

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОСТІЙНОСТІ
ОДНОЯРУСНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ХАУСБОТУ

Г.В. Коновалова¹, О.В. Щедролосєв², С.В. Терлич³

¹здобувач PhD,

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна
ORCID ID: 0000-0003-1215-849X

²д. т. н., професор, завідувач кафедри «Суднобудування та ремонт суден»,

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова (Херсонський навчально-науковий інститут),
Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7972-3882

³к. т. н., доцент кафедри «Суднобудування та ремонт суден»,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Херсонський навчально-науковий інститут), Херсон, Україна

ORCID ID: 0000-0002-6044-3087

Анотація

Вступ. У зв'язку зі збільшенням популярності будівництва плавучих будинків (хаусботів) виникає необхідність розроблення методик забезпечення їх безпечної експлуатації. Хаусботи, згідно із класифікацією Регістру судноплавства України, належать до стоїчних суден навіть за наявності енергетичної установки. Для безаварійної експлуатації таких плавучих споруд необхідним є забезпечення остійності, враховуючи їх малу осадку у разі відносно великої вітрильності та, як правило, недостатньої надійності якірних та/або швартовних пристроїв. **Метою дослідження** є отримання математичних залежностей для визначення параметрів остійності (центру величини, поперечного та поздовжнього метацентрів для трьохпоплавкового понтону самохідного хаусботу). **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Теоретичною базою є наукові роботи в галузі проектування та конструювання хаусботів, дебаркадерів, понтонів, нормативно-правова база Регістру судноплавства України, а також дослідження щодо модульного формування та конструктивно-технологічних рішень плавучих та берегових споруд. **Методи дослідження.** Для розрахунку плечей статичної остійності використано два основні методи теорії корабля: рівнооб'ємних нахилень та обертання відносно нерухомої вісі. Спосіб рівнооб'ємних нахилень передбачає проведення допоміжних ватерліній, які наближено відсікають постійний об'єм підводної частини понтону. Недоліком такого методу є необхідність дублюючих обчислень для діючої та допоміжної ватерлінії, у зв'язку із чим виникає можливість накопичення похибок. **Резюме.** Вперше розроблено методичні рекомендації розрахунку остійності плавучих будинків на прикладі одноярусного контейнерного хаусботу. Запропоновані авторами математичні залежності та графічні пояснення до них дозволяють визначити параметри діаграми Ріда для різних розмірів

понтону, його осадки та значень статей навантаження у разі мінімальної кількості вихідних даних.

Ключові слова: плавучі будинки, морехідні якості, остійність.

THE CALCULATION OF STABILITY PARAMETERS OF A LOW-TIER CONTAINER HOUSEBOAT

H.V. Konovalova¹, O.V. Shchedrolosiev², S.V. Terlych³

¹Postgraduate Student,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1215-849X

²DSc in Engineering, Professor,

head of the Department “Shipbuilding & Ship Repair”,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Kherson Educational and Scientific Institute), Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-7972-3882

³PhD in Engineering, Associate Professor of the Department, “Shipbuilding & Ship Repair”
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Kherson Educational and Scientific Institute), Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-2627-9463

Summary

Introduction. Due to the increasing popularity of the construction of houseboats (houseboats), there is a need to develop methods to ensure their safe operation. Houseboats, according to the classification of the Register of Shipping of Ukraine, are stoic vessels even in the presence of a power plant. For trouble-free operation of such floating structures, it is necessary to ensure stability, given their low draft at relatively high vitality and, as a rule, insufficient reliability of anchor and/or mooring devices. **The aim of the research** is to obtain mathematical dependences for determining the stability parameters (center of buoyancy, transverse and longitudinal metacenters for a three-float pontoon of a self-propelled houseboat). **Analysis of recent research and publications.** The theoretical basis is scientific work in the field of design and construction of houseboats, landing stages, pontoons, regulatory framework of the Register of Shipping of Ukraine, as well as research on modular formation and design and technological solutions of floating and shore structures. **Research methods.** Two basic methods of ship theory have been used to calculate static stability: tilting and rotating relative to a fixed axis. The method of equal-volume inclination involves the conduct of auxiliary waterlines, which approximately cut off the constant volume of the underwater part of the pontoon. The disadvantage of this method is the need for duplicate calculations for the current and auxiliary waterline, which leads to the possibility of accumulating errors. **Resume.** Methodical recommendations for calculating the stability of houseboats on the example of a single-tier container houseboat have been developed. The proposed mathematical dependences and graphical explanations to them allow to determine the parameters of the Reed diagram for different sizes of the pontoon, its draft and values of load articles with a minimum amount of initial data.

