

УДК 515.2

О.Ю.Агарков

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАТЕРЛІНІЙ СУДНОВИХ КОРПУСНИХ ПОВЕРХОНЬ

. Геометричне моделювання ватерліній суднових корпусних поверхонь. Робота присвячена розробці нового методу геометричного моделювання ватерліній, який базується на кривих, що будуються із застосуванням лінійного графіка розподілу кривини вздовж їх обводу.

Ключові слова: *геометричне моделювання, суднова корпусна поверхня, ватерлінія.*

Постановка проблеми. Корпус сучасних морських суден має складну просторову форму, він загострюється в носовій і кормовій частинах. Поверхня, що обмежує корпус судна, аналітичного виразу не має, вона задається теоретичним кресленням, яке визначає зовнішню поверхню корпусу судна трьохлінійчатим каркасом. Подібне креслення будується на підставі визначених у процесі проектування головних розмірів судна і цілого ряду характеристик форми та утворюється трьома сімействами плоских кривих: шпангоутів, ватерліній і батоксів.

Теоретичне креслення є також трьохкартинним комплексним кресленням, що складається з трьох виглядів, які називаються "бік", "напівширина" і "корпус". Ватерлінії, які є предметом цього дослідження, у натуральну величину проєкціюються на вигляді "напівширина". Вони є плоскими кривими лініями, які виявляються на поверхні корпусу судна при його розташуванні в спокійній воді при різному завантаженні судна.

Ватерлінії можна також визначити як лінії перетину корпусу судна площинами, паралельними основній площині, яка перпендикулярна діаметральній площині (ДП) і торкається кільової лінії в самій нижній її точці. Під ДП розуміють вертикальну площину, яка ділить корпус судна на дві, найчастіше симетричні частини: лівий і правий борт. Ватерлінії є найважливішими кривими, що описують корпус судна. Геометрія ватерліній суттєво впливає на швидкісні якості судна. Відомо, що при переміщенні судна у воді на нього діє сила опору тертя, частина корисної потужності головного двигуна витрачається на хвилювання. При несприятливому моделюванні ватерліній гідравлічні втрати, що виникають при русі судна, зростають, що приводить до зменшення швидкості його ходу і, відповідно, збільшенню паливних витрат. Отже, геометрія ватерліній впливає на морехідні якості судна, швидкість ходу та остійність, під якою розуміють можливість судна протистояти перевертанню.

Корпус судна має задовольняти заданим умовам морехідності, що на етапі проектування забезпечується певними значеннями коефіцієнтів загальної повноти δ , повноти ватерліній α , повноти мідель-шпангоута β , поздовжньої повноти φ . Ці коефіцієнти вибираються, виходячи з досвіду проектування та експлуатації раніше побудованих суден. Їх величини залежать від класу судна, його призначення, вантажу, який має транспортуватися, остійності, непотоплюваності, запасу плавучості та деяких інших чинників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконаний аналіз відомих літературних джерел [1, 2, 5–7] підтвердив необхідність розробки нових методів геометричного моделювання ватерліній, оскільки раніше запропоновані криві, що застосовувалися при формуванні ватерліній, не в повній мірі відповідають вимогам, які подаються до сучасних морських суден. Останнім часом вантажопідйомність, швидкість ходу та інші параметри суден суттєво зросли, з'явилися нові їх типи. Незважаючи на те, що в сучасному суднобудуванні, особливо західному, існують дуже дорогі і складні системи автоматизованого проектування суден, наприклад Tрубон, інтерес до простих і надійних методів формування суднових поверхонь не спадає. Зараз у галузі суднобудування майже зникли потужні проектні організації, які мали б достатній портфель заказів, а отже й кошти для придбання сучасних систем проектування, які, крім того, вимагають спеціальної підготовки проєктантів. Ці фахівці у зв'язку із складністю систем проектування опановують окремі модулі проектування суден, на їх підготовку витрачаються значні кошти. Для середніх і малих проектних організацій це є майже недоступним.

