



DOI 10.22363/2312-8143-2021-22-4-323-328
УДК 629.5.083.5

Научная статья / Research article

Гидродинамические поверхности с мидель-шпангоутом в форме кривых Ламе

В.В. Карневич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ valera.karnevich@gmail.com

История статьи

Поступила в редакцию: 25 августа 2021 г.

Доработана: 11 октября 2021 г.

Принята к публикации: 1 ноября 2021 г.

Ключевые слова:

судовая поверхность, мидель-шпангоут, кривые Ламе, гидродинамическая поверхность, алгебраическая поверхность

Аннотация. Общее представление о геометрических характеристиках формы корпуса судна дает метод сечения корпуса тремя взаимно перпендикулярными плоскостями, а именно вертикальной плоскостью симметрии, проходящей вдоль корпуса посередине ее ширины, горизонтальной плоскостью, делящей судно на надводную и подводную части, и вертикальной плоскостью, перпендикулярной первым двум и совпадающей с мидель-шпангоутом. Имея одну и ту же тройку наперед заданных плоских сечений теоретической формы судна этими плоскостями, можно получить три алгебраические поверхности разного порядка, названные в статье гидродинамическими. Вводя буквенные показатели степеней главных плоских кривых каркаса судна, а затем давая им разные цифровые значения, можно ввести в рассмотрение большое количество форм корпусов при наличии лишь трех явных уравнений поверхностей. Продемонстрировано, как получить уравнения, представленные другими авторами, используя только три явных алгебраических уравнения, описанные в статье. Предложенная методика проиллюстрирована на шести новых формах корпусов судов.

Для цитирования

Карневич В.В. Гидродинамические поверхности с мидель-шпангоутом в форме кривых Ламе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 4. С. 323–328. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-323-328>

Hydrodynamic surfaces with midsection in the form of Lamé curve

Valery V. Karnevich

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

✉ valera.karnevich@gmail.com

Article history

Received: August 25, 2021

Revised: October 11, 2021

Accepted: November 1, 2021

Abstract. General representation of ship geometry is given by the method of slicing the ship hull by three mutually perpendicular planes: vertical symmetry plane which runs along the middle of hull width, horizontal plane which divides the hull into underwater and above-water parts, and vertical plane

© Карневич В.В., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords:

ship surface, midsection, Lamé curve, hydrodynamic surface, algebraic surface

perpendicular to the other two which coincides with midsection. By taking the same three predefined sections of the theoretical hull shape, it is possible to obtain three algebraic surfaces of different order, which are called hydrodynamic in this article. By introducing alphabetic parameters to signify orders of ship skeleton main curves and then by giving them various numerical values, it is possible to consider a large number of hull shapes, having only three explicit surface equations. Method of deriving the equations, obtained by other authors, using only three explicit algebraic equations is demonstrated. The proposed technique is illustrated on six new ship hull shapes.

For citation

Karnevich VV. Hydrodynamic surfaces with midsection in the form of Lamé curve. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(4):323–328. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-323-328>

Введение

Выбор очертания судовой поверхности судна является одной из важнейших задач корабельных архитекторов. Необходимо принимать во внимание множество факторов. Очень часто выбор формы корпуса определяется интуицией проектировщика, или с помощью эмпирических формул, или очень дорогих натурных экспериментов [1]. В [2] рекомендуется после выбора теоретической формы корпуса судна проводить эксперименты с его моделями для оптимизации геометрических размеров корпуса с учетом улучшения его маневренности, уменьшения сопротивления воды и других мореходных качеств. Отмечается, что лучший образец был выбран из 496 вариантов. Имеются работы, например [3; 4], где рассматриваются вопросы решения прикладных задач, связанных с возможностями автоматизированной системы САПР КОМПАС-3D по геометрическому моделированию поверхностей корпуса судна. В них изучается способ моделирования корпуса судна на основе плоских кривых.

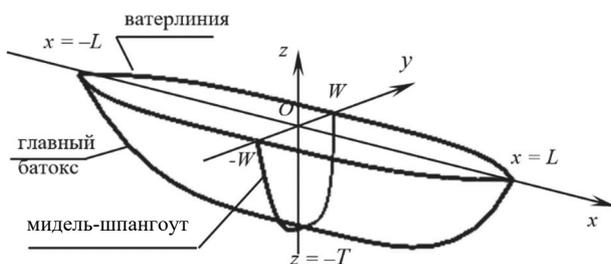


Рис. 1. Каркас гидродинамической поверхности из трех плоских кривых

Некоторое представление о современных формах контейнерных судов для речного флота России можно получить из статьи Г.В. Егорова [5]. По некоторым данным имеется 11 типов судов, и по каждому типу опубликовано большое число научно-

практических статей, посвященных требованиям к оптимальным формам соответствующих судов [6].