Key words: houseboats, seaworthiness, stability.

Вступ. У зв'язку зі збільшенням популярності будівництва плавучих будинків (хаусботів) виникає необхідність розроблення методик забезпечення їхньої безпечної експлуатації [1; 2]. Хаусботи, згідно із класифікацією Регістру судноплавства України [3], належать до стоїчних суден навіть за наявності енергетичної установки. Для безаварійної експлуатації таких плавучих споруд необхідним є забезпечення остійності, з огляду на їх малу осадку у разі відносно великої вітрильності та, як правило, недостатньої надійності якірного та/або швартовного пристроїв [2]. Згідно з термінологією теорії корабля, остійність – це здатність судна зберігати статичну рівновагу як у разі наявності, так і у разі відсутності будь-якої зовнішньої дії (пориву вітру, скупчення людей з одного борту, наявності хвиль тощо) [4]. Остійність хаусботу, експлуатація якого передбачена у прибережних водах, оцінено за критеріями вітростійкості. Як приклад прийнято одноярусний контейнерний хаусбот, ескізний проєкт якого розроблено авторами; його характеристики та 3D-зображення наведено у роботі [1].

Метою дослідження є отримання математичних залежностей для визначення параметрів остійності (центру величини, поперечного та поздовжнього метацентрів для трьохпоплавкового понтону самохідного хаусботу).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичною базою є наукові роботи в галузі проєктування та конструювання хаусботів, дебаркадерів, понтонів, нормативно-правова база Регістру судноплавства України, а також дослідження щодо модульного формування та конструктивно-технологічних рішень плавучих та берегових споруд. У дослідженні прийнято до уваги розробки М. В. Савицького та С. Є. Шехоркіної [1], які відображають конструктивні задачі позиціонування хаусботів за допомогою якірних стійок, які водночас контролюють посадку плавучого будинку під час значних приливів та відливів, характерні для нижньої течії Дніпра та Дунаю. Архітектурі та конструюванню плавучих річкових вокзалів та павільйонів присвячено праці С. В. Черданцева [2], М. С. Єленського, Б. В. Іонова, Ю. А. Кочнева, Р. Я. Хігера [4; 5; 6]. Практично відсутні вимоги до морехідності та остійності хаусботів у національних класифікаційних товариствах [3]. Архітектурі малоповерхових будівель на воді присвячено наукові праці І. С. Еконномова, А. В. Панфілової, В. Є. Баришева. В них розглянуті актуальні питання технологій формування плавучих споруд у різних умовах. Питання залізобетонного суднобудування висвітлені у працях М. Г. Слущького, О. С. Рашковського, О. В. Щедролоєва, В. М. Коннова, Жукова В. Я., О. М. Поступальського [7; 8]. Також у дослідженні використано результати авторських розробок [9; 10].

Постановка задачі. Критерій вітростійкості характеризується оцінюванням потенційної можливості судна протидіяти зовнішнім вітровим навантаженням, тобто

$$M_{KP} \leq [M] = \nabla \cdot \gamma \cdot l_{\max}, \quad (1)$$

де M_{KP} – момент, що кренить від вітрового навантаження, т·м (розраховується згідно з методами теорії корабля); $[M]$ – максимально допустимий момент, що кренить, т·м (визначається за методиками [3]); ∇ – об'ємна водотоннажність, м³; γ – питома вага заборотної води, т/м³; l_{\max} – максимальне плече діаграми Ріда, м. Максимально допустимий момент $[M]$ визначається за діаграмою динамічної остійності (графік залежності плеча відновлюючого моменту у разі

$$y = T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f), \quad (3)$$

де $\operatorname{tg}\theta$ – кутовий коефіцієнт, який дорівнює тангенсу крену хаусботу; T – осадка понтону, м; Y_f – ордината центру тяжіння ватерлінії (вісі обертання), м.