Формування цілей статті. Робота присвячена розробці нового методу геометричного моделювання плоских кривих ліній, які можуть застосовуватися при проектуванні теоретичних креслень суднових корпусних поверхонь, зокрема, формуванні ватерліній. Спроєктовані ватерлінії

мають забезпечувати визначені із загальних концепцій проектування судна коефіцієнти повноти α , які з геометричної точки зору є відношенням площі фігури під кривою ватерлінії до площі прямокутника, що цю фігуру охоплює. У цій роботі пропонується моделювати ватерлінії поверхонь корпусу судна із застосуванням кривих, які будуються у припущенні лінійного закону розподілу їх кривини вздовж дуги обводу.

Основна частина. Розглядається метод геометричного моделювання ватерліній суднових корпусних поверхонь, що базується на ідеях робіт [3, 4, 8], в яких плоскі криві лінії генеруються в припущенні, що їх кривина лінійно залежить від довжини дуги обводу.

Якщо графік кривини відомий, то побудувати криву, що йому відповідає, можна без особливих проблем. Дійсно, диференціал дуги ds дорівнює:

$$ds = d\varphi / K(s).$$

Інтегруючи цей вираз, можна знайти кут нахилу дотичної до кривої в довільній її точці:

$$\varphi(s) = \varphi(0) + \int_0^s K(s) ds.$$

Запишемо рівняння зміни кривини кривої у наступному вигляді:

$$K(s) = as + b,$$

де a і b – коефіцієнти лінійної залежності кривини кривої від її довжини.

Якщо коефіцієнти a і b відомі, то можна розрахувати координати x і y у довільній точці кривої. За інших обставин для побудови кривої треба розробити методику визначення вказаних коефіцієнтів, виходячи із умов, які подаються до кривої, що моделюється.

Параметричні рівняння кривої, що генерується на базі лінійного графіка зміни кривини мають вигляд [3]:

$$\begin{aligned} x(S) &= x(0) + \int_0^S \cos \left[\varphi(0) + \frac{as^2}{2} + bs \right] ds; \\ y(S) &= y(0) + \int_0^S \sin \left[\varphi(0) + \frac{as^2}{2} + bs \right] ds. \end{aligned} \quad (1)$$

У цих рівняннях три невідомих величини: a , b і S , де S – довжина дуги обводу. Для числового розв'язання цих рівнянь записують вираз для кута нахилу дотичної в кінцевій точці:

$$\varphi(S) = \varphi(0) + \frac{aS^2}{2} + bS.$$

Визначають коефіцієнт b і підставляють його до системи рівнянь (1):

$$b = \frac{\varphi(S) - \varphi(0)}{S} - \frac{aS}{2}.$$

У підсумку мають:

$$\begin{aligned} x(S) &= x(0) + \int_0^S \cos \left[\varphi_{a,S}(s) \right] ds; \\ y(S) &= y(0) + \int_0^S \sin \left[\varphi_{a,S}(s) \right] ds, \end{aligned}$$

де
$$\varphi_{a,S}(s) = \varphi(S) \frac{s}{S} + \left(\frac{as}{2} - \frac{\varphi(0)}{S} \right) (s - S).$$

Отриману систему рівнянь розв'язують числовим методом Ньютона, який вимагає визначення похідних по невідомим параметрах S і a .

Інтегралі в записаних виразах аналітично обчислити неможливо, тому для їх визначення застосовується числовий метод.

Моделювання ватерліній виконується у відносних координатах, початок якої розміщують у ДП в районі мідель-шпангоута. Вздовж осі абсцис відкладають відношення довжини корпусу судна до його ширини L/B , а вздовж осі ординат – відносну півширину корпусу судна. У початковій точці, що знаходиться в районі мідель-шпангоута, кут нахилу дотичної має нульове значення. У кінцевій точці, що належить ДП, кут нахилу дотичної задається в залежності від типу судна, що

проектуються. Відносна довжина судна також визначається цільовим призначенням судна. Судна з високою проектною швидкістю мають більшу відносну довжину. Тихохідні судна мають менші значення відносної довжини корпусу.

На рис. 1 наведені результати геометричного моделювання носових ділянок ватерліній при різних значеннях відносної довжини корпусу судна, які отримані із застосуванням спеціально розробленої програми, написаної мовою об'єктно-орієнтованого програмування Object Pascal в середовищі візуального проектування Delphi.

