

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-273-3-47-51>

УДК 629.5.015.12

ДОСЛІДЖЕННЯ ХИТАВИЦІ СУДНА В МІЛКОВОДНИХ СТИСНУТИХ ФАРВАТЕРАХ**Дакі О.А., Гімпель Р.М, Ткаченко В.В., Бажак О.В.****RESEARCH ON PITCHING OF SHIP IN SHALLOW NARROW FAIRWAYS****Daki O.A., Gimpel R.M., Tkachenko V.V., Bazhak O.V.**

У статті проведено аналіз існуючих розрахункових методів визначення гідродинамічних характеристик хитавиці судна в умовах стиснутого вертикальними границями фарватеру (у каналі, паралельно причалу). Коректне визначення характеристик хитавиці судна в умовах стиснутого фарватеру дозволить забезпечити безпеку проведення даних робіт та зменшити ймовірність ризику пошкодження суден. З'ясовано, що плавання в умовах фарватеру, обмеженого не тільки по глибині, але і твердими вертикальними границями (як приклад, канал – паралельний причалу), веде до істотної зміни морехідних якостей суден. На відміну від хитавиці судна у необмеженому просторі, кількість робіт, присвячених рішенням завдання гідродинаміки хитавиці суден у рідині з твердими вертикальними границями, є досить обмеженою. Даний факт пов'язаний зі зміною розподілу гідродинамічних тисків на змоченій поверхні судна, внаслідок чого змінюються в кількісному та якісному відношенні сумарні гідродинамічні сили, які діють на судно. Таким чином, удосконалення методів розрахунку хитавиці суден у стиснутих водах (фарватерах) є актуальним завданням, що спрямоване на забезпечення безпеки руху. Зменшення відстані між судном та вертикальною стінкою призводить до значного збільшення коефіцієнтів приєднаних мас та демпфування, зміни знака приєднаних мас та зсуву максимальних значень коефіцієнтів в область високих частот незалежно від глибини фарватеру, а в свою чергу зменшення відносної глибини при постійній відстані до стінки приводить до збільшення значень коефіцієнтів приєднаних мас, демпфування збурюючих сил та зрушення їх максимальних значень в область низьких частот. Доведена необхідність розробки тривимірного чисельного методу для розв'язання даної задачі. Розв'язано просторову потенційну задачу про хитавицю судна на мілководді паралельно вертикальній стінці. Розроблено чисельний розрахунковий метод. Проведено аналіз існуючих розрахункових методів визначення гідродинамічних характеристик хитавиці судна в умовах стиснутого вертикальними границями фарватеру (у каналі, паралельно причалу). Показано необхідність розробки тривимірного чисельного методу для розв'язання даної задачі. Розв'язано просторову потенційну задачу про хитавицю судна на мілководді паралельно вертикальній стінці. Розроблено чисельний розрахунковий метод.

Ключові слова: безпека руху, гідродинамічні характеристики, стиснутий фарватер, хитавиця.

Вступ. Незважаючи на стрімкий розвиток водного транспорту та удосконалення моделей і методів забезпечення навігаційної безпеки плавання, наразі час існує низка проблем, пов'язаних з визначенням гідродинамічних характеристик судна та амплітуд його хитавиці в умовах руху у стиснутому фарватері.

Зростання перевезень у прибережних районах моря та у мілководних акваторіях, вантажні операції, які проводяться біля причальних комплексів у портах в умовах морського хвилювання, забезпечення ефективного швартування крупнотонажних суден пов'язане з ризиком пошкодження судна і навіть причального комплексу. Коректне визначення характеристик хитавиці судна в умовах стиснутого фарватеру дозволить забезпечити безпеку проведення даних робіт та зменшити ймовірність ризику пошкодження суден.

Плавання в умовах фарватеру, обмеженого не тільки по глибині, але і твердими вертикальними границями (як приклад, канал – паралельний причалу), веде до істотної зміни морехідних якостей суден. Даний факт пов'язаний зі зміною розподілу гідродинамічних тисків на змоченій поверхні судна, внаслідок чого змінюються в кількісному та якісному відношенні сумарні гідродинамічні сили, які діють на судно.