Центр тяжіння площинної фігури, яка обмежена графіками прямих, можна визначити за залежностями [6]:

$$x_c = \frac{M_y}{S}; \quad y_c = \frac{M_x}{S}, \quad (4)$$

де M_x та M_y – статичні моменти відносно вісей x та y , т·м; S – площа зануреної частини мідель-шпангоута, м².

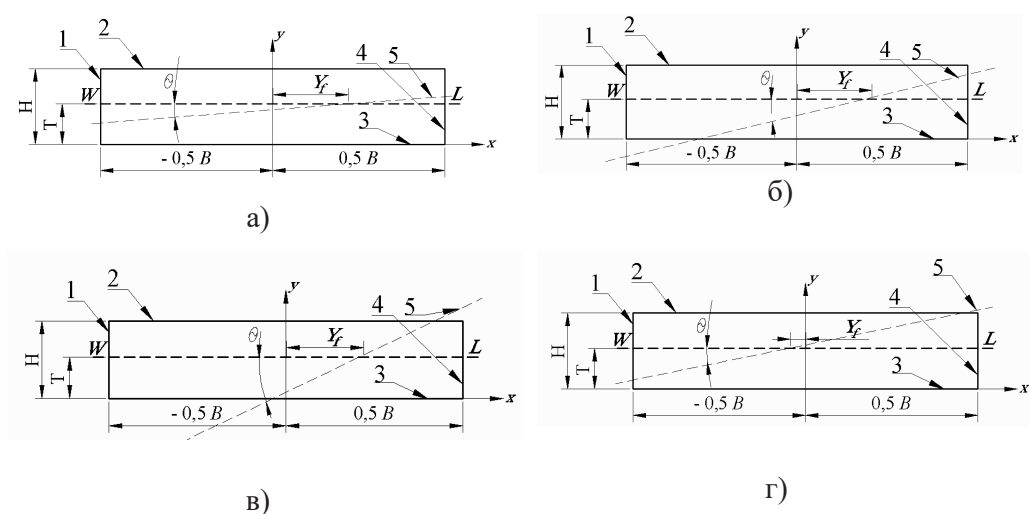


Рис. 2. Розрахункові випадки визначення параметрів остійності хаусботу

Свою чергою статичні моменти та площу поперечного перетину (мідель-шпангоуту) можна визначити методами інтегрального обчислення [7]

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{1}{2} \int_a^b [f_2(x)^2 - f_1(x)^2] dx; \\ M_y &= \int_a^b x [f_2(x) - f_1(x)] dx; \\ S &= \int_a^b [f_2(x) - f_1(x)] dx. \end{aligned} \quad (5)$$

де $f_1(x)$ та $f_2(x)$ – прямі, які обмежують площинну фігуру; a та b – межі інтегрування. Точка перетину ватерлінії із верхньою та нижньою межами поперечного перетину понтону можна визначити через тангенс кута крену хаусботу виходячи зі схем, наведених на рис. 2:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}, \quad \operatorname{tg}\theta = \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}. \quad (6)$$

Отримані залежності для визначення статичних моментів та площ поперечного перетину мідель-шпангоуту представлено у табл. 1.

За отриманими залежностями у режимі MathCAD виконано розрахунки параметрів статичної остійності для одноярусного хаусботу контейнерного типу [1], результати яких наведено на рис. 3.

