Проектирование и конструкции судов

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-6>
УДК 629.12

Н.А. Лютиков, В.В. Новиков

ЛЮТИКОВ НИКИТА АНДРЕЕВИЧ – магистрант, e-mail: nikliutikov@gmail.com
НОВИКОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – к.т.н., доцент, AuthorID: 1036802,
SPIN-код: 7257-7822; Scopus ID 5641710410, e-mail: Leka1551@rambler.ru

Кафедра кораблестроения и океанотехники Инженерной школы
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, Россия, 690091

Определение главных размерений маломерных глиссирующих судов в начальной стадии проектирования

Аннотация: Выполнен статистический анализ зависимостей длины глиссирующего судна от соотношений его главных размерений. Исследование проведено по данным нескольких десятков построенных в различных странах глиссирующих судов с 1995 по 2014 г. Выполнен анализ используемых в расчетной практике формул, предложена аппроксимирующая зависимость, позволяющая рассчитывать отношение длины к ширине не только для маломерных судов, но и для широкого диапазона изменения длины корпуса, достаточно близкое к рекомендованному успешным опытом эксплуатации. Выведены формулы для определения главных размерений. Полученные результаты и приведенная в статье последовательность выбора главных размерений могут быть использованы в начальной стадии проектирования маломерных высокоскоростных глиссирующих судов.

Ключевые слова: глиссирующие суда, главные размерения, аппроксимация, методика проектирования.

Введение

Многообразие классов и типов глиссирующих судов, отличающихся размерами и конструкцией корпуса, предопределяет различные подходы к их проектированию [2, 3, 7, 10 и др.]. Важным и ответственным этапом проектирования этих судов является начальная стадия разработки проекта. На этом этапе решаются принципиальные вопросы выбора основных элементов судна. Размеры проектируемого глиссирующего судна должны обеспечивать необходимые объемы для размещения людей, груза, топлива, энергетической установки, оборудования и различных запасов, а также создавать оптимальный контур и габариты глиссирующей поверхности. При этом размерения должны быть предельно малыми, чтобы обеспечить минимальную массу и избежать установки тяжелых и излишне мощных двигателей. Кроме того, соотношения главных размерений (длины L , ширины B , осадки T и др.) должны быть приняты вполне определенными для данного типа глиссера.

Накопленный опыт постройки и практика эксплуатации глиссирующих судов позволили выработать соотношения главных размерений, близкие к оптимальным, при которых можно гарантировать высокие навигационные и эксплуатационные качества судна. В этой связи проектировщику необходимо иметь соответствующие расчетные зависимости, по ко-

торым можно быстро и просто определять основные характеристики глиссера. В существующей практике конструирования высокоскоростных маломерных судов подобные зависимости встречаются [1, 7 и др.], но они не всегда могут быть применимы для определенных размеров, форм и обводов проектируемого корпуса.

За основной размер конструкторы чаще всего принимают длину проектируемого судна, которую определяют из условий общего расположения или назначают исходя из других соображений. Это могут быть требование заказчика, ограничение по габаритным размерениям при перевозке или освидетельствовании в надзорных органах, ориентация на прототип и др. Иногда за исходный основной размер судна принимают ширину, которая определяется из условий получения определенного коэффициента нагрузки и размещения людей, оборудования.

Цель данной статьи – статистический анализ соотношений реальных размерений высокоскоростных глиссирующих судов и получение расчетных зависимостей, позволяющих определять главные размерения на начальном этапе разработки проекта.

В качестве основного размерения мы приняли длину судна, от которой существенно зависит ее отношение и к ширине судна, и другим характеристикам.

Статистическое исследование характеристик глиссирующих судов

Для статистического исследования была использована база данных по судам Российского речного регистра судоходства (Регистровая книга) [9]. Фото типичного судна из отобранных для анализа представлено на рис. 1.

Рис. 1. Типичное глиссирующее судно [10].

Эти суда имеют классическую форму корпуса моногедрона или ее модификацию с большими углами килеватости, называемую «Глубокое V» (рисунки 2 и 3).

Рис. 2. Форма корпуса «Глубокое V» [1].

Рис. 3. Форма корпуса «Моногедрон» [1].

