уравнения плавучести комбинация абсолютных значений главных размерений корпуса  $L, B_1$  и  $T$ , а все необходимые расчетные зависимости содержатся также в статье [11].

Тогда поиск оптимальной по полезной нагрузке величины  $L/B_1$  сведется к минимизации функции  $f = f_1(L/B_1)$ . Поскольку практически все существующие катамараны с гидродинамической разгрузкой представляют собой малые скоростные суда, практический интерес представляют числа Фруда по длине, начиная с 0,5. Здесь, определяя сопротивление воды движению корпусов, примем за основу графики М.Я. Алферьева [1]. В этом случае, приняв по аналогии с [7, 11]  $\delta \approx 0,52$ , а по статистическим данным для катамаранов с гидродинамической разгрузкой  $B_1/T = 3,0$ , будем иметь [1]:

$$(L/B_1)_0 = \operatorname{argmin}_{L/B_1} f_1(Fr, L/B_1);$$

$$f_1(Fr, L/B_1) = \frac{\rho v^3 \bar{\Omega}_1}{2\eta_{np}(L/B_1)} \times \left[ C_{R0}(Fr_1) \Psi_{L_1/B_1}(L/B_1) \Psi_{B_1/T} \kappa_R + K_F C_F \right] (1 - K_{P3T}) + \frac{K_{P3T} \varepsilon_{RK}}{Fr_1^2 \bar{\Omega}_1} + \frac{q_{KL} K_{\Omega} \bar{\Omega}_1}{q_M + q_T \frac{L_R}{v}};$$

$$\bar{\Omega}_1(L/B_1) = 5,0 + 0,074 \frac{L}{B_1} \frac{B_1}{T^*} + \frac{0,25}{\delta} \left( 6,0 - \frac{B_1}{T^*} \right) (0,7 - \delta) \approx \approx 5,0 + 0,074 \frac{L}{B_1} \frac{B_1}{T^*} + 0,083 \left( 6,0 - \frac{B_1}{T^*} \right).$$

Здесь  $C_{R0}$  – коэффициент остаточного сопротивления корпуса с безразмерными характеристиками формы  $L_1/B_1 = 11, B_1/T_1 = 3$  при  $Fr \leq 0,5$  и  $L_1/B_1 = 11, B_1/T_1 = 3,275$  при  $0,5 \leq Fr \leq 0,75$  [1];  $\eta_{np} \left( \frac{L}{B_1} \frac{B_1}{T^*} \right)$  – пульсивный коэффициент как функция отношений

$L/B_1$  и  $B_1/T$ ;  $\Psi_{L_1/B_1}, \Psi_{B_1/T}$  – поправки на отклонение соответствующих главных элементов от тех, при которых вычислялся коэффициент остаточного сопротивления  $C_{RO}$  [1];  $C_F, Re$  – коэффициент сопротивления трения технически гладкой пластины и число Рейнольдса;  $K_F \approx 1,1 \dots 1,2$  – поправка на шероховатость, воздушное сопротивление и выступающие части;  $\Omega_1$  – площадь смоченной поверхности корпуса при движении с заданной скоростью (т. е. эта величина вычисляется при осадке, равной  $T^*$ );  $K_{HO}$  – отношение площади наружной обшивки к площади смоченной поверхности корпуса;  $q_{KL}$  – измеритель массы корпуса  $P_{KL}$  по модулю  $K_{HO}\Omega_1$ , определяемый для случаев, когда масса корпуса определяется и не определяется требованиями общей продольной прочности, по рекомендациям работы [11].

