

УДК 629.12:514.18

Андрій УСТЕНКО

austenko0@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0546-7019

Микола ГИЛКО

Ірина УСТЕНКО

ustenko.irina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1541-2414

м. Миколаїв

АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ БАТОКСІВ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ КОРПУСУ СУДНА КРИВИМИ У НАТУРАЛЬНІЙ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

Стаття присвячена аналітичному поданню батоксів теоретичного креслення корпусу судна параметричними кривими з натуральним параметром – довжиною власної дуги. Задача розв'язується із застосуванням лінійного закону розподілу кривини від довжини дуги.

Ключові слова: корпус судна, теоретичне креслення, батокс, аналітичне подання, кривина, лінійна залежність.

Постановка проблеми

Корпус судна має складну геометричну форму. Для її наочного уявлення при проектуванні судна будується теоретичне креслення, яке формується трьома сім'ями кривих ліній: шпангоутів, ватерліній і батоксів. Ці лінії, які мають назву корабельних кривих, креслять на попередньо виконаній сітці теоретичного креслення.

Сітка теоретичного креслення виконується при кількості теоретичних шпангоутів, рівній 21. Дозволяється побудова додаткових шпангоутів, які розташовують на половині прийнятої шпациї, як правило, в кінцях судна.

Загальна кількість ватерліній може коливатися в залежності від складності обводів корпусу судна від чотирьох до восьми, а кількість батоксів з кожного борта – від двох до чотирьох.

Корабельну криву *батокс* отримують при перерізі поверхні корпусу судна площинами, паралельними діаметральній площині, яка ділить корпус судна на дві симетричні частини – правий і лівий борт.

Проекції теоретичного креслення мають назву бік, півширота та корпус. Вони мають бути узгодженими між собою.

Криволінійний характер батоксів проявляється на проекції півширота. На дві інші площини проєкцій вони проєкціюються у вигляді відрізків прямих.

Необхідність розгляду поставленого в статті питання обумовлюється тим, що теоретичне креслення містить 21 шпангоут, а практичних шпангоутів може бути дві і навіть три сотні. Все залежить від довжини корпусу судна і прийнятої шпациї (відстані між шпангоутами), яка не перевищує 800 мм. Отже для визначення геометрії практичних шпангоутів необхідно мати аналітичні вирази ватерліній і батоксів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання аналітичного подання корабельних кривих турбує кораблебудівників, починаючи з 18 століття. Але тільки з появою обчислювальної техніки воно набуло особливої важливості та актуальності. Серед публікацій з цього питання можна знайти статті, тези, підручники, посібники, монографії [1-6, 8-10]. У цих роботах для опису корабельних кривих застосовуються різні математичні залежності, але найбільш широкого застосування набули багаточленні різних степенів [8, 9]. У роботах

[3-5] запропоновано моделювати корабельні криві з використанням параметричних рівнянь у натуральній параметризації та з лінійними і квадратичними законами розподілу кривини вздовж дуги обводу. Але в цих роботах розглядається геометричне моделювання ватерліній, вони не торкаються шпангоутів і батоксів, які мають певні особливості. В певній мірі запропоновані у вказаних роботах методи моделювання ватерліній можуть бути віднесені до проектувальних.

Постановка завдання

Метою цієї роботи є розробка методу аналітичного подання батоксів параметричними кривини у натуральній параметризації із застосуванням лінійних законів розподілу кривини від довжини дуги обводу.

Виклад основного матеріалу

Аналітичне подання батоксів будемо виконувати за умови, що теоретичне креслення корпусу судна вже існує, а отже, відомі аплікати точок перетину батоксів з теоретичними шпангоутами. Ці дані, як правило, задаються в табличній формі.

З диференціальної геометрії відомо, що диференціал кута між дотичною до кривої та віссю абсцис, визначається добутком диференціала довжини дуги на її кривину $k(s)$:

$$d\varphi = k(s)ds.$$

Інтегруванням цього виразу визначають залежність розподілу кута нахилу дотичної до кривої від довжини її дуги

$$\varphi(s) = \varphi(0) + \int_0^s k(s)ds, \quad (1)$$

де $\varphi(0)$ – кут нахилу дотичної в початковій точці кривої.

