

СТРУКТУРА ДАНИХ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ХВИЛЬОВУ ПОВЕРХНЮ НАВКОЛО СУДНА

У статті ведеться розробка способу отримання, збереження та обробки інформації про хвильову поверхню моря навколо судна у штормових умовах (дана інформація є важливою для ефективної роботи системи управління заспокоювача хитавиці оригінальної конструкції, що розробляється). Пропонується вести дискретне знімання інформації про висоту хвильової поверхні у точках, що накладаються на спіраль Архімеда або іншу криву, що має кругову симетрію. Висоту хвильової поверхні у проміжних точках можна визначати за допомогою білінійної інтерполяції. Наводяться отримані формули білінійної інтерполяції у циліндричній системі координат. Фізично зберігати висоту хвильової поверхні у виділених точках пропонується у звичайному одномірному масиві і наведено спосіб встановлення відповідності між номером елемента масиву та точкою хвильової картини.

Ключові слова: хвильова поверхня, структура даних, білінійна інтерполяція, полярна система координат.

Постановка проблеми. Як відомо, морські судна значну частину свого періоду експлуатації перебувають на морському хвилюванні. При цьому під час руху, а також навіть і при простій судна на якорі, виникає таке негативне явище, як хитавиця. Особливо небезпечним є знаходження судна у штормових умовах, коли воно у повній мірі відчуває усі негативні явища, що супроводжують значну хитавицю:

- вертикальні, поздовжні та поперечні коливання корпусу судна, що можуть спричинити зсув та псування вантажу та обладнання;
- виникнення відповідних динамічних перевантажень, що негативно впливають на самопочуття екіпажу судна, зменшують його працездатність та ефективність, також можуть пошкодити тендітний вантаж чи обладнання;
- зміна профілю поверхні води вздовж корпусу, що спричинює зміну розподілу статичних моментів та сил, що перерізують, і, теоретично, може привести до втрати загальної міцності судна, зламу корпусу та миттєвої загибелі;
- слемінг – удар передньою частиною судна, що оголюється на кожному періоді поздовжньої хитавиці, з поверхнею води, що приводить до постійних значних вібрацій корпусу та може привести до втрати місцевої міцності корпусу (аж до відриву носової частини);
- ризикання судна, тобто відсутність стабільно заданого курсу;
- оголення гребного гвинта, що спричинює неконтрольований розгін двигунів, їх перегрівання та вихід з ладу;
- частково – заливаємість палуби;
- втрату локальної міцності у різноманітних місцях корпусу, тощо.

Перераховані негативні шкідливі та небезпечні явища своєю головною причиною мають хитавицю судна, тому боротьба з усіма ними в першу чергу зводиться до зменшення безпосередньо хитавиці. Для зменшення хитавиці на судах використовуються спеціальні пристрої – заспокоювачі хитавиці, що можуть бути більш чи менш інтелектуальними. Відповідно, для більшої ефективності своєї роботи заспокоювач хитавиці має бути оснащений системою управління, що приймає на вхід певний масив інформації, на основі якого виробляються управляючі рішення для виконуючих пристроїв. Зважаючи на значну специфіку цієї вхідної інформації, вона повинна мати певну структуру (та оброблятися відповідним чином), розробці чого і присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень. Розрізняють три основні види хитавиці судна [1]: поперечна, поздовжня та вертикальна. Фактично, усі три види є досить небезпечними та можуть окремо спричинювати перелічені вище явища. Однак у літературі (наприклад [2])

описуються заспокоювачі в основному поперечної хитавиці, що значною мірою спричинено простою неможливістю загальновідомих рішень ефективно боротися з поздовжньою та, тим більше, вертикальною хитавицею. У попередніх роботах [3-4] описано конструкцію та принцип роботи одного єдиного пристрою - заспокоювача, що може ефективно протидіяти як поперечній, так і поздовжній хитавиці.