Анализ по данному типу глассеров проводился на основе статистических данных по 61 судну с диапазоном изменения конструктивной длины от 4,19 до 21,54 м (рис. 4). Даты постройки самого старого и самого нового судна в базе – 1993 и 2014 год соответственно.

Рис. 4. Распределение исследуемых глассирующих судов по странам постройки.

На основании исследования установлены и построены зависимости главных размерений маломерных глассирующих судов и их соотношений. Длины составляли 3–25 м [5]. Также был проведен аналогичный анализ для более крупных судов с длинами до 95 м. В качестве примеров на рисунках 5 и 6 представлены зависимости отношения длины судна к ширине L/B и, соответственно, осадки T в функции от L в диапазоне длин до 25 м.

Рис. 5. График изменения отношения длины к ширине L/B в зависимости от длины судна.

Рис. 6. График изменения соотношения осадки T в зависимости от длины судна.

Аппроксимация статистических данных и аналитических зависимостей

Для сопоставления основных соотношений главных размерений отобраны четыре

формулы, характеризующие зависимость L/B от длины судна. Формула (1) получена на основе результатов проведенного статистического анализа, а выражение (2) рекомендовано [1]. Зависимости 3 и 4 предложены А.А. Кутеневым [4].

$$\frac{L}{B} = 1.5L^{0.3}, \text{ при } L \leq 20; \quad (1)$$

$$\frac{L}{B} = (0.1 \cdot L + 2.3) \pm 0,25, \text{ при } L \leq 25; \quad (2)$$

$$\frac{L}{B} = (0.054 \cdot L + 2.96) \pm 0,25, \text{ при } 20 \leq L \leq 90; \quad (3)$$

$$\frac{L}{B} = (-0.0047 \cdot L + 6.96) \pm 0,25, \text{ при } L > 90. \quad (4)$$

Каждая из формул предполагает ее использование в определенном диапазоне изменения длины корпуса. Для получения результирующей формулы, характеризующей взаимосвязь L/B и длины высокоскоростного судна, построим соответствующие графики согласно представленным выражениям. При этом выбираем значения длины от 5 до 105 м (рис. 7).

Рис. 7. Зависимости соотношений главных размерений глиссирующих судов с различным диапазоном их длин, построенные на основе разных формул.

Разделим данный график на четыре характерных участка и рассмотрим их по отдельности. На первом участке формулы (1)–(3) показывают близкие результаты. Разница между максимальным и минимальным показателем отношения L/B по каждому варианту длины для этих формул составляет от 0,27 до 0,68. График показывает, что формула (4) дает сильно завышенные данные.

На втором участке графика разница между максимумом и минимумом значений соотношений, определенных по формулам (1) и (3), изменяется от 0,23 до 0,48. Формула (2) начинает резко завышать результаты, которые достигают значений, рассчитанных по (4).

На третьем участке график в соответствии с формулой (4) пересекает линию данных (по формуле (3)), и происходит сближение с кривой, рассчитанной по (1). При этом имеет место некоторое превышение величин, вычисленных по формуле (2). Разница между максимальным и минимальным показателями результатов для формул (1), (3) и (4) составляет значения, изменяющиеся от 1,14 до 2,23.

На четвертом участке график в соответствии с (3) уходит резко вверх, а линии (рассчитанные по формулам (1) и (4)) предельно сближаются. Разница величин исследуемых соотношений на этом участке составляет от 0,26 до 0,75. Исключив точки с завышенными значениями, получим результирующий график, представленный на рис. 8.

В результате аппроксимации точек можно получить формулу (5), устанавливающую зависимость соотношений L/B от длины судна для всего рассмотренного диапазона длин от 5 до 100 м:

$$\frac{L}{B} = 1.7L^{0.29}. \quad (5)$$

Рис. 8. Результирующий график соотношений главных размеров в диапазоне длин глиссирующего судна от 5 до 105 м.