Таким чином, удосконалення методів розрахунку хитавиці суден у стиснутих водах (фарватерах) є актуальним завданням, що спрямоване на забезпечення безпеки руху.

Метою роботи є удосконалення методів розрахунку хитавиці суден у стиснутих водах (фарватерах) для забезпечення безпеки руху.

Постановка проблеми. На відміну від хитавиці судна у необмеженому просторі, кількість робіт, присвячених рішенням завдання гідродинаміки хитавиці суден у рідині з твердими вертикальними границями, є досить обмеженою. Одним з перших подібних досліджень є робота [1], в якій зроблена спроба побудови гідродинамічної теорії хитавиці суден, які рухаються на міліні паралельно або пер-

пендикулярно лінії берега, над істотно нерівним дном або в рідині кінцевої глибини у присутності вертикальної стінки. Розв'язання задачі про хитавицю судна на міліні побудовано у рамках лінійної теорії хвиль у допущенні про відсутність їх відбиття від лінії берега.

У роботі [2] за допомогою методу, вперше наведеного у роботі [3], були проведені систематичні розрахунки приєднаних мас тривісних еліпсоїдів, які рухаються у каналі прямокутного поперечного перерізу. На основі цих розрахунків, результати яких наводилися графічно, був запропонований метод визначення приєднаних мас річкових суден.

Капустянський С.М. і Марченко Д.В. [4] провели чисельне дослідження залежності приєднаної маси прямокутного понтона у прямокутному каналі. Ними розглядалася приєднана маса λ_{22} . Ширина каналу, віднесена до осідання понтона $l/T=14,8$; відносна глибина каналу $h/T=0,2$; відносна ширина понтона $B/T=4$. У процесі розрахунку змінювалася відстань понтона від стінки каналу.

У роботі [5] проведено теоретичне дослідження зміни осадки судна при його поступальному русі з постійною швидкістю паралельно бровкам морського підхідного каналу. У припущенні про те, що мілководдя є значним, а судно – подовженим, розв'язана крайова задача для потенціалу збурених швидкостей рідини, визначені гідродинамічні вертикальна та поперечна сили, диференуючий момент та момент ристання. Розв'язання задачі здійснене методом зрощених асимптотичних розкладань (ЗАР). Хитавиця судна у даному дослідженні не розглядалася.

Серед закордонних робіт одними з перших у розглянутому напрямку є роботи Fujino M., Bai K.J. У роботі Fujino M. [6] приведені розрахунки приєднаних мас прямокутного понтона поблизу плоских стінок в умовах коливання. Постановка задачі відрізняється граничною умовою на вільній поверхні, де в допущенні досить великої частоти коливань використовується умова: $\varphi = 0$ замість $\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0$. Допустимість зазначеної умови впливає з загальних розуміннь про сталість тисків та малості збурювань вільної поверхні.

Вплив вертикальних стінок на амплітуди позовжньої хитавиці судна, яке рухається в каналі, вперше було доведено до чисельних результатів у роботі Nanaoka [7]. У ній розроблено метод розрахунку сил, які діють на судно при хитавиці в каналі нескінченної глибини, заснований на застосуванні моделі тонкого судна типу Мітчела та методу дзеркальних відображень. Наведено результати розрахунків збурюючих сил і моментів, а також амплітуд вертикальної та кільової хитавиці.

У роботі Оортмерссена [8] також показана можливість розв'язання тривимірної задачі про хитавицю судна на мілководді поблизу вертикальної перешкоди, наприклад причалу.

У роботі Sawagari, Kubo [9], [10] розглянуте завдання про коливання заякореного судна, розташованого паралельно вертикальній стінці, що імітує

набережну, та задача про коливання судна, розташованого між трьома вертикальними стінками, які імітують зону в гавані між двома причалами і набережною. Метод рішення заснований на використанні тривимірної функції Гріна та методу дзеркальних відображень.