Ряд конструкторов показывают, что для аналитического формообразования оптимальной формы судовой поверхности очень подходят алгебраические поверхности с наперед заданным каркасом из трех плоских кривых, лежащих в главных взаимно перпендикулярных сечениях корпуса судна (рис. 1). Имея три плоские кривые, совпадающие с мидель-шпангоутом (в сечении плоскостью yOz), главным батоксом (в сечении плоскостью xOz) и ватерлинией (в сечении плоскостью xOy), можно построить три отличающиеся друг от друга алгебраические поверхности [7]. Одну из них можно взять в первом приближении за форму проектируемого судовой корпуса, после чего приступить к формированию цилиндрической вставки, или принять форму корпуса, состоящую из двух разных алгебраических поверхностей, где носовая часть и кормовая оконечность плавно стыкуются по мидель-шпангоуту.

Полученные поверхности в некоторых работах называют алгебраическими [8], в других – гидро/аэродинамическими [9], в третьих просто гидродинамическими [7]. В настоящей статье по аналогии с работой [7] будем использовать название – гидродинамические поверхности с наперед заданными ватерлинией, мидель-шпангоутом и главным батоксом (килевой линией).

Гидродинамические поверхности с параболой порядка t , кривой Ламе и параболой порядка k

Имеем ватерлинию в форме параболы порядка t :

$$y = \pm W \left(1 - \frac{x^t}{L^t} \right), \quad (1)$$

мидель-шпангоут в форме кривой Ламе:

$$|z|^n = T^n \left(1 - \frac{|y|^m}{W^m} \right), \quad (2)$$

главный батокс в форме параболы порядка k :

$$z = -T \left(1 - \frac{x^k}{L^k} \right). \quad (3)$$

Принятие главного каркаса судна из трех плоских кривых (рис. 1) в виде (1)–(3) дает возможность получить необходимые формулы для большого числа судовых поверхностей благодаря наличию произвольных степеней t , n , m , k . Например, давая различные значения параметрам n и m в формуле (2), получаем различные очертания мидель-шпангоутов (рис. 2).

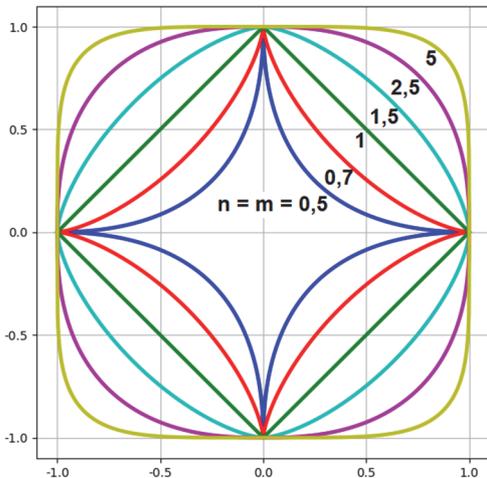


Рис. 2. Кривые Ламе при различных значениях параметра $n = m = 0,5; 0,7; 1; 1,5; 2,5; 5$

Считаем, что основные геометрические параметры корпуса судна выбраны заранее: T – осадка судна, $2W$ – его ширина, $2L$ – длина судна (рис. 1).

Рассмотрим сечение гидродинамической поверхности сечением $z = \text{const}$. Его уравнение находим по аналогии с формулой (1):

$$y = \pm W(z) \left(1 - \frac{x^t}{L(z)^t} \right), \quad (4)$$

где $L(z)$ – это x из формулы (3):

$$L(z) = L \sqrt[1 + \frac{z}{T}]{k}$$

а $W(z)$ – это y из формулы (2), то есть

$$W(z) = W \sqrt[1 - \frac{|z|^n}{T^n}]{m}$$

Подставляя два последних выражения в формулу (4), получаем

$$y = \pm W^m \sqrt[1 - \frac{|z|^n}{T^n}]{m} \left[1 - \frac{x^t}{L^t (1 + z/T)^{t/k}} \right]. \quad (5)$$

Уравнение (5) есть уравнение первой искомой гидродинамической поверхности.

