

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МАНЕВРУВАННЯ ПРИ ШЛЮЗУВАННІ СУДНА

І.П. Гончарук¹, А.І. Головань², А.Ю. Піменова³

¹к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²к.т.н., доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

³старший викладач кафедри кримінальне і адміністративне право,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2715-394X

Анотація

Вступ. У статті розглядаються сучасні проблеми безпеки судноплавства, а також проблема дотримання безпеки маневрування при шлюзуванні судна. Досвід судноводіння та експлуатації великогабаритних суден показує, що безпека їх плавання перебуває у тісному зв'язку з характерними особливостями внутрішніх водних шляхів, серед яких слід виділити наявність гідротехнічних споруд, обмеженість габаритів, вплив течії та розвинених вітрохвильових умов. Основний вид аварійності становлять удари та навали суден на причальні стінки, та судна, що стоять біля причальної стінки. Основними причинами високої аварійності є помилки судноводіїв у виборі безпечної швидкості руху та неправильний облік впливу зовнішніх факторів на судно під час виконання маневрів. В даний час відсутні надійні залежності для розрахунку зусиль, що виникають при гідродинамічній взаємодії судна, що рухається, і гідротехнічної споруди, що не дозволяє виробити рекомендації з вибору безпечних швидкостей руху і траверзних відстаней. Існуючі аналітичні залежності щодо визначення безпечної швидкості заходу в камеру шлюзу і, як наслідок, величини осідання судна не відображають повною мірою особливості даного процесу і призводять часом до суттєвих похибок. На даний час не існує достатньо надійного методу визначення елементів маневру ухилення суден при курсових кутах менше 10 градусів, які мають місце у підхідних каналах суднопропускних споруд. Існуюча методика раціонального компонування елементів підхідних каналів не повною мірою враховує особливості руху суден за умов істотного обмеження габаритів суднового ходу. **Метою** статті є питання обґрунтування габаритів підхідних каналів до суднопропускних споруд, що покликані забезпечувати безпечне маневрування суден і знижувати до мінімуму час заходження в камеру та виходу з неї для збільшення пропускної спроможності споруди. **Результати.** Запропоновані заходи та надані рекомендації, щодо вибору найбільш оптимальних, з погляду безпеки, способів виконання маневрування при шлюзуванні судна. **Висновки.** Таким чином, аналіз щодо питання обґрунтування габаритів підхідних каналів до суднопропускних споруд, що покликані

забезпечувати безпечне маневрування суден і знижувати до мінімуму час заходження в камеру та виходу з неї для збільшення їх пропускної спроможності, показав, що вони не повною мірою враховують маневрені якості суден.

Ключові слова: безпека маневрування, судно, гідротехнічні споруди, шлюз, суднопропускні споруди.

IMPROVING THE SAFETY OF MANEUVERING DURING SHIP LOCKING

I.P. Honcharuk¹, A.I. Golovan², A.Y. Pimenova³

¹PhD (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-5306-4206

²PhD (Engineering), Associate Professor of Navigation and Maritime Safety Department,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6589-4381

³Senior Lecturer at the Department of Criminal and Administrative Law,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-2715-394X

Summary

Introduction. The article discusses the current issues of safety of navigation, as well as the problem of compliance with the safety of maneuvering when locking ships. The experience of navigation and operation of large-sized vessels shows that their navigation safety is closely related to the characteristic features of inland waterways, among which are the presence of hydraulic structures, limited dimensions, the influence of currents and developed wind and wave conditions. The main type of accidents is caused by vessel impacts and collisions with berth walls and vessels standing near the berth wall. The main reasons for the high accident rate are mistakes made by navigators in choosing a safe speed and incorrect consideration of the impact of external factors on the vessel during maneuvers. At present, there are no reliable dependencies for calculating the forces arising from the hydrodynamic interaction of a moving vessel and a hydraulic structure, which does not allow developing recommendations for choosing safe speeds and crossing distances. Existing analytical dependencies for determining the safe speed of entry into the lock chamber and, as a result, the amount of ship draft do not fully reflect the peculiarities of this process and sometimes lead to significant errors. At present, there is no sufficiently reliable method for determining the elements of ship evasive maneuvers at heading angles of less than 10 degrees, which occur in the approach channels of ship passage facilities. The existing methodology for the rational layout of approach channel elements does not fully consider the peculiarities of ship traffic under conditions of significant restrictions on the dimensions of the ship's course. **The purpose** of the article is to substantiate the dimensions of approach channels to ship passage facilities designed to ensure safe maneuvering of ships and minimize the time of entry into and exit from the chamber to increase the throughput capacity of the facility. **Results.** Measures and recommendations for choosing the most optimal, from the point of view of safety, ways of maneuvering when locking ships are proposed. **Conclusions.** Thus, the analysis of

the issue of justification of the dimensions of approach channels to ship locks, which are designed to ensure safe maneuvering of ships and minimize the time of entering and leaving the chamber to increase their throughput, showed that they do not fully consider the maneuvering qualities of ships.