Таким чином, проведений аналіз існуючих робіт показав, з одного боку, значний вплив вертикальних стінок на гідродинамічні коефіцієнти приєднаних мас та демпфірування збурюючих сил, амплітуди хитавиці та сили хвильового дрейфу. З іншого боку, всі розглянуті роботи обмежені або об'єктами дослідження, або обсягом проведених чисельних розрахунків та досліджень.

Результати дослідження. Розглянемо загальну постановку задачі про хитавицю судна на мілководді поблизу вертикальної стінки, в якості якої може виступати набережна або причал. Вважаємо, що судно, яке представляє собою абсолютно тверде тіло із шістьма ступенями волі, рухається з постійними швидкістю U та курсовим кутом β по відношенню до набігаючого регулярного хвилювання у рідині обмеженої глибини паралельно вертикальній перешкоді (рис. 1). Вважаємо рідину ідеальною, важкою, її збурений рух – безвихровим, а систему вільних набігаючих хвиль – заданою. Урахування в'язкості здійснюється наближено за результатами даних модельних експериментів.

Використовуємо три системи координат, наведених на рис. 1.

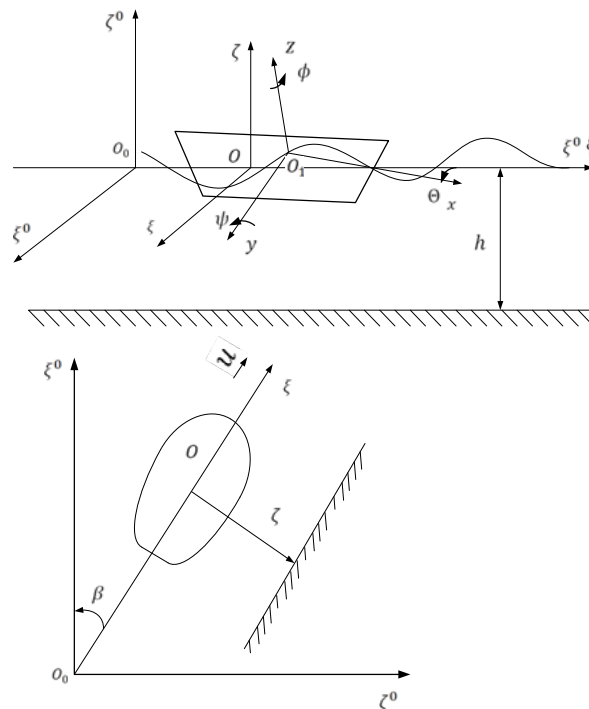


Рис. 1. Введені системи координат

Нерухома система $O\xi^0\eta^0\zeta^0$ співпадає з незбуреною вільною поверхнею рідини. Вісь $O\xi^0$ спрямована вертикально вгору.

Для опису поверхні корпусу судна слугує рухома система координат O_1xyz , площина O_1xz якої співпадає з діаметральною площиною, а вісь O_1z проходить через центр ваги G судна.

Для характеристики коливання судна та рідини по відношенню до поступального руху в горизонтальній площині використовується третя система координат $O\xi\eta\zeta$, яка завжди співпадає з площиною $O\xi^0\eta^0$. Дана система рухається зі швидкістю судна U . У положенні рівноваги судна рухомі системи O_1xyz та $O\xi\eta\zeta$ співпадають.

З метою визначення їх взаємного розташування у довільний момент часу в теорії хитавиці традиційно використовується так звана корабельна система ейлерових кутів, запропонована А.Н. Криловим [11].