Для геометричного моделювання батоксів застосуємо рівняння залежності кривини модельованої кривої від довжини її дуги в наступному вигляді:

$$k(s) = as + b, \quad (2)$$

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

Проінтегрувавши залежність (1) з урахуванням закону розподілу кривини, взятому у вигляді (2), будемо мати:

$$\varphi(s) = \varphi(0) + \frac{as^2}{2} + bs. \quad (3)$$

Параметричні рівняння кривої, що генерується на базі лінійного закону розподілу кривини, мають вигляд:

$$\begin{aligned} x(s) &= x(0) + \int_0^s \cos \left[\varphi(0) + \frac{as^2}{2} + bs \right] ds; \\ y(s) &= y(0) + \int_0^s \sin \left[\varphi(0) + \frac{as^2}{2} + bs \right] ds. \end{aligned} \quad (4)$$

Скориставшись залежностями (2)-(4) можна за умови, що відомі коефіцієнти a і b лінійного закону розподілу кривини. Але для того, щоб крива прийшла в задану точку площини, до вказаних коефіцієнтів треба додати ще й довжину дуги S , яка також є величиною невідомою.

Таким чином, маємо три невідомих величини, які аналітично визначити неможливо. Тому розглянемо їх знаходження числовим методом.

Насамперед для того, щоб описати криву із застосуванням лінійного закону розподілу кривини необхідно знати координати початкової і кінцевої точок, а також кути нахилу в них дотичних. Будемо подавати батокси окремими ділянками, розташованими між суміжними шпангоутами, рухаючись від середньої частини судна до носової кінцевості. За цих обставин будуть відомі координати початкової і кінцевої точок, оскільки відомі аплікати точок батоксів, а за наявності шпациї – абсциси точок. Дещо складніше ситуація з кутами нахилу дотичних. На початковій ділянці батоксу кут нахилу дотичної має нульове значення. Це є наслідком того, що днище судна в центральній його частині представляє собою площину.

Кут нахилу дотичної в кінцевій точці початкової ділянки батоксу, де бажаний кут є невідомим, будемо визначати, як кут нахилу прямої, що з'єднує початкову точку ділянки батоксу з точкою батоксу, яка

знаходиться наприкінці наступної його ділянки.

З виразу (3) можна знайти залежність для коефіцієнта a :

$$a = \frac{2}{S} \left(\frac{\Delta\varphi}{S} - b \right),$$

де $\Delta\varphi = \varphi(S) - \varphi(0)$; S – довжина дуги ділянки батоксу.

Аналізуючи вирази (2)-(3) можна прийти до висновку, що в них невідомими величинами є коефіцієнт b і довжина дуги кривої S . Ці невідомі визначимо шляхом розв'язання задачі мінімізації відхилення в процесі пошуку проміжно отриманої кінцевої точки від заданої точки, в якій за функцію цілі можна було б взяти наступну залежність

$$f = \sqrt{(x_N - x_{N'})^2 + (y_N - y_{N'})^2},$$

де N – задана кінцева точка; N' – проміжно отримана кінцева точка ділянки батоксу.

Розв'язання задачі мінімізації функції цілі реалізується із застосуванням алгоритму, запропонованому Хуком-Дживсом, викладеному в роботі [11].

На підставі запропоновано методу геометричного моделювання батоксів розроблено програмний код для проведення розрахунків, пов'язаних з визначенням координат кривих, що подають батокси, та візуалізацією отриманих результатів.

На рис. 1 наведені результати геометричного моделювання чотирьох батоксів, розташованих в носовій кінцевості судна, призначеного для перевезення лісу. Дані для цього моделювання запозичені в роботі [7], в якій окрім самого теоретичного креслення носової кінцевості лісовозу наведені табличні дані для аплікату батоксів та деякі розміри, стосовно висот розташування верхньої палуби, палуби бака і козирка. Крім того, наведена числова інформація по семи ватерлініях. Вантажна ватерлінія (ВВЛ) збігається з шостою ватерлінією.

Моделювання батоксів виконано на попередньо накресленій сітці. Діаметральний батокс, або інакше нульовий батокс, включає форштвень, кильову лінію, лінії

верхньої палуби та палуби бака. Оскільки конструкція судна дещо застаріла і воно не дуже великої водотоннажності, то цей лісовоз немає бульбового закінчення носової кінцевості.