Таблиця 1

**Значення статичних моментів та площі мідель-шпангоуту
залежно від розташування ватерлінії**

Умова	Статичні моменти	Площа перетину
Схема а)		
$\operatorname{tg}\theta \leq \frac{H-T}{\frac{B}{2}+Y_f}$, $\operatorname{tg}\theta \leq \frac{T}{\frac{B}{2}+Y_f}$	$M_x = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} x \cdot [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx$; $M_y = \frac{1}{2} \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)]^2 dx$.	$S = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx$.
Схема б)		
$\operatorname{tg}\theta \leq \frac{H-T}{\frac{B}{2}+Y_f}$, $\operatorname{tg}\theta > \frac{T}{\frac{B}{2}+Y_f}$	$M_x = \int_a^{\frac{B}{2}} x \cdot [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx$; $M_y = \frac{1}{2} \int_a^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)]^2 dx$.	$S = \int_a^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx$.
Схема в)		
$\operatorname{tg}\theta > \frac{H-T}{\frac{B}{2}+Y_f}$, $\operatorname{tg}\theta > \frac{T}{\frac{B}{2}+Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \left(\int_a^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)]^2 dx + \int_b^{\frac{B}{2}} H^2 dx \right)$; $M_y = \int_a^b x \cdot [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx + \int_b^{\frac{B}{2}} x \cdot H dx$.	$S = \int_a^b [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx + \int_b^{\frac{B}{2}} H dx$.
Схема г)		
$\operatorname{tg}\theta \leq \frac{H-T}{\frac{B}{2}+Y_f}$, $\operatorname{tg}\theta > \frac{T}{\frac{B}{2}+Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \left(\int_{-\frac{B}{2}}^b [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)]^2 dx + \int_b^{\frac{B}{2}} H^2 dx \right)$; $M_y = \int_{-\frac{B}{2}}^b x \cdot [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx + \int_b^{\frac{B}{2}} x \cdot H dx$.	$S = \int_{-\frac{B}{2}}^b [T + \operatorname{tg}\theta(x - Y_f)] dx + \int_b^{\frac{B}{2}} H dx$.

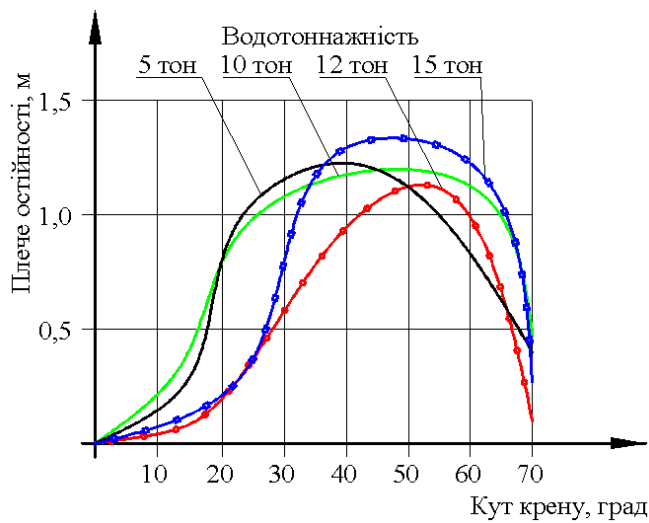


Рис. 3. Залежність плеча остійності від водотоннажності та кута крену

Висновки. Вперше розроблено методичні рекомендації розрахунку остійності плавучих будинків на прикладі одноярусного контейнерного хаусботу. Запропоновані авторами математичні залежності та графічні пояснення до них дозволяють визначити параметри діаграми Ріда для різних розмірів понтону, його осадки та значень статей навантаження за мінімальною кількістю вихідних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shekhorkina S. Residential house on floating platform with mooring system of reinforced concrete pillars. *Construction, materials science, mechanical engineering*. No. 81. 2015. P. 229–234.
2. Черданцев С. В., Черданцев Н. В. Плавучесть и остойчивость понтонов в зумпфах угольных разрезов Кузбасса (обзор журнальных статей). *Вестник НЦ ВостНИИ*. № 2. 2018. С. 52–65.
3. Правила класифікації суден внутрішнього плавання. Том 3. Київ. РСУ. 2019. 535 с.
4. Кочнев Ю. А. Диаграмма статической остойчивости судна, находящегося в условиях волнения. *Научные проблемы водного транспорта*. № 66 (1). 2021. С. 36–42. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.159>
5. Будущее строительства: футуристические самообеспечивающиеся плавучие города-небоскребы. URL: <http://ibud.ua/ru/novost/budushcheestroitelstvafuturisticheskiesamoobespechivayushcheesya plavuchiegorodaneboskreb-foto-8868>
6. Шехоркина С. Е., Савицкий Н. В. Конструктивное решение подводной части малоэтажных жилых зданий на воде. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения»*. 2014. Вып. 77. С. 228–232. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2014_77_43