Тоді формули переходу від однієї рухомої системи координат до іншої нерухомої будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned}\xi &= \xi_g + x \cdot \cos\psi \cdot \cos\phi + y(\sin\theta\cos\phi\sin\psi - \cos\theta\sin\phi) + (z - z_p) \times \\ &\times (\cos\theta\cos\phi\sin\psi + \sin\theta\sin\phi) \\ \eta &= \eta_g + x \cdot \cos\psi \cdot \cos\phi + y(\sin\theta\cos\phi\sin\psi - \cos\theta\sin\phi) + (z - z_p) \times \\ &\times (\cos\theta\cos\phi\sin\psi + \sin\theta\sin\phi) \\ \zeta &= \zeta_g - x\sin\psi + y\sin\theta\cos\psi + (z - z_p)\cos\theta\cos\psi;\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}x &= (\xi - \xi_g)\cos\phi\cos\psi + (\eta - \eta_g)\sin\phi\cos\psi - (\zeta - \zeta_g)\sin\psi \\ y &= (\xi - \xi_g)(\sin\theta\cos\phi\sin\psi - \cos\theta\sin\phi) + \\ &+ (\eta - \eta_g)(\cos\theta\cos\phi\sin\psi + \sin\theta\sin\phi) + (\zeta - \zeta_g)\sin\theta\cos\psi \\ z &= z_p + (\xi - \xi_g)(\cos\theta\cos\phi\sin\psi - \sin\theta\sin\phi) + \\ &+ (\eta - \eta_g)(\cos\theta\sin\phi\sin\psi + \sin\theta\cos\phi) - (\zeta - \zeta_g)\cos\theta\cos\psi.\end{aligned}\quad (2)$$

У формулах (1) та (2) ξ_g , η_g та ζ_g – повздовжно-горизонтальна, поперечно-горизонтальна та вертикальні координати центру ваги судна у системі координат $O\xi\eta\zeta$; $z_p = T - z_g$ – апліката центру ваги в системі координат O_1xyz .

Відповідно до прийнятих систем координат, положення судна на хитавиці в довільний момент часу визначається координатами його центру ваги ξ_g , η_g , ζ_g та трьома кутами: θ , ψ , ϕ , які і необхідно знайти для розв'язання поставленої задачі. При цьому за позитивні напрями відліку приймемо: θ – правий борт; ψ – корма; ϕ – проти годинникової стрілки.

Для визначення перерахованих елементів руху судна необхідно спочатку визначити гідродинамічні сили, які діють з боку рідини на судно, а потім скласти та розв'язати відповідні диференціальні рівняння руху.

Відомо, що універсальною характеристикою безвихрового руху рідини є потенціал швидкості. Знаючи потенціал, можна визначити діючі на корабель гідродинамічні сили та розрахувати кінематичні характеристики його хитавиці.

Таким чином, задача зводиться до визначення потенціалу швидкості.

Сформулюємо загальну крайову задачу для потенціалу швидкості руху рідини $\Phi(\xi, \eta, \zeta, t)$ у рухомій системі координат $O\xi\eta\zeta$, в якій і описується хитавиця судна як твердого тіла.

Потенціал швидкості абсолютного руху рідини $\Phi(\xi, \eta, \zeta, t)$ повинен задовольняти рівнянню Лапласа в області, зайнятою рідиною:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \zeta^2} = 0, \quad (3)$$

а також граничним умовам на вільній поверхні рідини, на змоченій поверхні судна та на вертикальній стінці.

На вільній поверхні рідини функція Φ повинна задовольняти об'єднаним динамічним та кінематичним граничним умовам:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + 2U \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t \partial \xi} + U^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \xi^2} - g \frac{\partial \Phi}{\partial \zeta} = 0, \quad \zeta = 0. \quad (4)$$

Кінематична гранична умова на поверхні судна має такий вигляд:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = V_n(M, t), \quad (5)$$

$$V_n(M, t) = \vec{V}_0 \times \vec{N} + (\vec{R}_0 \times \vec{N}) \cdot \vec{\omega}, \quad (6)$$

де \vec{V}_0 – вектор швидкості точки G ; $\vec{\omega}$ – вектор миттєвої кутової швидкості; \vec{R}_0 – радіус-вектор точки; \vec{N} – вектор зовнішньої нормалі до змоченої поверхні в системі $O\xi\eta\zeta$.

Дана умова повинна виконуватися при рівноважному положенні судна, коли обидві рухомі системи координат збігаються.