Невеликі кола, які можна бачити на рис. 1, відповідають точкам, побудованим за табличними даними, теоретичним кресленням з нанесеними на ньому розмірами, взятим із джерела [7], а також точкам, отриманим розрахунковим шляхом.

При побудові проекції "бік" теоретична креслення виникла ситуація, коли треба було знаходити точки перетину кривої, що описує фальшборт, з проекціями третього і четвертого шпангоутів. Оскільки абсциси розташування цих шпангоутів відомі, а також відоме параметричне рівняння кривої фальшборту, то для знаходження аплікату шуканих точок перетину проекцій шпангоутів з лінією фальшборту необхідно знайти дугові координати цих точок.

Алгоритм розв'язання цього питання зводиться до розв'язання однопараметричної задачі оптимізації, пов'язаної із знаходженням довжин дуг S_3 і S_4 , де індекс відповідає номеру шпангоута. Ці довжини дуг визначаються мінімізацією різниці абсциси проміжно отриманої точки від абсциси розташування шпангоуту, що розглядається.

Дещо складніше розв'язується задача, пов'язана із забезпеченням плавного підйому фальшборту в районі баку (зона розташування поблизу другого шпангоуту). Початковою точкою цього плавного переходу є точка перетину четвертого батоксу з лінією фальшборту. Параметричні рівняння цих двох кривих відомі. Треба визначити точку їх перетину. Пошук цієї точки, пов'язаний з розв'язанням двохпараметричної оптимізаційної задачі, призначеної для пошуку довжин дуг рівнянь четвертого батоксу і лінії фальшборту (мається на увазі проекції цих ліній на проекцію "бік" теоретичного креслення). Оптимізаційний процес завершується по досягненні заданої точності знаходження точки перетину двох параметричних кривих.

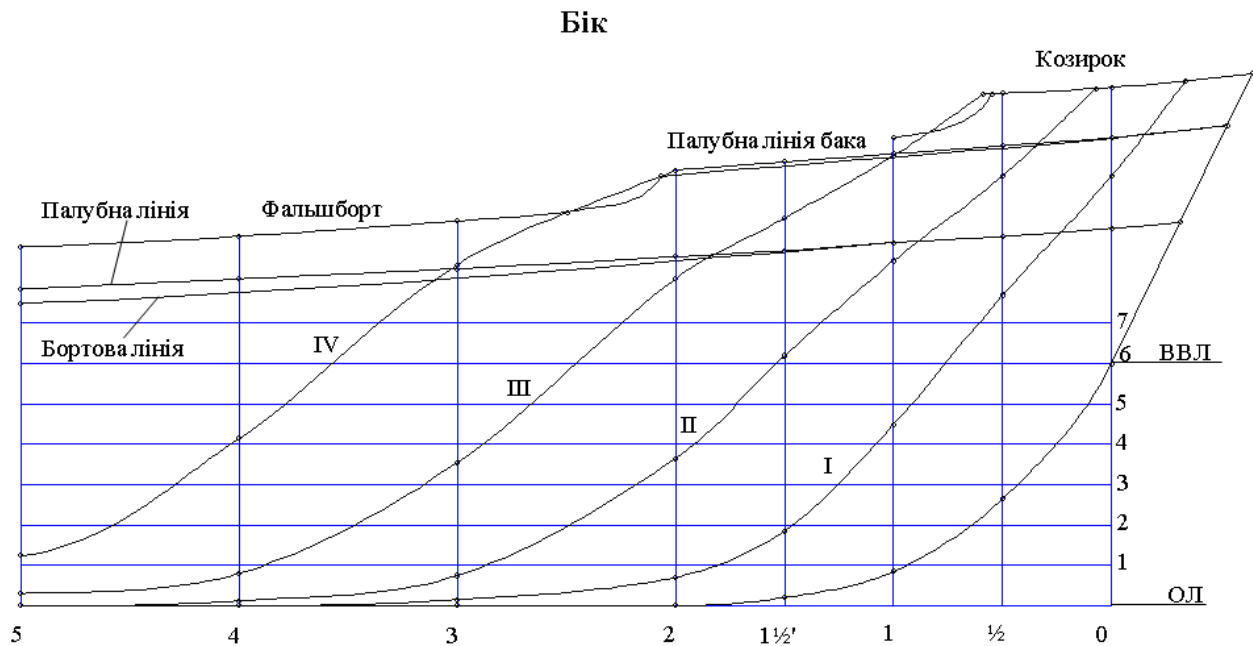


Рис. 1. Проекція бік теоретичного креслення носової частини лісовозу

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропоновано метод аналітичного опису батоксів теоретичного креслення корпусу судна із застосування параметричних кривих у натуральній параметризації