Key words: *safety of maneuvering, vessel, hydraulic structures, lock, ship passage facilities.*

Вступ. Досвід судноводіння та експлуатації великогабаритних суден показує, що безпека їх плавання перебуває у тісному зв'язку з характерними особливостями внутрішніх водних шляхів, серед яких слід виділити наявність гідротехнічних споруд, обмеженість габаритів путей, вплив течії та розвинених вітрохвильових явищ, висока інтенсивність руху. У зв'язку з цим основоположним напрямом під час вивчення різних аспектів судноводіння великогабаритних суден є проблема забезпечення безпеки плавання, що передбачає досягнення оптимального співвідношення між габаритами шляху, головними розмірами судна та ефективністю засобів забезпечення керуваності.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення безпеки плавання суден при проходженні гідровузлів в теперішній час має актуальне значення. З погляду забезпечення безпеки плавання суден зони суднопропускних гідротехнічних споруд є одними з найскладніших ділянок водних шляхів. Напруженість роботи судноводія і складність керування судном на цих ділянках зумовлена необхідністю виконання значної кількості різноманітних маневрів в умовах обмеженого шляху під час руху на малих швидкостях ходу. Статистичні дані про стан аварійності показують, що кількість транспортних подій з суднами в зонах суднопропускних гідротехнічних споруд залишається досить високою і становить близько 19% від їх загальної кількості. При цьому основна частина аварій в районах гідровузлів відбувається в підхідних каналах, а також при заході в шлюз (біля 59%) і припадає на частку великогабаритних суден. Більшість транспортних подій є наслідком помилок судноводіїв у виборі безпеки швидкості руху, неврахування особливостей гідродинамічної взаємодії суден, а також вплив зовнішніх факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

При вивченні теоретичних та практичних основ методів підвищення безпеки маневрування при шлюзованні суден встановлено, що ряд актуальних питань з організації їх роботи, аналіз стану та сучасних проблем, залишаються або недостатньо мірою дослідженими, або вимагають уточнення, узагальнення та врахування сучасних вимог щодо організації безпеки маневрування під час проходження гідровузлів. Питання про раціональне компонування підходів до суднопропускних споруд детально розглянуте в роботах [1, 4, 5, 6, 7, 8, 9] та ін. Рекомендації перелічених вище авторів, маючи схожість підходу до розв'язання задачі загалом, розходяться лише в деяких приватних питаннях. Останнім часом спостерігається підкреслене прагнення привести всі водні шляхи до єдиних умов, що забезпечують плавання однотипних суден.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз вибору раціональної схеми компонування гідровузла. Питання обґрунтування габаритів підхідних каналів до суднопропускних споруд, що покликані забезпечувати безпечне маневрування

суден і знижувати до мінімуму час заходження в камеру та виходу з неї для збільшення пропускної спроможності споруди.

Виклад основного матеріалу. Підхідні канали являють собою переважно прямолінійні ділянки з деякими розширеннями, розташовані по обидва боки від шлюзу. У них перебувають судна і склади, що прямують у вільну камеру шлюзу або очікують шлюзування біля причальної стінки. Канали зазвичай захищені від хвилювань на водосховищі та водних течій у річці розділовими стінками, які забезпечують спокійні умови відстою суден перед шлюзуванням. Основними елементами підхідних каналів є: канал із трапецеїдальним перерізом, причальна і спрямовувальна стінки для поліпшення умов заходження суден у камеру шлюзу. Напрямна стінка забезпечує плавний перехід від широкої частини каналу до камери шлюзу. Напрямна стінка може бути продовженням стіни камери шлюзу або примикати до неї під невеликим кутом. Вона дає змогу суднам і потягам підтримувати відносно високу швидкість руху під час заходу в камеру шлюзу за сильних бічних вітрів і наявності течії. При цьому значно скорочується тривалість маневрування.