С целью исследования изменения коэффициентов общей полноты отобраны три формулы, характеризующие зависимость δ от длины судна. Формула (6) получена на основе результатов проведенного статистического анализа, а выражение (7) рекомендовано [1]. Зависимость (8) предложена А.А. Кутеневым [4].

$$\delta = 0.076 \frac{B}{T} + 0.076, \text{ при } B/T = 2,5 \div 5,5; \quad (6)$$

$$\delta = 0.28 \sqrt{\frac{B}{T}} - 0.234, \text{ при } B/T = 4,5 \div 10,5; \quad (7)$$

$$\delta = 0.074 \frac{B}{T} - 0.041, \text{ при } B/T = 3 \div 8. \quad (8)$$

Каждая из формул предполагает ее использование в определенном диапазоне изменения соотношения B/T . Для получения результирующей формулы, характеризующей взаимосвязь δ и B/T высокоскоростного судна, построим соответствующие графики согласно представленным выражениям (рисунки 9, 10). При этом выбираем значения B/T от 2 до 10 (рис. 9).

Рис. 9. Зависимости соотношений главных размеров δ , B/T глиссирующих судов, построенные на основе разных формул.

Рис. 10. Результирующий график соотношений главных размеров

в диапазоне соотношения В/Т глиссирующего судна от 2 до 10.

В результате аппроксимации точек получена формула, устанавливающая зависимость δ от соотношения B/T для всего выбранного диапазона отношения B/T :

$$\delta = 0.07 \frac{B}{T} + 0.04. \quad (9)$$

В данной статье мы рассматриваем относительно небольшие, маломерные глиссирующие суда. Однако приведенные результирующие графики и аппроксимирующие формулы позволяют в начальной стадии проектирования рассчитывать отношение длины к ширине и коэффициенты полноты для всего диапазона выбранной длины, достаточно близкие к рекомендованным успешным опытом эксплуатации.

Определение основных размерений глиссирующих судов

Для определения главных размерений маломерных глиссирующих судов на начальном этапе проектирования предлагается следующая последовательность действий (рис. 11).

Рис. 11. Алгоритм расчета главных характеристик глиссера:

L – длина судна, L_{HB} – наибольшая длина, B – ширина, B_{HB} – наибольшая ширина, T – осадка, δ – коэффициент общей полноты, H – высота борта, DW – дедвейт [5].

1. Входным параметром для определения главных размерений является длина судна L . Для маломерных судов справедливы соотношения (5) и $L_{HB} = 1.4L^{0.94}$.

2. По формуле (5) устанавливается необходимое отношение L/B , определяются L_{HB} и ширина судна B и B_{HB} :

$$B_{HB} = 1.19B^{0.93}. \quad (10)$$

3. Осадка T , высота борта H и коэффициент общей полноты вычисляются по выражениям (11), (12) и (13) соответственно, также полученным по результатам статистического исследования:

$$T = (0.06L + 0.28) \pm 0.25; \quad (11)$$

$$H = 1.59T + 0.5; \quad (12)$$

$$\delta = 0.07 \frac{B}{T} + 0.04 \pm 0.07. \quad (13)$$

Числовой коэффициент в (13), равный $\pm 0,07$, позволяет варьировать величину водоизмещения и форму обводов корпуса с учетом различной килеватости днища.

4. Установлена зависимость дедвейта DW судна от водоизмещения D (рис. 12) и выведена соответствующая формула (14).

Для определения предполагаемого дедвейта в начальной стадии проектирования возможно использование выражения:

$$DW = 0.012D^2 + 0.11D + 0.79. \quad (14)$$

Последующий этап проектирования предполагает уточнение характеристик судна по

результатам численного анализа в программе SolidWorks и модельных экспериментов.

Рис. 12. Зависимость дедвейта от водоизмещения судна.