Фізична суть роботи даного пристрою (коротко розглянемо лише аспекти, важливі для подальшого викладення матеріалу даної роботи) полягає в узгодженому направленні струменів водно-повітряної суміші в області взаємодії корпусу із водною поверхнею [3]. При цьому створюється як зона підвищеного тиску, що послаблює силу удару, зменшуючи його динамічні характеристики, так і механічний момент сили, що протидіє рухові корпусу під час хитавиці, і, відповідно, сприяє його стабілізації. Нагнітаючі пристрої розміщуються по периметру корпусу судна і включаються із необхідним рівнем потужності узгоджено, враховуючи наступні відомості:

- поточне положення корпусу судна відносно умовної поверхні спокійної води (в першу чергу – висота над цим рівнем);
- поточне положення корпусу відносно трьох головних осей судна, що задається трьома кутовими координатами, початок відліку яких узгоджений з курсом судна;
- поточні лінійні швидкості судна у статичній системі координат (СК), пов'язаній із землею, та три кутові швидкості руху судна відносно головних осей його корпусу;
- поточні лінійні прискорення судна у статичній СК та три його кутових прискорення відносно головних осей;
- характер хвильової поверхні навколо судна, що є важливим для прогнозування усіх вищенаведених характеристик в залежності від поточних обраних параметрів роботи заспокоювача хитавиці та відомостей про інерційні властивості судна (а, отже, і оптимізації режиму роботи заспокоювача).

Постановка завдання. Таким чином, існує необхідність накопичення інформації про фізичний об'єкт, яким є поверхня моря під час морського хвилювання, з метою її подальшого аналізу та обробки. Інформація такого роду не є одиничною скалярною чи векторною (принаймні при попередньому аналізі) величиною, і тому має бути представлена у певній формі, для чого слід розробити відповідну структуру даних.

В першу чергу слід виробити логічну організацію структури даних, що має урахувати специфіку предметної галузі: в першу чергу виділену роль судна на поверхні води, однорідність та ізотропність поверхні моря на відкритій воді. Система управління заспокоювачем хитавиці є системою реального часу, отже до цієї структури висуваються вимоги щодо ефективного швидкого доступу, що, очевидно, потребує наявності особливостей організації зв'язків між елементами та загальної компактності. З іншого боку фізичні розміри структури даних обмежуються точністю представлення профілю морського хвилювання, що в цілому необхідна для ефективного вироблення рішень системи управління заспокоювача. Таким чином, можна сформулювати наступну мету статті.

Мета статті: розробити структуру даних для представлення інформації про хвильову поверхню навколо судна, що використовуватиметься в роботі системи управління заспокоювачем хитавиці.

Основний матеріал дослідження. Базовою для розробки описаної структури даних є теза про головну роль судна, як системоутворюючого елемента, а отже, воно має знаходитися у центрі хвильової картини. Двостороння симетрія судна (а, отже і картини точок у яких необхідно досліджувати хвильову поверхню, що його оточує) є очевидною, однак для структури, що розробляється, при деяких додаткових допущеннях можливо ввести симетрію і більшого порядку.

Швидкість морських хвиль у штормових умовах є достатньо суттєвою, тому слід брати до уваги навіть далеко (на відстанях порядку сотень метрів) розташовані у даній момент хвилі (що можуть рухатися до судна – це якраз і має визначатися шляхом динамічного аналізу хвильової поверхні). Ще одним суттєвим моментом є необхідність відстеження

аномальних хвиль, що у декілька разів можуть бути більшими за середній показник. Такі хвилі з одного боку можуть спричинити миттєву загибель судна у результаті його перекидання (і тому життєво необхідним є аналіз віддаленої хвильової поверхні на предмет виникнення таких хвиль), а з іншого – порівняно легко детектуються через свої великі розміри (такі хвилі добре видно здалеку). Відповідно, доцільним є стеження за хвильовою поверхнею і на великих відстанях порядку сотень метрів від судна.

Отже, розміри судна можна вважати відносно малими у порівнянні із лінійними розмірами хвильової поверхні, яку слід брати до уваги для забезпечення ефективної роботи заспокоювача. Зважаючи на цю обставину, всю поверхню можна вважати такою, що має обертальну симетрію, тобто досліджувати коло радіусом кілька сотень метрів.

Далі слід визначитися із методом знімання інформації у межах описаного кола, а саме, вести його безперервно чи дискретно – рис.1 .