У проекції на осі першої рухомої системи умова (5) приймає вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi}{\partial n} &= U_1 \cos(n, \xi) \\ &+ U_2 \cos(n, \eta) \\ &+ U_3 \cos(n, \zeta) \\ &+ U_4 [\cos(n, \zeta) - \zeta \cos(n, \eta)] \\ &+ U_5 [\cos(n, \xi) - \xi \cos(n, \zeta)] \\ &+ U_6 [\cos(n, \eta) - \eta \cos(n, \xi)],\end{aligned}\quad (7)$$

де $U_1 = V_{0\xi}$; $U_2 = V_{0\eta}$; $U_3 = V_{0\zeta}$; $U_4 = \omega_\xi$; $U_5 = \omega_\eta$; $U_6 = \omega_\zeta$

Динамічна гранична умова на поверхні судна під дією хитавиці формулюється, виходячи з принципу динамічної рівноваги, діючих на судно сил та моментів у кожен момент часу:

$$\sum_i P_i = 0; \sum_i M_i = 0; \quad (8)$$

де P_i та M_i – складові головного вектора та головного моменту сил.

Граничні умови на вертикальній стінці та на дні водойми будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} &= 0; \quad \eta \rightarrow H_q; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \zeta} &= 0; \quad \zeta \rightarrow -h\end{aligned}\quad (9)$$

У відповідності до лінійної теорії хитавиці судна, потенціал можна представити у виді такої суперпозиції [4]

$$\Phi = \Phi_0(\xi, \eta, \zeta, t) + \Phi_1(\xi, \eta, \zeta, t) + \Phi_R(\xi, \eta, \zeta, t), \quad (10)$$

де $\Phi_0 = \varphi_0(\xi, \eta, \zeta) \cdot e^{-i\omega t}$ – потенціал набігаючої хвилі.

Для випадку рідини кінцевої глибини:

$$\varphi_0 = -i \frac{g}{\omega} \zeta_w \frac{\cosh \mu_0(\zeta + h)}{\cosh \mu_0 h} e^{i\mu_0(\xi \cos \beta + \eta \sin \beta)}. \quad (11)$$

У формулі (11) μ_0 визначається з дисперсійного співвідношення:

$$\frac{w^2}{g} = -\mu_0 \tanh \mu_0 h. \quad (12)$$

Φ_1 – потенціал дефрагованого руху рідини. Як і потенціал набігаючої хвилі, Φ_1 може бути представлений у такому вигляді:

$$\Phi_1 = \varphi_1(\xi, \eta, \zeta) \cdot e^{-i\omega t}. \quad (13)$$

Φ_R – потенціал швидкості збуреного руху рідини, обумовленого поступальними та обертальними коливаннями судна як твердого тіла на поверхні спокійної води:

$$\Phi_R = \sum_{j=1}^6 U_j \varphi_j. \quad (14)$$

З урахуванням формули (10), кінематичні граничні умови на поверхні судна для функцій Φ_1 та Φ_R будуть мати вигляд:

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial n} = -\frac{\partial \Phi_0}{\partial n}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = \cos(n, \xi); \quad \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} = \cos(n, \eta); \quad (16)$$

$$\frac{\partial \varphi_3}{\partial n} = \cos(n, \zeta);$$

$$\frac{\partial \varphi_4}{\partial n} = \eta \cos(n, \xi) - \zeta \cos(n, \eta);$$

$$\frac{\partial \varphi_5}{\partial n} = \zeta \cos(n, \xi) - \xi \cos(n, \zeta);$$

$$\frac{\partial \varphi_6}{\partial n} = \xi \cos(n, \eta) - \eta \cos(n, \xi).$$

Таким чином, поставлена задача зводиться до послідовного визначення потенціалів φ_i , обумовлених коливаннями судна та потенціалу дефрагованої хитавиці.

Для розв'язання сформульованої тривимірної задачі використовується теорема Гріна та метод дзеркальних відображень. Змочена поверхня судна представляється як сукупність плоских елементів або панелей. На даний час опис корпусу судна здійснюється звичайно за допомогою прямокутних або трикутних панелей або їх комбінації. У даній роботі обрана апроксимація трикутними панелями, яка забезпечує кращим чином нерозривність поверхні судна через ефективне стикування окремих елементів між собою.

З використанням розроблених моделей створена комп'ютерна програма та проведено моделювання.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено наступне.