Заключение

Приведенные зависимости и последовательность выбора главных размерений могут быть использованы в начальной стадии проектирования глиссирующих судов. Процедура выбора главных характеристик глиссирующего судна предполагает поэтапное их определение по расчетным формулам, полученным на основе статистического анализа. Предложенная аппроксимирующая формула может быть использована при выборе главных размерений для маломерных высокоскоростных глиссирующих судов, а также для других судов с большим диапазоном изменения их длины в несколько десятков метров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов. Л.: Судостроение, 1978. 222 с.
2. Егоров И.Т., Буньков М.М., Садовников Ю.М., Ходкость и мореходность глиссирующих судов. Л.: Судостроение, 1978. 335 с.
3. Канифольский А.О. Определение главных размерений быстроходных однокорпусных водоизмещающих судов на начальных стадиях проектирования. Одесса: ОНМУ, 2003. 153 с.
4. Кутенев А.А. Разработка методики проектного оптимизационного анализа скоростных пассажирских судов и катеров: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербургский гос. морской техн. ун-т, 2002. 206 с.
5. Лютиков Н.А. Основы методики проектирования и технологии постройки маломерного глиссирующего судна: магистерская диссертация / Дальневост. федерал. ун-т, Инженерная школа. Владивосток, 2019. 83 с.
6. Минеев В.И., Костров В.Н., Коновалов М.С., Костров С.В. Новый облик скоростного флота на внутренних водных путях: организационно-экономические аспекты // Судостроение. 2010. № 4. С. 16–20.
7. Некрасов В.А., Нгуен Гуй Хоанг. Определение оптимальных характеристик быстроходного пассажирского судна // Вестник НУК им. адм. Макарова. [Николаев: Национ. ун-т кораблестроения: Кораблестроения]. 2012. № 2. С. 23–29.
8. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. Морской регистр России. СПб., 2018.
9. Регистровая книга // Речной регистр России. 2018. URL: <http://www.rivreg.ru/> (дата обращения: 01.04.2019).
10. Velvette Marine [Электронный ресурс]. URL: <https://velvette-marine.com/models/sport-cruiser-41-evolution.html/> (дата обращения: 01.04.2019).

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-6>

Liutikov N., Novikov V.

NIKITA LIUTIKOV, Master Student, e-mail: nikliutikov@gmail.com

VALERIY NOVIKOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

Scopus ID 5641710410, e-mail: Leka1551@rambler.ru

Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, School of Engineering

Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

Determining the main dimensions of a small-sized planing vessel at the initial design stage

Abstract: A statistical analysis of the dependences of the length of the planing vessel on the ratios of its main selected dimensions was performed. The study was carried out based upon data obtained from several dozens of planning ships built in different countries from 1995 to 2014. The authors made an analysis of the calculating formulas used in the design work and proposed an approximating dependence, which allowed calculating the ratio of length to width for small vessels, including a wide range of hull length changes, which is quite close to that recommended by successful operating experience. The formulas for determining the main dimensions have been derived. The results obtained and the size selection sequence given in the article can be used at the initial design stage of low-dimensional high-speed gliding vessels.

Keywords: planing vessels, main dimensions, approximation, design technique.

REFERENCES

1. Vaganov A.M. Design of high-speed vessels. L., Shipbuilding, 1978, 222 p.
2. Egorov I.T., Bunkov M.M., Sadovnikov Yu.M. Navigation and seaworthiness of gliding ships. L., Shipbuilding, 1978, 335 p.
3. Kanifolsky A.O. Determination of the main dimensions of high-speed single-hull displacement vessels at the initial design stages. Odessa, ONMU, 2003, 153 p.
4. Kutenev A.A. Development of methods for design optimization analysis of high-speed passenger ships and boats: dis. ... Cand. Tech. Sciences. St. Petersburg State Marine Technology Univ. Press, 2002. 206 p.
5. Lyutikov N.A. Fundamentals of design techniques and technology for construction of a small-sized planing vessel: master thesis. Far Eastern Federal Univ., School of Engineering. Vladivostok, 2019, 83 p.
6. Mineev V.I., Kostrov V.N., Konovalov M.S., Kostrov S.V. New look of the fleet on inland waterways: organizational and economic aspects. Shipbuilding. 2010;4:16–20.
7. Nekrasov V.A., Nguyen Guy Hoang. Determination of the optimal characteristics of a high-speed passenger ship. Bulletin of the National University of Shipbuilding. 2012;2:23–29.
8. Rules for the classification and construction of high-speed vessels. Maritime Register of Russia. SPb., 2018.
9. Register book. River Register of Russia. 2018. URL: <http://www.rivreg.ru/> – 04/01/2019.
10. Velvette Marine. URL: <https://velvette-marine.com/models/sport-cruiser-41-evolution.html/> – 04.01.2019.