та лінійних законів залежностей кривини від довжини дуги кривої. Розроблено програму розрахунків та візуалізації отриманих результатів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методу аналітичного опису шпангоутів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ашик, В.В. Проектирование судов: Учебник [Текст] / В. В. Ашик. – Л. Судостроение, 1985. – 320 с.
2. Борисенко, В.Д., Моделювання корабельних кривих багаточленами третього степеня [Текст] / В.Д. Борисенко, А.С. Устенко // Інформаційні технології в моделюванні: Матеріали II-ої всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2017. – С. 4-6.
3. Борисенко, В.Д. Моделювання корабельних кривих з лінійним законом розподілу кривини [Текст] / В.Д. Борисенко, А.С. Устенко // Інформатика, інформаційні системи та технології: тези доповідей чотирнадцятої всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців. – Одеса, 14 квітня 2017 р. - Одеса, 2017. – С. 79-81.
4. Борисенко, В.Д. Моделювання корабельних кривих з квадратичним законом розподілу кривих [Текст] / В.Д. Борисенко, С.О. Слободян, А.С. Устенко // Геометричне моделювання та інформаційні технології: науковий журнал. – Миколаїв: МНУ, 2017, № 1 (3). – С. 34-38.
5. Борисенко, В.Д. Моделювання корабельних кривих у натуральній параметризації з лінійним законом розподілу кривини [Текст] / В.Д. Борисенко, А.С. Устенко // Збірка доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених", 28-29 квітня 2017 р. – Київ, НТУУ "КПІ" імені Ігоря Сикорського, 2017. – С. 46-50.
6. Бронников, А.В. Проектирование судов [Текст] / А. В. Бронников. – Л.: Судостроение, 1990. – 327 с.

7. Гажиєв, А.В. Судостроительное черчение [Текст] / А.В. Гажиєв, Н.В. Кошкалда. – Л. : Судостроение, 1979. – 184 с.
8. Ковалев, В.А. Новые методы автоматизации проектирования судовой поверхности [Текст] / В.А. Ковалев. – Л. Судостроение, 1982. – 212 с.
9. Методы построения и согласования судовой поверхности с помощью ЭВМ [Текст] / В.В. Ашик, А.А. Богданов, И.Б. Мараева, А.Н. Шебалов. – Л.: Судостроение, 1978. – 78 с.
10. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник [Текст] / О. І. Кротов, В. І. Голіков, О. Ю. Єганов, О. В. Бондаренко. – Миколаїв: УДМУ, 2003. – 156 с.
11. Hooke, R. Direct search solution of numerical and statistical problems [Text] / R. Hooke, T. A. Jeeves // Journal of the ACM. – 1961. – Vol. 8, No 2. – P. 212 – 229.

Andrii USTENKO, Mykola GYLKO, Iryna USTENKO
Mykolayiv

**ANALYTICAL PRESENTATION OF BUTTOCKS OF THE THEORETICAL
DRAWING OF THE HULL BY THE CURVES
IN NATURAL PARAMETERIZATION**

The article is devoted to the analytical representation of the buttocks of the theoretical hull drawing by parametric curves with a natural parameter – the length of the own arc. The problem is solved using the linear law of the distribution of curvature from the length of the arc.

Keywords: hull, theoretical drawing, buttocks, analytical presentation, curvature, linear dependence.

Андрей УСТЕНКО, Николай ГИЛКО, Ирина УСТЕНКО
Николаев

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БАТОКСОВ
ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА КОРПУСА СУДНА КРИВЫМИ
В НАТУРАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ**

Статья посвящена аналитическому представлению батоксов теоретического чертежа корпуса судна параметрическими кривыми с натуральным параметром – длиной собственной дуги. Задача решается с применением линейного закона распределения кривизны от длины дуги.

Ключевые слова: корпус судна, теоретический чертеж, батокс, аналитическое представление, кривизна, линейная зависимость.

Стаття надійшла до редколегії 19.10.2017