Рис. 1. Неперервне – а, та дискретне - б знімання інформації про хвильову поверхню (вид на воду зверху, судно – в центрі)

Для зменшення часових затрат на знімання інформації в одному циклі доцільним є дискретне знімання інформації з подальшою двовимірною інтерполяцією у полярній СК (таким чином, можна отримати дані про висоту хвильової поверхні у будь-якій необхідній точці навколо судна). Перевагою дискретного способу знімання, заснованого на використанні спіралі Архімеда (як на рис.1, б), є більш точна інформація біля центру хвильової картини (безпосередньо біля судна), і «розріджена» - біля границі кола, що відстежується (як зазначено вище, на далеких відстанях доцільним є відстеження лише аномальних хвиль, що мають великі розміри, і, отже, будуть визначені і при незначній густині точок заміру).

Спосіб двовимірної інтерполяції також представляє суттєвий інтерес, так як є частиною процесу обробки інформації, що міститься у структурі даних про хвильову поверхню. Для полегшення обчислювального навантаження на процесор системи управління пропонується використання білінійної інтерполяції: хвильова поверхня представляється площиною. Враховуючи, що положення точок заміру на поверхні моря задається у полярній СК, то апроксимуючу площину доцільно задавати у циліндричній СК:

$$z = -D - A\rho \cos \varphi - B\rho \sin \varphi. \quad (1)$$

Положення вузлів інтерполяції наведено на рис. 2.

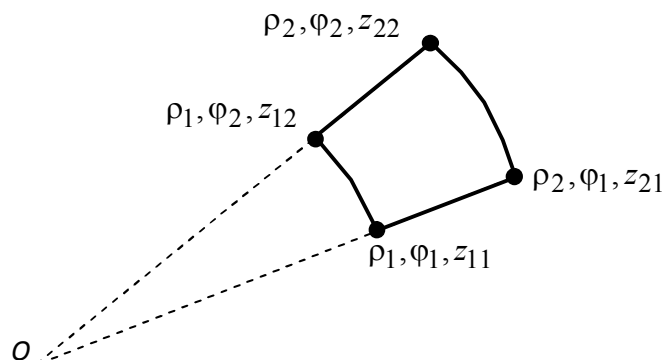


Рис. 2. Положення вузлів для білінійної інтерполяції у циліндричній СК

Коефіцієнти в (1) знайдемо методом найменших квадратів з умови:

$$\sum_{i,j} (z_{ij} + D + A\rho_i \cos \varphi_j + B\rho_i \sin \varphi_j)^2 \rightarrow \min ,$$

де i, j пробігають значення 1, 2 (тобто тут і далі позначкою $\sum_{i,j}$ коротко замінена

подвійна сума $\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2$).

Беручи похідну та вирішуючи систему лінійних алгебричних рівнянь методом Крамера (що є найзручнішим для чисельних розрахунків), отримуємо наступні формули для коефіцієнтів з (1):

$$\Delta = \begin{vmatrix} 4 & \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j \\ \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos^2 \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j \\ \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \sin^2 \varphi_j \end{vmatrix}$$

$$D = \Delta^{-1} \begin{vmatrix} -\sum_{i,j} z_{ij} & \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j \\ -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos^2 \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j \\ -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \sin^2 \varphi_j \end{vmatrix}$$

$$A = \Delta^{-1} \begin{vmatrix} 4 & -\sum_{i,j} z_{ij} & \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j \\ \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j \\ \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j & -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \sin^2 \varphi_j \end{vmatrix}$$

$$B = \Delta^{-1} \begin{vmatrix} 4 & \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & -\sum_{i,j} z_{ij} \\ \sum_{i,j} \rho_i \cos \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos^2 \varphi_j & -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \cos \varphi_j \\ \sum_{i,j} \rho_i \sin \varphi_j & \sum_{i,j} \rho_i^2 \cos \varphi_j \sin \varphi_j & -\sum_{i,j} z_{ij} \rho_i \sin \varphi_j \end{vmatrix}.$$

На основі розробленої логічної організації структури даних слід обрати спосіб її фізичного представлення. Тут актуальним є застосування звичайного масиву, як порівняно компактної та «швидкої» структури даних. При цьому слід лише встановити відповідність між точками, у яких відбуваються заміри, та номерами елементів масиву. Це досить легко зробити, якщо фіксованою і відомою є кількість точок на спіралі: достатньо пронумерувати

їх, наприклад, починаючи від центра і послідовно ідучи по спіралі аж до останньої точки. Полярний кут точки з номером n тоді буде:

$$\varphi_n = n\Delta\varphi,$$

де $\Delta\varphi$ - заданий крок за полярним кутом (доцільно обирати в межах 0,01-0,1 рад).