Зменшення відстані між судном та вертикальною стінкою призводить до значного збільшення коефіцієнтів приєднаних мас та демпфування, зміні знака приєднаних мас та зсуву максимальних значень коефіцієнтів в область високих частот незалежно від глибини фарватеру.

Наявність вертикальної стінки приводить до взаємодії всіх шести видів хитавиці судна між собою та необхідності розрахунку всієї матриці коефіцієнтів приєднаних мас й демпфування. Дана взаємодія збільшується по мірі наближення до стінки.

Для збурюючих сил характерне значне збільшення значень при наближенні до вертикальної стінки зі зрушенням максимумів в область великих значень частот.

На зустрічному хвилюванні має місце ефект притягання судна стінкою, що проявляється у виникненні поперечної складової збурюючої сили, а також моментів крену та розгортання, які відсутні без урахування стінки.

Зменшення відносної глибини при постійній відстані до стінки приводить до збільшення значень коефіцієнтів приєднаних мас, демпфірування збурюючих сил та зрушення їх максимальних значень в область низьких частот.

Проведено аналіз існуючих розрахункових методів визначення гідродинамічних характеристик хитавиці судна в умовах стиснутого вертикальними границями фарватеру (у каналі, паралельно причалу). Показано необхідність розробки тривимірного чисельного методу для розв'язання даної задачі. Розв'язано просторову потенційну задачу про хитавицю судна на мілководді паралельно вертикальній стінці. Розроблено чисельний розрахунковий метод.

Література

1. Степанов В.А. Гидродинамика качки судов в жидкости с твердыми границами: дис. ... д-ра техн. наук. / НКИ. Одесса, 1972. 388 с.
2. Воробьев П.С., Павленко В.Г., Рудин С.И. Анализ и метод определения коэффициентов присоединенной инерции, используемых в расчетах управляемости судов на ограниченной глубине. *Труды НИИВТ*. Новосибирск, 1970, С.3–51.

3. Блох Э.Л., Гиневский А.С. О движении системы тел в идеальной жидкости. *Труды НТО суд. пром.* 1963. Вып. 47. с. 441.
4. Капустянский С.М., Марченко Д.В. Теоретические рекомендации по определению присоединенных масс воды при движении судов по каналу. *Труды ЛПИ.* 1976. Вып. 346. С. 63–67.
5. Воробьев Ю.Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере. С.Пб.: Судостроение, 1992. 224 с.
6. Fujino M. The effects of the restricted waters on the added mass of a rectangular cylinder. *The 11-th Symposium on Naval Hydrodynamics.* London-New-York. 1976. pp. 655–670.
7. Hanaoka T. On the side-wall effects on the ship motions among waves in a canal. *J.S.N.A. of Japan.* vol. 102. 1958.
8. Oortmerssen G. The motions of a moored ship in waves. *Netherlands Ship Model Basin. Wageningen.* The Netherlands. N. 510. 1976.
9. Sawaragi T., Kubo M. The motions of a moored ship in a harbor basin. *Coastal engineering.* N 18. 1982. pp. 2743–2753.
10. Sawaragi T., Kubo M. Computation on wave height distribution in a slip by the method of images. *The Journal of Japan Institute of navigation.* vol. 65. 1981. pp. 107–113.