Габарити основних елементів підхідного каналу розраховують, виходячи з геометричних співвідношень їх із габаритами розрахункового судна, що призначається з-поміж тих, що мають найбільші розміри за довжиною та шириною, з урахуванням обраного способу розбіжності суден у підхідному каналі (типу каналу) і числа камер шлюзу.

За даними Державної служби морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України [2] стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті України (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за січень – червень 2022 року з наростаючим підсумком [3]. Слід зазначити, що на значне зниження аварійності на морському та внутрішньому водному транспорті пов'язане також із тимчасовим припиненням судноплавства у територіальному морі та на внутрішніх водних шляхах України через військову агресію російської федерації проти України. Починаючи з 24 лютого 2022 року, фактично розпочалась блокада морських портів на південному узбережжі України.

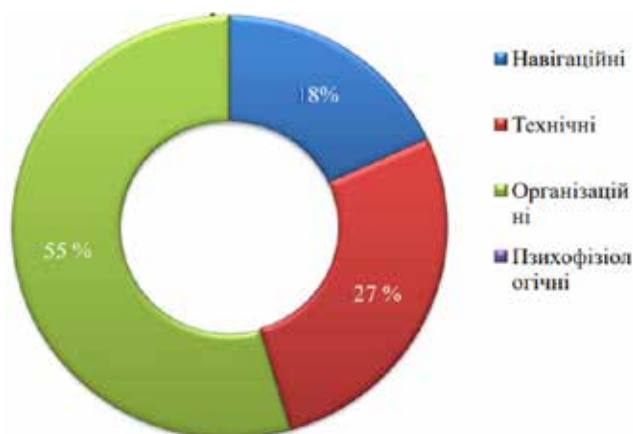


Рис. 1. Кількість випадків аварійних подій за причинами виникнення протягом січня – червня у 2022 році [3]

Дослідження, проведені раніше, дають змогу судити про те, що наявна методика розрахунку габаритів підхідних каналів загалом забезпечує безпечні умови плавання суден і составів. Однак на тих шлюзах, де за умовами розташування гідровузлів спостерігаються несприятливі гідрометеоумови необхідно деяке коригування розрахункових формул.

Так, під час визначення основних елементів підхідного каналу величину відстані $X_{укл}$, необхідної судну, що виходить із камери шлюзу, для безпечного виконання маневру ухилення доцільніше визначати за виразами (1) – (2), що враховують реальні умови маневрування:

$$\bar{X}_{укл} = X_{укл}/L; \quad (1)$$

$$\bar{Y}_{укл} = Y_{укл}/B$$

$$\bar{X}_{укл} = \left(\frac{V-1}{V+1}\right)^{0,195} + 1,518\left(\frac{T}{H}\right) m - 2,5E\chi - 0,704\chi\bar{Y}_{укл} + 4,637(m)^2 - 0,03(\bar{Y}_{укл})^2 \quad (2)$$

При цьому величина параметра $X_{укл}$, що входить до розрахункових формул (1) – (2), визначається залежно від швидкості руху і глибини в каналі при утворенні безпечної траєкторії відстані між бортами суден, що розходяться.

Визначене в такий спосіб значення безпечної траверсної відстані впливає в підсумку і на вибір необхідної ширини підхідного каналу для забезпечення безпеки руху суден. На відміну від методики під час визначення ширини ходової смуги, яку займає судно, необхідно враховувати не тільки ширину, а й довжину судна. У разі порушення умов безпеки ширину підхідного каналу необхідно збільшити на необхідну величину.

За наявності в районі підхідного каналу ділянок із несприятливим характером течії необхідно провести додаткову перевірку керованості суден і межі безпечних швидкостей руху.

Після цього визначається величина відстані, необхідної судну для погашення інерції ходу під час проходження меж ділянки дії течії.