Полярний радіус розраховується за обраною формулою спіралі Архімеда:

$$\rho_n = k\varphi_n.$$

Висновки. У роботі проаналізовано особливості розташування судна на морському хвилюванні та на основі цього розроблено логічну організацію структуру даних для представлення інформації про хвильову поверхню навколо судна, а також вказано спосіб її фізичного зберігання у звичайному масиві. Відповідна структура даних використовуватиметься в роботі системи управління заспокоювачем хитавиці, що проектується.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко, С.И. Заичко. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. Одеса, «Фенікс», 2005. – 272 с.
2. American Bureau of Shipping – Guide for hull condition monitoring systems. – 2003. – 190 pp.
3. Гайша О.О., Борjak К.Ф., Мелкумян Р.Г., Гайша О.О. Оптимізація режиму роботи реактивного заспокоювача хитавиці // Зб. наук. праць ВІ КНУ. – К.: ВІ КНУ, 2012. - №33. – С.26-30.
4. Гайша О.О. Математичне моделювання ефективності управління реактивним заспокоювачем / О.О. Гайша // Зб. наук. праць ВІ КНУ. – К.: ВІ КНУ, 2013. - №44. – С.27-33.

REFERENCES:

1. L.L.Vagushhenko, A.L.Vagushhenko, S.I.Zaichko. Bortovye avtomatizirovannye sistemy kontrolja morehodnosti. Odesa, «Feniks», 2005. – 272 s.
2. American Bureau of Shipping – Guide for hull condition monitoring systems. – 2003. – 190 pp.
3. Gajsha O.O., Borjak K.F., Melkumjan R.G., Gajsha O.O. Optyimizacija rezhyму roboty reaktivnogo zaspokojuvacha hytavyci // Zb. nauk. prac' VI KNU. – K.: VI KNU, 2012. - №33. – S.26-30.
4. Gajsha O.O. Matematychnе modeljuvannja efektyvnosti upravlinnja reaktivnym zaspokojuvachem // Zb. nauk. prac' VI KNU. – K.: VI KNU, 2013. - №44. – S.27-33.

Рецензент: д.т.н., проф. Мочалов О.О., завідувач кафедри фізики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

к.т.н., доц. Гайша А.А., Гайша Е.А.

СТРУКТУРА ДАННЫХ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВОЛНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОКОЛО СУДНА

В статье проводится разработка способа получения, хранения и обработки информации о волновой поверхности моря около судна в штормовых условиях (эта информация является важной для эффективной работы системы управления разрабатываемого успокоителя качки оригинальной конструкции). Предлагается проводить дискретный съем информации о высоте волновой поверхности в точках, которые накладываются на спираль Архимеда или другую кривую, имеющую круговую симметрию. Высоту волновой поверхности в промежуточных точках можно определять с помощью билинейной интерполяции. Приводятся полученные формулы билинейной интерполяции в цилиндрической системе координат. Физически сохранять высоту волновой поверхности в выделенных точках предлагается в обычном одномерном массиве и приводится способ установления соответствия между номером элемента массива и точкой волновой поверхности.

Ключевые слова: волновая поверхность, структура данных, билинейная интерполяция, полярная система координат.

Ph.D. Gaisha A.A., Gaisha H.A.

DATA STRUCTURE TO REPRESENT INFORMATION ON SEA WAVE SURFACE NEAR THE SHIP

The article presents a method for producing, storing and processing information about the wave surface of the sea around the ship in heavy weather (this information is important for the effective operation of the control system of stabilizer which is developed by original design). It is proposed to carry out a discrete receiving of information about the height of the wave surface at the points, which are superimposed on a spiral of Archimedes or another curve having circular symmetry. The wave height of the surface at the intermediate points can be determined by using bilinear interpolation. We give these formulas bilinear interpolation in cylindrical coordinates. Physically keep the height of the wave surface at selected points offered in the trivial one-dimensional array, and provides a way to establish a correspondence between the array element number and the point of the wave surface.

Keywords: sea wave surface, data structure, bilinear interpolation, polar coordinate system.