Запишем уравнение этой поверхности в параметрической форме, для этого необходимо принять

$$z = z(u) = -uT, \quad x = x(u, v) = vL \sqrt[1 - u]{k}$$

$$y = y(u, v) = \pm W^m \sqrt[1 - u^n]{m} (1 - |v|^t), \quad (6)$$

причем $0 \leq u \leq 1$; $-1 \leq v \leq 1$; t, k, n, m – положительные числа.

Для получения второй гидродинамической поверхности с жестким главным каркасом (1)–(3), но образованной каркасом сечений $x = \text{const}$, примем

$$|z|^n = T(x)^n \left(1 - \frac{|y|^m}{W(x)^m} \right), \quad (7)$$

где из формулы (1)

$$W(x) = W \left(1 - \frac{x^t}{L^t} \right),$$

из формулы (3)

$$T(x) = -T \left(1 - \frac{x^k}{L^k} \right).$$

Подставляя два последних выражения в формулу (7), получаем

$$|z|^n = T^n \left(1 - \frac{x^k}{L^k} \right)^n \left[1 - \frac{|y|^m}{W^m \left(1 - \frac{x^t}{L^t} \right)^m} \right]. \quad (8)$$

Уравнение (8) есть алгебраическое уравнение второй искомой гидродинамической поверхности. Параметрические уравнения этой второй поверхности будут

$$x = x(u) = uL, \quad y = y(u, v) = vW(1 - u^t),$$

$$|z|^n = |z(u, v)|^n = -T^n(1 - u^k)^n(1 - v^m), \quad (9)$$

где $-1 \leq u \leq 1$; $-1 \leq v \leq 1$; t, k, n, m – положительные числа.

Третья гидродинамическая поверхность образовывается сечениями $y = \text{const}$, поэтому, согласно формуле (3),

$$z = -T(y) \left(1 - \frac{x^k}{L(y)^k} \right), \quad (9)$$

где из формулы (2)

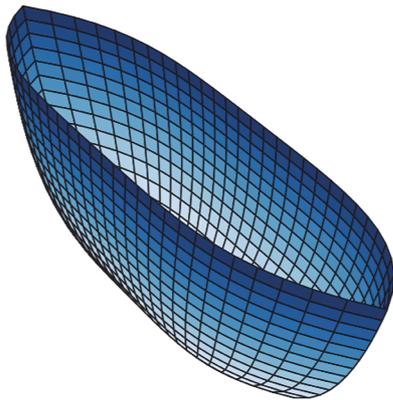
$$T(y) = T^n \sqrt[1 - \frac{|y|^m}{W^m}],$$

а из формулы (1)

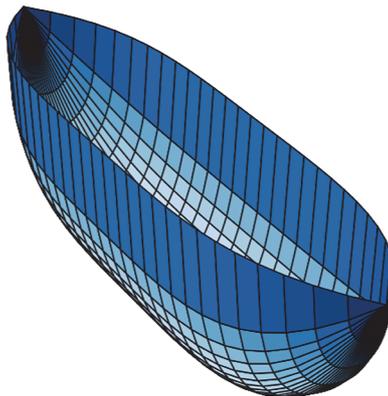
$$L(y) = L^t \sqrt[1 \mp \frac{y}{W}].$$

Подставляя два последних выражения в формулу (9), получаем

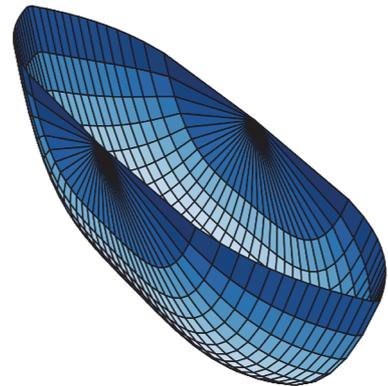
$$z = -T^n \sqrt[1 - \frac{|y|^m}{W^m}] \left[1 - \frac{x^k}{L^k \left(1 \mp \frac{y}{W} \right)^{k/t}} \right]. \quad (10)$$



1-я поверхность, задаваемая уравнением (6)

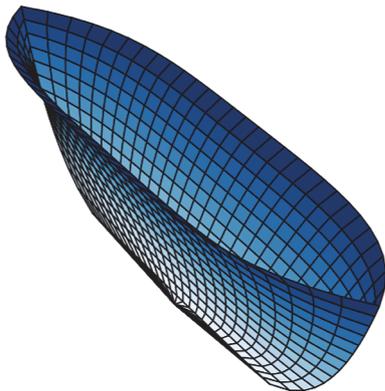


2-я поверхность, задаваемая уравнением (9)