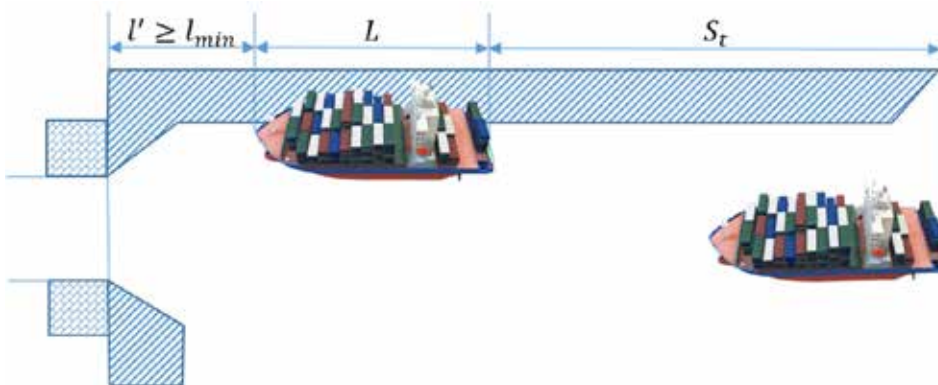


Рис. 1. Схема перевірного розрахунку довжини підхідного каналу за одностороннього руху

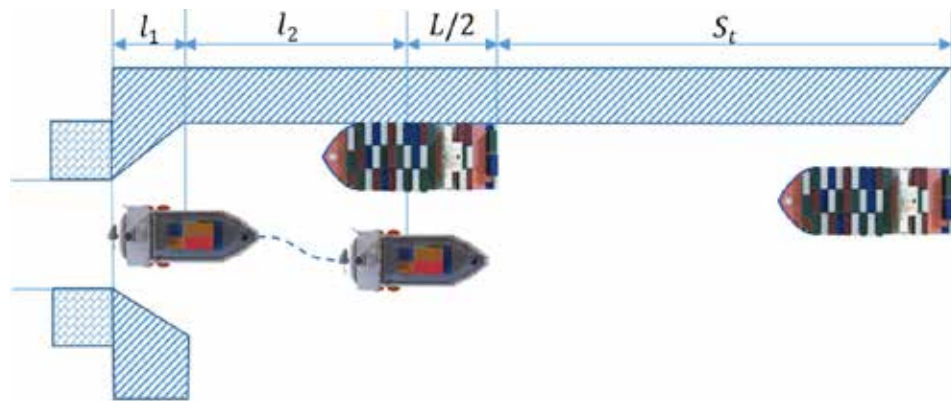


Рис. 2. Схема перевірного розрахунку довжини підхідного каналу за двостороннього руху

У підсумку визначається відстань від носової частини судна, що зупинилося біля причальної стінки, до лицьової грані голови шлюзу (рис. 2). Необхідно зазначити, що для проектних розрахунків слід вибирати максимальне значення шляху гальмування суден, що перевіряються, для заданих характері та швидкостей течії.

У разі одностороннього руху безпеку умов відстою суден біля причальної стінки слід оцінювати шляхом порівняння отриманої відстані I з величиною I_{\min} .

У разі двостороннього руху оцінку безпеки відстою суден біля причальної стінки слід здійснювати шляхом порівняння отриманої величини I з розрахунковою відстанню, необхідною судну, яке виходить із камери шлюзу, для успішного виконання маневру ухилення $X_{\text{укл}}$ (рис. 3).

У разі порушення умов безпеки довжину причальної стінки необхідно збільшити до необхідної величини.

Висновки. Таким чином, під час проведення аналізу аварійності суден встановлено, що близько 20% транспортних пригод сталося у зоні гідротехнічних споруд. Причому основна частина мала місце у підхідних каналах суднопропускних споруд та при заході в камеру шлюзу (55%). Аналіз щодо питання обґрунтування габаритів підхідних каналів до суднопропускних споруд, що покликані забезпечувати безпечне маневрування суден і знижувати до мінімуму час заходження в камеру та виходу з неї для збільшення їх пропускної спроможності, показав, що вони не повною мірою враховують маневрені якості суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang, T., & Li, T. (2022). Ship lock management and dynamic congestion toll for ships. *Ocean and Coastal Management*, 230, 106369. <https://doi.org/10.1016/j.ocesoaman.2022.106369>
2. Державна служба морського і внутрішнього водного транспорту та судноплавства України - офіційний портал. (2023). Retrieved January 15, 2023, from <https://marad.gov.ua/ua>
3. Звіт про стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за січень – червень