Поиск оптимальной по полезной нагрузке величины  $l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}} = \frac{L}{\sqrt[3]{2V_1}}$  сведется к минимизации функции  $f = f_2(l^*)$  и, принимая за основу для расчета сопротивления воды движению корпуса катамарана графики Б.М. Сахновского [9], находим

$$l_0 = \arg \min_l f_2(Fr, l^*);$$

$$f_2(Fr, l^*) = \frac{\rho v^3 \bar{\Omega}_1}{2\eta_{IP} \left( l^*, \frac{B_1}{T} \right)} \times \left\{ \left[ C_R \left( Fr, l^*, \frac{B_1}{T^*} \right) \kappa_C + K_F C_F \right] (1 - K_{P3T}) + \frac{K_{P3T} \varepsilon_{RK}}{Fr^* \bar{\Omega}_1} \right\} + \frac{q_{KL} K_{\Omega} \bar{\Omega}_1}{q_M + q_T} \frac{L_R}{v}$$

$$\kappa_C \approx 1,3 - 0,2 \cos 5\pi \cdot \bar{c}_L; \quad \bar{c}_L = \frac{2C_{II}}{L} - 0,1;$$

$$C_{II} = \frac{B_1 + C}{2}; \quad l_* = \frac{L}{\sqrt[3]{V_*}} = \frac{L}{\sqrt[3]{2V_1^*}}; \quad \bar{\Omega}_1 = \frac{\Omega_1}{V^{2/3}};$$

$$\Omega_1 = 2,6\sqrt{V_1 L_1} + 3,5; \quad V_1 - \text{в м}^3; L_1 - \text{в м}; \Omega_1 - \text{в м}^2;$$

$$\sqrt{V_1 L_1} \leq 175 \text{ м}^2,$$

где  $C$  – горизонтальный клиренс, а  $C_R \left( Fr, l_*, \frac{B_1}{T} \right)$  – коэффициент остаточного сопротивления корпуса катамарана, выраженный как функция величин  $Fr, l, \frac{B_1}{T}$  в соответствии с графическими и табличными зависимостями [8].

Результаты расчетов по всем этим зависимостям приведены на рис. 1 и 2.

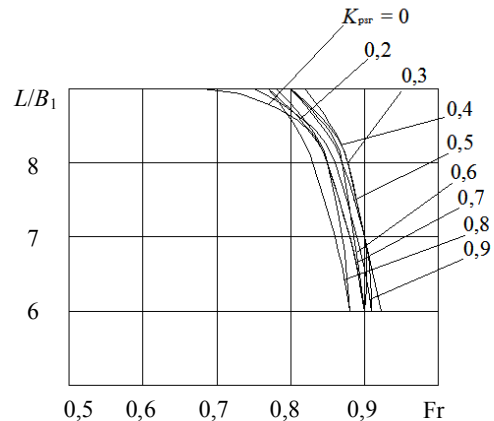


Рис. 1. Зависимость оптимальных значений относительно удлинения корпуса катамарана от числа Фруда и коэффициента разгрузки  $K_{P3T}$

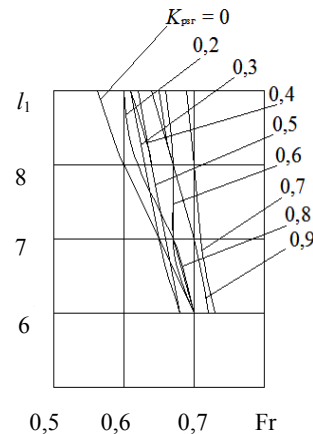


Рис. 2. Зависимость оптимальных значений относительной длины одного корпуса катамарана от числа Фруда  $Fr$  и коэффициента разгрузки  $K_{P3T}$

### ВЫВОДЫ

1. Впервые приведена общая математическая формулировка для метода частных целевых функций, который ранее на интуитивной основе применялся как одним из авторов данной статьи [10, 11], так и другими авторами [2–4].

2. В результате выполненного расчетного исследования на основе метода частных целевых функций получены диаграммы для определения относительного удлинения и относительной длины корпуса катамарана с гидродинамической разгрузкой как функции числа Фруда и коэффициента разгрузки.