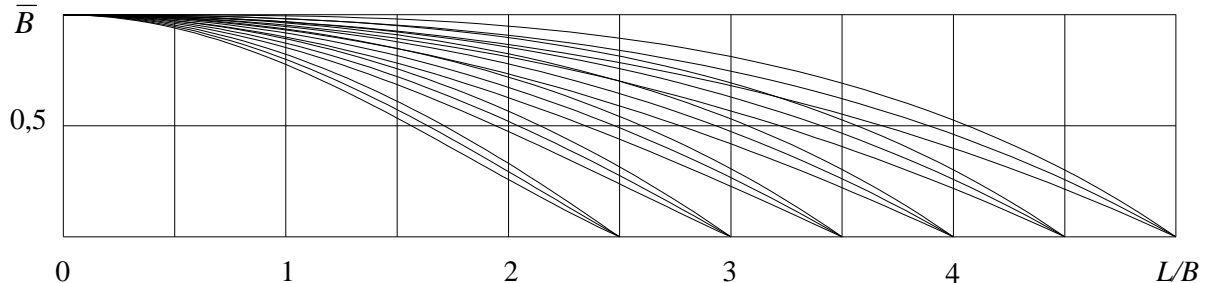


Рис. 1

Безпосередня візуалізація отриманих розрахункових результатів виконується в середовищі автоматизованого проектування AutoCAD завдяки підготовленим програмою розрахунків так званих *script*-файлів. Для кожної відносної довжини показані по три криві, які відповідають різним кутам носового загострення. Верхні лінії побудовані при куті носового загострення, що дорівнює за модулем 35° , середні лінії – при куті 30° , нижні лінії – при куті 25° .

На рис. 2 показані результати моделювання сукупності ватерліній, побудованих за умови, що кут носового загострення є величиною сталою і рівною 40° . Варіювалася величина відносної довжини корпусу судна в межах від 3-х до 4-х з кроком 0,25.

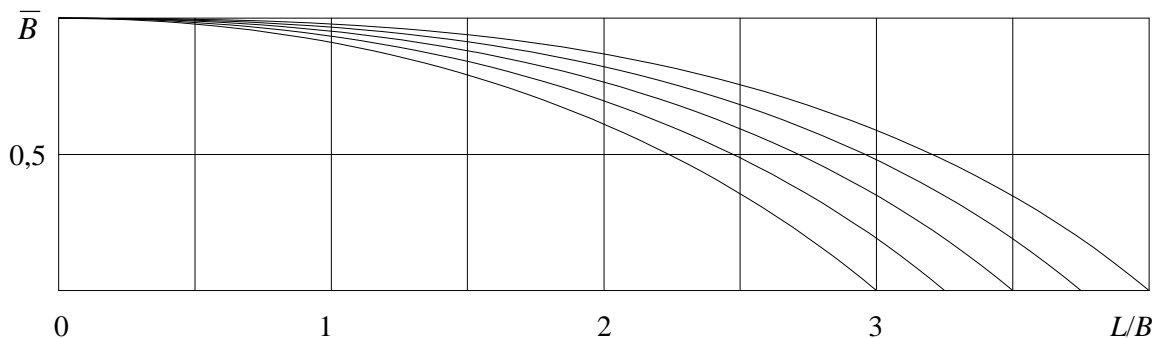


Рис. 2

На рис. 3 показана сукупність ватерліній, побудованих при постійному значенні відносної довжини корпусу судна, що дорівнює 2, і варіюванні кута носового загострення в межах від 20° до 40° з кроком 5° . Із цих даних випливає, що із зменшенням кута носового загострення ступінь перегину кривих зростає.

Розроблена програма після деякої модернізації дозволила розраховувати коефіцієнти повноти ватерліній, Розрахунки площі фігури під ватерлінією зводяться до числового інтегрування рівняння кривої, що подає ватерлінію. Рівняння кривої ватерлінії стає відомим після визначення коефіцієнтів a і b графіку розподілу кривини.