- 2022 року з наростаючим підсумком. (2022, July 30). <https://marad.gov.ua/>. Retrieved January 15, 2023, from https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Zvit_2022.pdf
4. Zheng, Q.Q., Zhang, Y., He, L.J., & Tian, H.W. (2023). Discrete multi-objective artificial bee colony algorithm for green co-scheduling problem of ship lift and ship lock. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101897. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101897>
 5. Deng, Y., Sheng, D., & Liu, B. (2021). Managing ship lock congestion in an inland waterway: A bottleneck model with a service time window. *Transport Policy*, 112, 142–161. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.08.017>
 6. Liu, C., Qi, J., Chu, X., Zheng, M., & He, W. (2021). Cooperative ship formation system and control methods in the ship lock waterway. *Ocean Engineering*, 226, 108826. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108826>
 7. Xu, J., Xuan, G., Li, Y., Li, Z., Hu, Y., Jin, Y., & Huang, Y. (2016). Study on the squat of extra-large scale ship in the Three Gorges ship lock. *Ocean Engineering*, 123, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.07.001>
 8. Bugarski, V., Bačkalić, T., & Kuzmanov, U. (2013). Fuzzy decision support system for ship lock control. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3953–3960. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.101>
 9. Wang, H.Z., & Zou, Z.J. (2014). Numerical study on hydrodynamic interaction between a berthed ship and a ship passing through a lock. *Ocean Engineering*, 88, 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.07.001>
 10. A. Golovan, I. Gritsuk, S. Rudenko, V. Saravas, A. Shakhov and O. Shumylo. Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel, 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 390–393, doi: 10.1109/MEES.2019.8896595.
 11. Golovan A, Rudenko S, Gritsuk I and Shakhov A 2018 Improving the process of vehicle units diagnosis by applying harmonic analysis to the processing of discrete signals SAE Technical Paper 2018-01-1774 <https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>
 12. Golovan A et al. 2020 Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger SAE Int. J. Engines 13(1) 5–16 <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>

REFERENCES

1. Wang, T., & Li, T. (2022). Ship lock management and dynamic congestion toll for ships. *Ocean and Coastal Management*, 230, 106369. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106369>
2. State Service of Maritime and Inland Water Transport and Shipping of Ukraine – official portal. [Derzhavna sluzhba morskoho i vnutrishnoho vodnoho transportu ta sudnoplavstva Ukrainy – ofitsiinyi portal.] (2023). Retrieved January 15, 2023, from <https://marad.gov.ua/ua> [in Ukrainian]
3. Report on the state of safety of navigation and accidents on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small

- (small) vessels, for January – June 2022 with an accumulative result. [Zvit pro stan bezpeky sudnoplavstva ta avariinosti na vodnomu transporti v Ukraini (u tomu chysli i za yii mezhamy, ale iz ukrainskymy sudnamy), vkluchaiuchy malomirni (mali) sudna, za sichen – cherven 2022 roku z narostaiuchym pidsumkom.] (2022, July 30). <https://marad.gov.ua/>. Retrieved January 15, 2023, from https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Zvit_2022.pdf [in Ukrainian]
4. Zheng, Q.Q., Zhang, Y., He, L.J., & Tian, H.W. (2023). Discrete multi-objective artificial bee colony algorithm for green co-scheduling problem of ship lift and ship lock. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101897. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101897>
 5. Deng, Y., Sheng, D., & Liu, B. (2021). Managing ship lock congestion in an inland waterway: A bottleneck model with a service time window. *Transport Policy*, 112, 142–161. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.08.017>
 6. Liu, C., Qi, J., Chu, X., Zheng, M., & He, W. (2021). Cooperative ship formation system and control methods in the ship lock waterway. *Ocean Engineering*, 226, 108826. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108826>
 7. Xu, J., Xuan, G., Li, Y., Li, Z., Hu, Y., Jin, Y., & Huang, Y. (2016). Study on the squat of extra-large scale ship in the Three Gorges ship lock. *Ocean Engineering*, 123, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.07.001>
 8. Bugarski, V., Bačkalić, T., & Kuzmanov, U. (2013). Fuzzy decision support system for ship lock control. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3953–3960. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.101>
 9. Wang, H.Z., & Zou, Z.J. (2014). Numerical study on hydrodynamic interaction between a berthed ship and a ship passing through a lock. *Ocean Engineering*, 88, 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.07.001>
 10. A. Golovan, I. Gritsuk, S. Rudenko, V. Saravas, A. Shakhov and O. Shumylo. Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel, 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 390–393, doi: 10.1109/MEES.2019.8896595
 11. Golovan A, Rudenko S, Gritsuk I and Shakhov A 2018 Improving the process of vehicle units diagnosis by applying harmonic analysis to the processing of discrete signals SAE Technical Paper 2018-01-1774 <https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>
 12. Golovan A et al. 2020 Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger SAE Int. J. Engines 13(1) 5–16 <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>