7. Жуйков В. Я., Ромашко В. Я., Вербицкий С. В. Эффективность расчета багатоступінчатого процесу з використанням функцій вільного режиму в середовищі MathLab. *Технічна термодинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»*. 2009. Ч. 2. С. 78–81.
8. Rashkovskiy S. A., Krupkin V. G., Marshakov V. N. Non-one-dimensional combustion modes of solid homogeneous energetic materials – an overview. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, 2021. No. 20(4). Pp. 13–32. DOI: 10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.2021038575
9. Щедролоєв О. В., Терлич С. В., Коновалова Г. В., Щедролоєв М. О. Дослідження ходових якостей плавучого будинку. Матеріали 10-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». Херсон. 2019. С. 238–240.
10. Коновалова Г. В., Щедролоєв О. В., Терлич С. В. Сучасні технології транспортування та спуску на воду плавучих будинків. *Експлуатація та реконструкція будівель і споруд* : тези доп. IV міжнар. конф. Одеса. ОДАБА. 2021. С. 86–87.

REFERENCES

1. Shekhorkina, S. (2015). Residential house on floating platform with mooring system of reinforced concrete pillars. *Construction, materials science, mechanical engineering*. No. 81. P. 229–234.
2. Cherdantsev, S. V. & Cherdantsev, N. V. (2018). Buoyancy and stability of pontoons in the sump of coal mines of Kuzbass (review of journal articles) [Plavuchest' i ostoychivost' pontonov v zumpfakh ugol'nykh razrezov Kuzbassa (obzor zhurnal'nykh statey)]. *Collection of NTs VostNII*. No. 2. P. 52–65. [in Russian]
3. Rules for the Classification of Internal Navigation Vessels (2019). Volume 3. Kyiv. Register of Shipping. 535 p. [in Ukrainian]
4. Kochnev, Yu. A. (2021). Diagram of static stability of a ship in waves [Diagramma staticheskoy ostoychivosti sudna nakhodyashchegosya v usloviyakh volneniya]. *Scientific problems of water transport*. No. 66 (1). P. 36–42. Retrieved from: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.159> [in Russian]
5. The future of construction: futuristic self-sustaining floating skyscraper cities [Budushcheye stroitel'stva: futuristicheskiye samoobespechivayushchiyesya plavuchiye goroda-neboskreby]. Retrieved from: <http://ibud.ua/ru/novost/budushcheestroitelstvafuturisticheskiesamoobespechivayushcheesya-plavuchiegorodaneboskreb-foto-8868> [in Russian]
6. Shekhorkina, S. Ye. & Savitsky, N. V. (2014). Constructive solution of the underwater part of low-rise residential buildings on the water [Konstruktivnoye resheniye podvodnoy chasti maloetazhnykh zhilykh

- zdaniy na vode]. *Construction. Materials Science. Mechanical engineering. Series "Innovative technologies of the life cycle of objects of housing and civil, industrial and transport purposes"*. Issue 77. P. 228–232. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2014_77_43 [in Russian]
7. Zhuikov, V. Ya., Romashko, V. Ya. & Verbitskiy, Ye. V. (2009). Effectiveness of the development of a wide-ranging process with the vicarious functions of the virtual mode in the middle of MathLab [Efektyvnist rozrakhunku bahatostupinchatoho protsesu z vykorystannyam funktsiy vilnoho rezhymu v seredovyshchi MathLab]. *Technical thermodynamics. Thematic issue "Power Electronics and Energy Efficiency"*. Part 2. P. 78–81. [in Ukrainian]
 8. Rashkovskiy, S. A., Krupkin, V. G. & Marshakov, V. N. (2021). Non-one-dimensional combustion modes of solid homogeneous energetic materials – an overview. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*. 20 (4): 13–32. DOI: 10.1615/IntJEnergeticMaterial sChemProp.2021038575
 9. Konovalova, G. V., Shchedrolosiev, O. V., Terlych, S. V. & Shchedrolosiev, M. O. (2019). Research of running qualities of a houseboat [Doslidzhennya khodovykh yakostey plavuchoho budynku]. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Modern power plants in transport, technologies and equipment for their maintenance". Kherson. P. 238–240. [in Ukrainian]
 10. Konovalova, G. V., Shchedrolosiev, O. V. & Terlych, S. V. Modern technologies of transportation and launching of houseboats [Suchasni tekhnolohiyi transportuvannya ta spusku na vodu plavuchykh budynkiv]. *Operation and reconstruction of buildings and structures: thesis add. IV International conf. Odessa. OSABA*. P. 86–87.