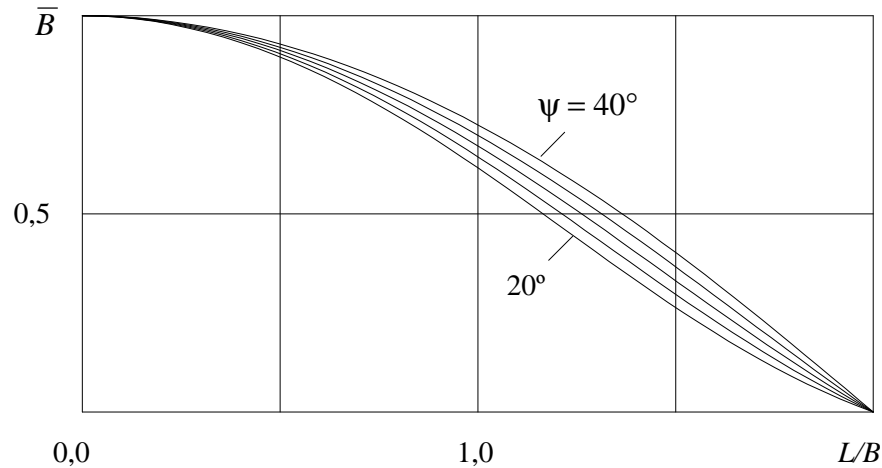


Рис. 3.

Площа криволінійної фігури F , заданої з використанням параметричної функції, обчислюється за допомогою такого виразу:

$$F = \int_0^{S_\varphi} y(s)x'(s)ds, \quad (2)$$

де S_φ – довжина дуги кривої.

Знайдемо похідну координати x та підставимо до виразу (2):

$$x'(s) = \cos\left(\varphi_0 + \frac{as^2}{2} + bs\right).$$

Остаточно будемо мати:

$$F = \int_0^{S_\varphi} \left[y_0 + \int_0^s \sin\left(\varphi_0 + \frac{a\sigma^2}{2} + b\sigma\right) d\sigma \right] \cos\left(\varphi_0 + \frac{as^2}{2} + bs\right) ds.$$

Наведений інтеграл визначається числовим методом. Коефіцієнт повноти ватерлінії α є результатом ділення цієї площі на площу прямокутника зі сторонами \bar{B} і L/B .

У табл. 1 подані розрахункові значення коефіцієнтів повноти ватерліній, отриманих при їх геометричному моделюванні. Ці дані свідчать про те, що із збільшенням відносної довжини корпусу судна коефіцієнт повноти ватерліній зростає, що є наслідком того, що за цих обставин ватерлінія наближається до верхньої горизонтальної лінії (див. рис. 2). Зростання коефіцієнта повноти ватерліній при збільшенні відносної довжини корпусу судна має практично лінійний характер, з деякою тенденцією збільшення приросту зростання при збільшенні відносної довжини корпусу судна.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнтів повноти ватерліній від відносної довжини корпусу судна при $\psi = 40^\circ$

| L/B | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| α | 0,69712 | 0,71037 | 0,72382 | 0,73743 | 0,75118 |

Після проведення розрахунків і накопичення достатнього обсягу інформації в системі Matlab були побудовані графіки залежності коефіцієнтів повноти ватерліній від відносної довжини корпусу судна L/B і кута носового загострення ψ (рис. 4). Отримані графічні результати підтверджують зроблені вище висновки відносно коефіцієнтів повноти ватерліній і впливу на них указаних параметрів.