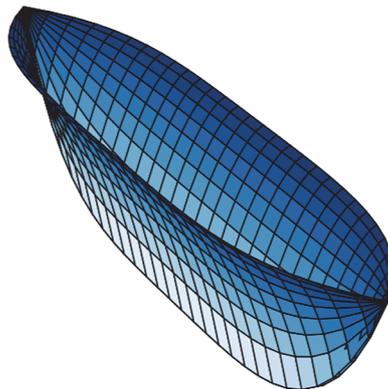


3-я поверхность, задаваемая уравнением (11)

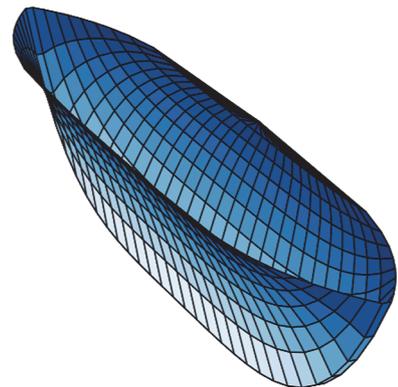
Рис. 3. Тройка гидродинамических поверхностей с $T = 1$ м, $W = 0,5$ м, $L = 5$ м



1-я поверхность, задаваемая уравнением (6)



2-я поверхность, задаваемая уравнением (9)



3-я поверхность, задаваемая уравнением (11)

Рис. 4. Тройка гидродинамических поверхностей с $T = 1$ м, $W = 0,5$ м, $L = 5$ м

Параметрические уравнения третьей гидродинамической поверхности будут

$$y = y(u) = uW,$$

$$x = x(u, v) = vL\sqrt{1 \mp u},$$

$$z = z(u, v) = -T^n\sqrt{1 - |u|^m}(1 - v^k), \quad (11)$$

где $-1 \leq u \leq 1$; $-1 \leq v \leq 1$; t, k, n, m – положительные числа.

Пример 1. Визуализацию тройки гидродинамических поверхностей, заданных параметрическими уравнениями (6), (9), (11), осуществим при $t = 4$, $m = n = 5/2$, $k = 4$. В этом случае мидель-шпангоут (2) принят в форме суперэллипса Пета Хейна (Piet Hein's superellipse).

Все три гидродинамические поверхности показаны на рис. 3.

Пример 2. Визуализацию тройки гидродинамических поверхностей, заданных параметрическими уравнениями (6), (9), (11), осуществим при $t = 4$, $m = n = 0,7$; $k = 4$. Все три гидродинамические поверхности показаны на рис. 4.

Результаты

Плоские кривые (1)–(3), совпадающие с главным каркасом судовой поверхности, описывают большое число плоских алгебраических кривых и позволяют строить большое число троек гидродинамических поверхностей. На рис. 3 и 4 показаны гидродинамические поверхности с выпуклыми (рис. 3) и вогнутыми (рис. 4) мидель-шпангоутами. Визуализация троек гидродинамических поверхностей осуществлена с помощью библиотеки построения графиков Matplotlib на языке программирования Python.

До этого каждая гидродинамическая поверхность строилась для наперед заданных кривых (1)–(3) отдельно. Например, в [10] приводятся гидродинамические поверхности для случая $t = k = m = 4$, $n = 1$ и для случая $t = k = 4$, $n = 2$, $m = 1/3$. В [7] получены явные и параметрические уравнения для двух троек гидродинамических поверхностей при $t = m = n = k = 2$ и при $t = 2$, $m = k = 4$, $n = 1$. Несколько поверхностей рассмотрены в [9; 11].

Дискуссия

Гидродинамические поверхности с каркасом из наперед заданных плоских алгебраических кривых не могут быть поверхностями нулевой гаус-

совой кривизны, то есть развертывающимися поверхностями. При использовании металлической обшивки корпуса они потребуют аппроксимации, то есть замены проектируемого на первом этапе корпуса корпусом, состоящим из кусков развертывающейся обшивки (рис. 5).