References

1. Stepanov, V.A. (1972). *Hydrodynamika kachky sudov v zhydkosti s tverdymy hranytsamy* [Hydrodynamics of the pitching of ships in a liquid with solid boundaries]. *Doctor's thesis.* Odessa. [in Russian]
2. Vorobev, P.S., & Pavlenko, V.H., Rudyn S.Y. (1970). *Analiz y metod opredeleniya koeffitsyentov prysoedynennoy ynerstyy, yspolzuemykh v raschetakh upravliaemosty sudov na ohranenchonoi holubynе* [Analysis and method for determining the coefficients of added inertia used in the calculations of the controllability of ships on a limited pigeon]. *Trudy NYYVTa.* Novosybyrsk, pp. 3–51. [in Russian]
3. Blokh, E. L., & Hynevskiy, A. S. (1963). *O dvyzheniy systemy tel v ydealnoi zhydkosti* [On the motion of a system of bodies in an ideal fluid]. *Trudy NTO sud. prom.* Vol. 47. [in Russian]
4. Kapustianskyi, S.M., & Marchenko, D.V. (1976). *Teoretycheskiye rekomendatsyy po opredeleniyu prysoedynennykh mass vody pry dvyzheniy sudov po kanalu* [Theoretical recommendations for determining the added masses of water during the movement of vessels along the canal]. *Trudy LPY.* Vyp. 346. pp. 63–67. [in Russian]
5. Vorobely, Yu.L. (1992). *Hydrodynamika sudna v stesennom farvatere* [Hydrodynamics of a vessel in a confined fairway]. S.Pb.: Sudostroeniye. [in Russian]
6. Fujino, M. (1976). The effects of the restricted waters on the added mass of a rectangular cylinder. *The 11-th Symposium on Naval Hydrodynamics.* London-New-York. pp. 655–670.
7. Hanaoka, T. (1958) On the side-wall effects on the ship motions among waves in a canal. *J.S.N.A. of Japan.* vol. 102.
8. Oortmerssen, G. (1976). The motions of a moored ship in waves. *Netherlands Ship Model Basin. Wageningen.* The Netherlands. N. 510.
9. Sawaragi, T., & Kubo, M. (1982) The motions of a moored ship in a harbor basin. *Coastal engineering.* N 18. pp. 2743 – 2753.
10. Sawaragi, T., & Kubo, M. (1981) Computation on wave height distribution in a slip by the method of images. *The Journal of Japan Institute of navigation.* vol. 65. pp. 107 – 113.

Daki O.A., Gimpel R.M., Tkachenko V.V., Bazhak O.V. Research on pitching of ship in shallow narrow fairways

The article analyzes the existing calculation methods for determining the hydrodynamic characteristics of the ship's wobble in conditions compressed by the vertical boundaries of the fairway (in the channel, parallel to the berth). Correct determination of the characteristics of the ship's wobble in the conditions of a compressed fairway will ensure the safety of these works and reduce the likelihood of damage to ships. It has been found that sailing in fairway conditions, limited not only by depth but also by rigid vertical boundaries (for example, a canal parallel to the berth), leads to a significant change in the seaworthiness of vessels. In contrast to the rocking of a ship in unlimited space, the amount of work devoted to solving the problem of hydrodynamics of rocking ships in a liquid with rigid vertical boundaries is quite limited. This fact is due to the change in the distribution of hydrodynamic pressures on the wet surface of the vessel, resulting in changes in quantitative and qualitative ratio of the total hydrodynamic forces acting on the vessel. Thus, the improvement of methods for calculating the rocking of ships in compressed waters (fairways) is an urgent task aimed at ensuring traffic safety. Decreasing the distance between the vessel and the vertical wall leads to a significant increase in the coefficients of attached masses and damping, changing the sign of the attached masses and shifting the maximum values in the high frequencies regardless of the depth of the fairway, and in turn values of the coefficients of the connected masses, damping of perturbing forces and shifting of their maximum values in the low frequency range. The necessity of developing a three-dimensional numerical method for solving this problem is proved. The spatial potential problem of the ship's rocking in shallow water parallel to the vertical wall has been solved. A numerical calculation method has been developed. The analysis of the existing calculation methods for determining the hydrodynamic characteristics of the ship's wobble in the conditions of the fairway compressed by the vertical boundaries (in the channel, parallel to the berth) is carried out. The necessity of developing a three-dimensional numerical method for solving this problem is shown. The spatial potential problem of the ship's rocking in shallow water parallel to the vertical wall has been solved. A numerical calculation method has been developed.

Keywords: traffic safety, hydrodynamic characteristics, narrow fairway, pitching.

Дакі Олена Анатоліївна – д.т.н., проф., директор Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), daki-olena@ukr.net

Гімпель Роман Михайлович – к.т.н., доц., доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), roma.gimpel@gmail.com

Ткаченко Віталій Володимирович – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), vvt1960@gmail.com

Бажак Ольга Валеріївна – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті, Дунайський інститут водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Ізмаїл), olyabazhak@gmail.com