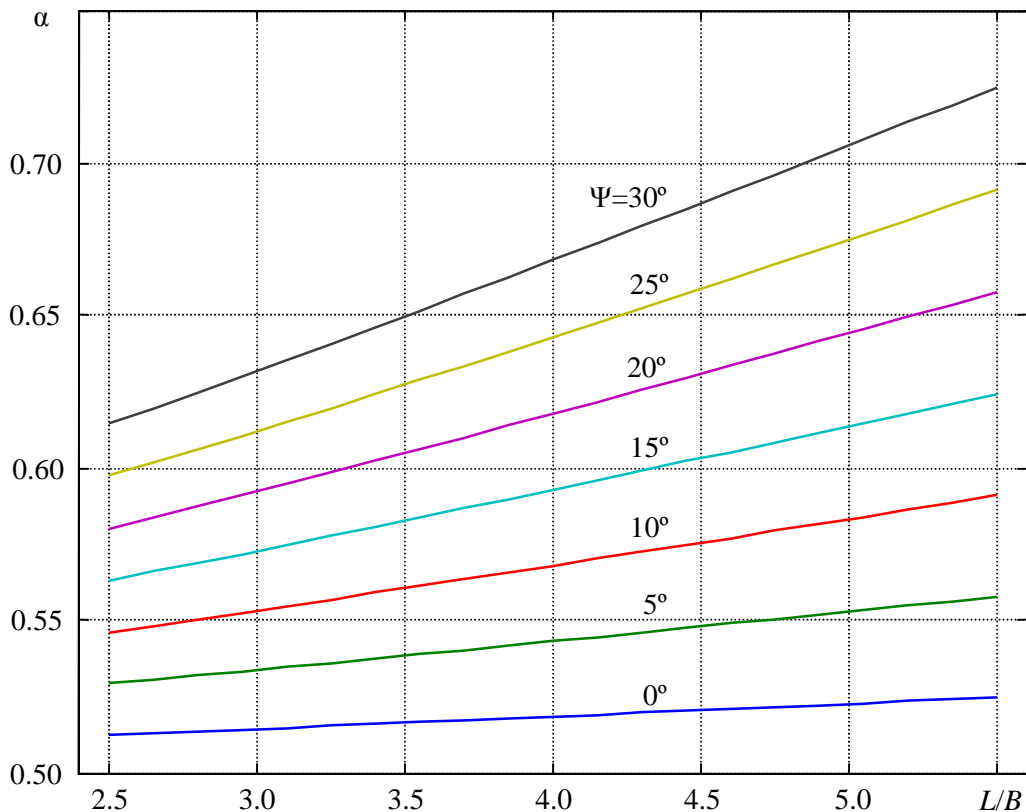


Рис. 4

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі показано, що метод геометричного моделювання кривих з лінійним графіком розподілу кривини, можна застосовувати при проектуванні ватерліній суднових корпусних поверхонь. Він дозволяє будувати ці важливі корпусні криві у широкому діапазоні варіювання суднових параметрів та отримувати проектні значення коефіцієнтів повноти при заданих значеннях кутів носового загострення.

Подальші дослідження слід спрямувати на розробку методів геометричного моделювання шпангоутів – поперечних перерізів корпусу судна, які в носовій і кормовій частинах судна можуть мати дві точки перегину.

1. Ашик В.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.В. Ашик. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
2. Ашик В.В. Методы построения и согласования судовой поверхности с помощью ЭВМ / В.В. Ашик, А.А. Богданов, И.Б. Мараева, А.Н. Шебалов. – Л.: Судостроение, 1978. – 78 с.
3. Борисенко В.Д. Геометричне моделювання плоских кривих із застосуванням лінійного елемента кривини / В.Д. Борисенко, С.А. Устенко, В.Є. Спіцин // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2006. – Вип. 76. – С. 43–49.
4. Борисенко В.Д. Геометричне моделювання плоского криволінійного обводу за заданою кривиною / В.Д. Борисенко, С.А. Устенко, В.Є. Спіцин // Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі. "Геометричне та комп'ютерне моделювання". – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 5. – С. 30–34.
5. Бронников А.В. Проектирование судов / А.В. Бронников. – Л.: Судостроение, 1990. – 327 с.
6. Кротов О.І. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник / О.І. Кротов, В.І. Голюков, О.Ю. Єганов, О.В. Бондаренко. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с.
7. Матвеев В.Г. Справочник по судостроительному черчению / В.Г. Матвеев, В.Д. Борисенко, Г.А. Барашкова, Л.А. Горев. – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.
8. Устенко С.А. Геометричне моделювання плоских кривих із застосуванням елементів кривини / С.А. Устенко // Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі. "Геометричне та комп'ютерне моделювання". – Х.: ХДУХТ, 2009. – Вип. 22. – С. 82–87.