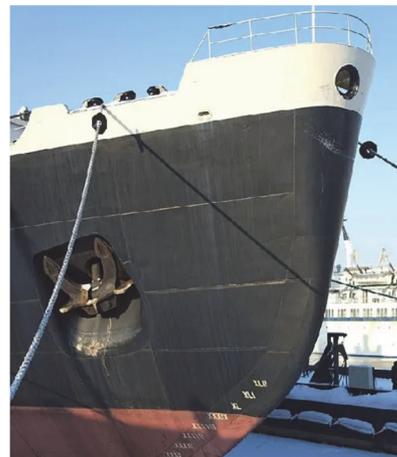


Рис. 5. Замена теоретического корпуса судна кусками торсовой обшивки

Учитывая, что на ходовые качества судна наибольшее влияние оказывает очертание ватерлиний, аппроксимированную торсовую поверхность желательно строить как поверхность на двух плоских сечениях $z = \text{const}$ [12]. Эти сечения будут лежать в плоскостях параллельных плоскости с ватерлинией (1). Аппроксимации может не потребоваться, если корпус будет изготавливаться из композитных материалов. Некоторые полезные советы по геометрическому моделированию судовых корпусов содержатся в [13]. Н. Tober [14] изучал влияние геометрии корпуса судна на сопротивление воды при его движении. Автор не изучал этот важный вопрос, а рассматривали чисто геометрические проблемы проектирования корпуса.

Заключение

Поскольку корпус реального судна имеет очень сложную форму и зависит от многих факторов, то результаты, описанные в статье, можно использовать только на раннем этапе проектирования формы корпуса. Аналитический метод описания формы корпуса, в отличие от графического, позволит широко применять компьютерное моделирование, для чего довольно легко составить соответствующую компьютерную программу, которая могла бы учитывать и цилиндрические вставки.

Список литературы

1. *Doctors L.J.* Optimization of marine vessels on the basis of tests on model series // *J. Mar. Sci. Technol.* 2020. Vol. 25. Pp. 887–900. <https://doi.org/10.1007/s00773-019-00687-4>
2. *Deng R., Wang S., Hu Y., Wang Y., Wu T.* The effect of hull form parameters on the hydrodynamic performance of a bulk carrier // *J. Mar. Sci. Eng.* 2021. Vol. 9. P. 373. <https://doi.org/10.3390/jmse9040373>
3. *Горавнева Т., Семенова-Тян-Шанская В.* Моделирование корпуса судна в САПР КОМПАС 3D // САПР и графика. 2019. № 4. С. 57–61.
4. *Рыченкова А.Ю., Клименко Е.С., Бородина Л.Н.* Геометрическое моделирование и оценка качества каркасной поверхности корпуса судна в САПР КОМПАС-3D // Научные проблемы водного транспорта. 2020. № 62. С. 71–90. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.49>
5. *Егоров Г.В.* Обоснование создания контейнерных судов для водного транспорта России // Судостроение. 2021. № 3. С. 9–24.
6. *Tupper Eric C.* Ship types (chapter 15) // *Introduction to Naval Architecture*. Amsterdam: Elsevier Ltd., 2013. Pp. 379–412. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098237-3.00015-1>
7. *Кривошапко С.Н.* Гидродинамические поверхности // Судостроение. 2021. № 3. С. 64–67.
8. *Авдоньев Е.Я., Протодьяконов С.М.* Исследование геометрии некоторых поверхностей высших порядков // *Прикладная геометрия и инженерная графика*. Киев, 1975. Вып. 20. С. 138–142.
9. *Кривошапко С.Н.* К вопросу об аэродинамических поверхностях, заданных алгебраическими плоскими кривыми // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2010. № 2. С. 3–4.
10. *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Алгебраические поверхности для судовых корпусов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2021. Т. 22. № 3. С. 283–292. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-3-283-292>
11. *Авдоньев Е.Я.* Аналитическое описание корпусных поверхностей // *Прикладная геометрия и инженерная графика*. Киев, 1972. Вып. 15. С. 156–160.
12. *Кривошапко С.Н.* Применение торсовых поверхностей в судостроении // *Судостроение*. 1983. № 7. С. 5–7.
13. *Ko K.H.* A survey: application of geometric modeling techniques to ship modeling and design // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2010. Vol. 2. Issue 4. Pp. 177–184. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0034>
14. *Tober H.* Evaluation of drag estimation methods for ship hulls. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences, 2020. 67 p.

Сведения об авторе

Карневич Валерий Вячеславович, магистр техники и технологий, аспирант департамента строительства, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-6232-2676, eLIBRARY SPIN-код: 4233-3099. E-mail: valera.karnevich@gmail.com