3. В обследованном диапазоне чисел Фруда ( $Fr > 0,5$ ) относительное удлинение и относительная длина получаются убывающими функциями числа Фруда. Это связано с тем, что при числах Фруда

порядка 0,5 зависимость коэффициента волнового сопротивления от числа Фруда достигает максимума и с дальнейшим ростом скорости указанный коэффициент интенсивно убывает. Поэтому с ростом скорости в общем балансе сопротивления воды движению катамарана происходит перераспределение относительных долей волнового и вязкостного сопротивления, причем доля вязкостного сопротивления возрастает. А с ростом удлинения имеет место снижение одного только волнового сопротивления, тогда как вязкостное сопротивление растет из-за увеличения роста площади смоченной поверхности. Поэтому зависимость удлинения от скорости и получается при

$Fr > 0,5$  убывающей. Такой же результат получен расчетным путем в [11]. Этот результат имеет и экспериментальное подтверждение.

4. Приведенные на рис. 1 и 2 данные позволяют установить зависимость удлинения катамаранов с гидродинамической разгрузкой от коэффициента разгрузки. Эта зависимость в некоторых случаях малосущественна, но все же она имеет место. Таким образом, результаты выполненного расчетного исследования позволяют уточнить положение работы [6] о возможности выбора в первом приближении удлинения катамарана с разгрузкой без учета разгрузки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Алферьев, М. Я.** Транспортные катамараны внутреннего плавания [Текст] / М. Я. Алферьев, Г. С. Мадорский. – М. : Транспорт, 1976. – 336 с.
- [2] **Балкашин, А. И.** Проектирование кораблей [Текст] / А. И. Балкашин. – М. : Воениздат, 1954. – 390 с.
- [3] **Ефименко, А. А.** Определение относительной длины малого двухкорпусного судна [Текст] / А. А. Ефименко // Автоматизированное проектирование и конструкции судов : сб. науч. трудов НКИ. – Николаев : НКИ, 1988. – С. 40–45.
- [4] **Кириченко, С. А.** Исследование влияния отношения ширины корпуса катамарана к осадке на его сопротивление и мощность [Текст] / С. А. Кириченко // Труды ЦНИИ морского флота. – Л. : Транспорт, 1979. – Вып. 243. – С. 132–138.
- [5] **Колызаев, Б. И.** Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания [Текст] / Б. И. Колызаев, А. И. Косоруков, В. А. Литвиненко. – Л. : Судостроение, 1980.
- [6] **Ляховицкий, А. Г.** Проектирование скоростных катамаранов с подводными крыльями [Текст] / А. Г. Ляховицкий, Э. Б. Сахновский, Б. М. Сахновский // Судостроение. – 2005. – № 2. – С. 9–15.
- [7] **Назаров, А. Г.** Особенности проектирования малых катамаранов коммерческого, прогулочного и специального назначения [Текст] / А. Г. Назаров // Судостроение. – 2011. – № 4. – С. 12–18.
- [8] **Сахновский, Б. М.** Прогнозирование мощности главных двигателей при проектном обосновании характеристик скоростных судов [Текст] / Б. М. Сахновский // Судостроение. – 2006. – № 5. – С. 23–28.
- [9] **Сахновский, Э. Б.** Проектная оценка эффективности оборудования скоростного катамарана элементами гидродинамической разгрузки корпуса [Текст] / Э. Б. Сахновский // Морской вестник. – 2003. – № 4 (8). – С. 52–58.
- [10] **Соломенцев, О. И.** Определение основных элементов двухкорпусного судна в начальном приближении [Текст] / О. И. Соломенцев // Особенности проектирования судов перспективных архитектурно-конструктивных типов. – Николаев : Черноморское межобластное правление НТО им. акад. А.Н. Крылова, 1989. – С. 3–33.
- [11] **Соломенцев, О. И.** О применении частных целевых функций при исследовании концепции судов с аутриггерами [Электронный ресурс] / О. И. Соломенцев, Л. С. Теляга // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 2. – Режим доступа: <https://ev@nuos.edu.ua>.
- [12] **Ходкость и управляемость судов** [Текст] / В. Ф. Бавин, В. И. Зайков, В. Г. Павленко [и др.]. – М. : Транспорт, 1991. – 400 с.

© О. И. Соломенцев, А. С. Книш

Надійшла до редколегії 20.02.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов