

обов'язково враховувати їх обчислювальну складність, оскільки вона суттєво впливає на придатність з точки зору практичної реалізації та розробку відповідних програмних засобів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ambrosino D., Sciomachen A., Tanfani E. Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. 2004. № 38.2. P. 81–99.
2. Fan L., Low M. Y. H., Hsu W. J., Huang Sh. Y., Zeng M., Win Ch. A. Randomized algorithm with tabu search for multi-objective optimization of large containership stowage plans. *International Conference on Computational Logistics*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. P. 256–272.
3. Yurtseven M. A., Boulougouris E., Turan O. Container ship stowage plan using steepest ascent hill climbing, genetic, and simulated annealing algorithms. *Marine Design XIII*. 2018. Vol. 1. P. 617–623.
4. Rahsed D. M., Gheith M. S., Eltawil A. B. A Rule-based Greedy Algorithm to Solve Stowage Planning Problem. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, December 2018. P. 437–441.
5. Matsaini, Santosa B. Solving the container stowage problem (CSP) using particle swarm optimization (PSO). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 337, article no. 012002.
6. Kim K. H., Kang J. S., Ryu K. R. A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals[J]. *OR Spectrum*. 2004. Vol. 26, no. 1. P. 93–116.
7. Li F., Tian C., Cao R., Ding W. An Integer Linear Programming for Container Stowage Problem. In: Bubak M., van Albada G. D., Dongarra J., Sloot P. M. A. (eds). *Computational Science – ICCS 2008. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5101. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 853–862.
8. Yaagoubi A. E., Alaoui E. H., Boukachour J. Multiobjective river-sea-going container barge stowage planning problem with container fragility and barge stability factors. *GOL 2018 : The 4th International Conference on Logistics Operations Management*. 10–12 Apr. 2018, Le Havre, France. IEEE : 2018. P. 214–230.
9. Цимбал М. М. Формування плану завантаження контейнеровозу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2020. № 1(22). С. 64–73.
10. Федоров А. І. Метод формування субоптимального вантажного плану контейнеровозу. *Проблеми інформаційних технологій*. 2019. № 25. С. 96–100.

Бень Андрій Павлович к.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9029-3489>; a_ben@i.ua.

Соколов Артур Вячеславович аспірант Херсонської державної морської академії. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3115-3854>; arthursokolov7@gmail.com.

Соловей Олександр Степанович к.т.н., завідувач виробничою практикою Херсонської державної морської академії. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2605-6788>; oleksandr_79@ukr.net.

УДК 621.314.52

ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ БОРТОВОЇ ХИТАВИЦІ СУДНА

О. М. Лебедь

Херсонська державна морська академія

Анотація. Дана робота розглядає вплив явища хитавиці судна на його експлуатаційні параметри. Акцентується увага на негативному впливі хитавиці судна на техніко-економічну ефективність судна, негативний вплив на людський організм. Дослідження даної роботи підкреслюють необхідність створення алгоритму автоматичного керування зсуву фаз між коливаннями судна та води в активних бортових цистернах для зменшення негативного впливу на параметри хитавиці судна. На базі нечіткої логіки створена математична модель автоматичного керування параметрами перекачки води в заспокоювачах хитавиці на основі бортових активних цистерн. Запропонована кількість нечітких продукцій, що призводить до зменшення параметрів хитавиці на тихій воді, таких як логарифмічний декремент затухання, загальний час коливань. Показана перспективність збільшення правил нечітких продукцій для стабілізації параметрів хитавиці судна при зовнішніх збуреннях.

Ключові слова: хитавиця судна, бортові активні цистерни, заспокоювач хитавиці, нечітка логіка, нечіткі продукції, кут крену, кутова швидкість, амплітуда коливань.

VECTOR CONTROL OF THE PARAMETERS OF THE SHIP'S ON-BOARD MACHINE

O. M. Lebed

Kherson State Maritime Academy

Abstract. This work examines the influence of the ship's rocking phenomenon on its operational parameters. Attention is focused on the negative impact of the ship's rocking on the technical and economic efficiency of the ship, the negative impact on the human body. The research of this work emphasizes the need to create an algorithm for automatic control of the phase shift between ship and water oscillations in active on-board tanks to reduce the negative impact on the ship's rocking parameters. On the basis of fuzzy logic, a mathematical model of the automatic control of water pumping parameters in vaccinator based on on-board active tanks was created. A number of fuzzy products are proposed, which leads to a reduction in still-water wobble parameters, such as the logarithmic decrement of the damping, the total oscillation time. The perspective of increasing the rules of fuzzy products for the stabilization of ship's rocking rocking parameters under external disturbances is shown.

Key words: ship's rocking, on-board active tanks, rocking stabilizer, fuzzy logic, fuzzy products, roll angle, angular velocity, oscillation amplitude.

Одним з явищ, що супроводжують експлуатацію судна, є явище хитавиці. При цьому судно слід вважати осцилятором, тобто системою, яка коливається. Існують різні види хитавиці і коливальних рухів судна. Найбільш загальні типи хитавиці можна характеризувати в залежності від площини, де проходять коливання. Це ристання, кілева, бортова хитавиця, вертикальна, поперечно-горизонтальна, поздовжньо-горизонтальна. Судно може брати участь у різних типах коливань.

Значні прискорення, що формуються при коливаннях, можуть привести до негативних наслідків експлуатації судна та життя членів екіпажу. Негативні наслідки хитавиці полягають в зменшенні руху судна, нестабільній роботі пропульсивної установки, роботі інших механічних вузлів. Також виникають достатньо великі знакозмінні механічні напруги матеріалів корпусу судна, що може привести до зменшення терміну експлуатації, а також руйнування елементів корпусу та окремих пристроїв судна. Безперечний негативний фізіологічний вплив хитавиці судна [1].

Для зменшення негативного впливу хитавиці на процесі проектування судна проводять відповідне розподілення елементів судна. Розробляють вантажні плани завантаження судна, орієнтуючись на характеристиках районів плавання використовують відповідні штормові діаграми. Також в процесі експлуатації використовують пристрої демпфування хитавиці судна. До них відносять застосування виличних кілів, застосування бортових керованих кермів, застосування крильчатого рушія, застосування гіроскопів як заспокійників хитавиці судна, зменшення площини ватерлінії певних типів суден, що веде до зменшення сил та моментів, діючих на судно, використання пасивних та активних цистерн.

Основна дія заспокоювачів хитавиці полягає в зменшенні величини амплітуди хитавиці судна. Це досягається створенням змінного стабілізуючого моменту, здатного зменшити амплітуду і повернути судно до положення рівноваги. Заспокоювачі є ефективними лише для бортової хитавиці [1].

Одним з ефективних заспокоювачів хитавиці є бортові активні цистерни, в яких вода перекачується з однієї цистерни в іншу за допомогою гідравлічних насосів або під дією стисненого повітря компресором. При цьому за рахунок зсуву фаз коливань судна та води відбувається векторне додавання їх амплітуд, при якому можлива стабілізація параметрів хитавиці. Необхідне значення зсуву фаз формується на основі кута крену судна та його кутової швидкості, а рух води формується відкриванням відповідних клапанів.

Для автоматизації процесу відкривання клапанів пропонується використати теорію нечіткої логіки [2, 3]. Для цього використовують кренометр, який фіксує значення кута крену, кутової швидкості та подає сигнали на клапана в залежності від їхніх значень.

Система заспокоювача бортової хитавиці на основі активних цистерн складається з 4 вертикальних клапанів, 2 горизонтальних, кренометра, компресора та самих цистерн, заповнених водою.

Компресор 6 подає повітря в ліву чи праву цистерну, при цьому відкриваються клапани 7 чи 8. В залежності від значень кута крену та кутової швидкості, які фіксуються кренометром 5, будуть відкриватися клапани 1–4, які регулюють подачу об'єму повітря та мають однакові площі поперечного перерізу.

У рамках даної роботи запропонована система з 16 правил, що представляють собою певні мовні конструкції, які формуються в залежності від значень кута крену γ та кутової швидкості ω , фіксованих кренометром. При цьому розгляд відбувається для позитивних значень γ та ω , що відповідає крену в одну сторону.

Дана система нечітких продукцій використовувалась для зменшення амплітуди коливань судна на тихій воді. Логарифмічний декремент затухання, типовий для даного середовища, при застосуванні нашої системи нечіткої логіки, показав зменшення свого значення. Також слід зазначити загальне зменшення часу коливань. Таким чином, застосування даної системи нечітких продукцій є адекватним та перспективним для використання в якості заспокоювача хитавиці судна на основі бортових активних цистерн.

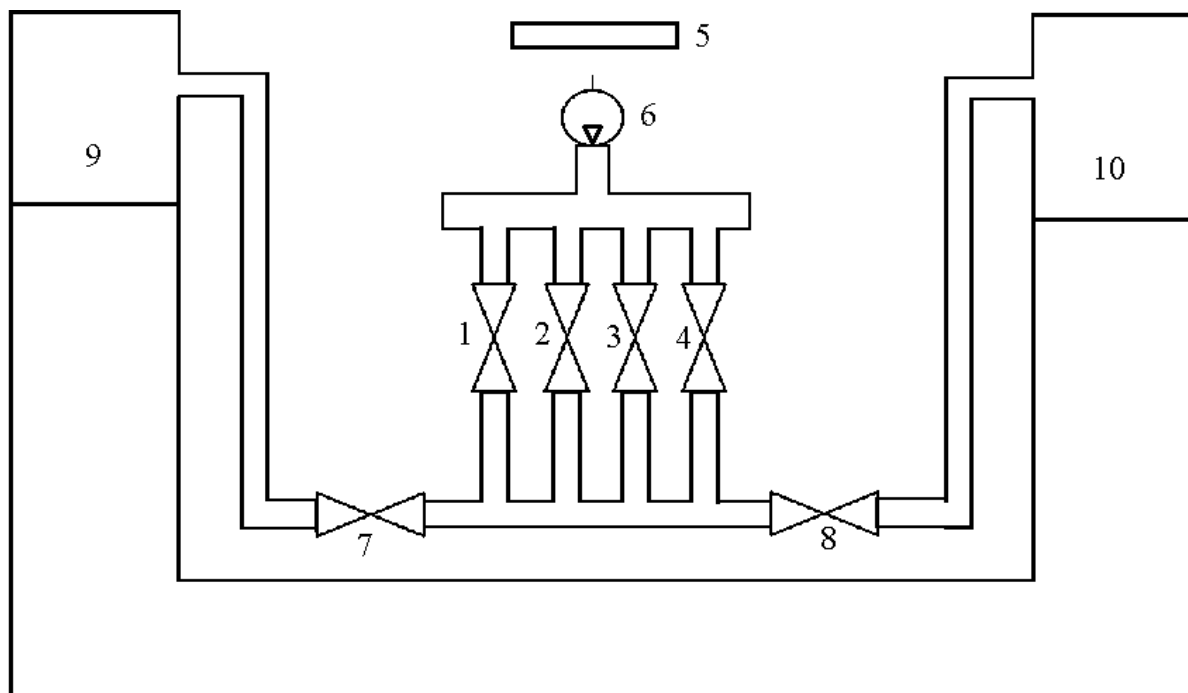


Рисунок 1 – Заспокоювач хитавиці судна активними цистернами на базі автоматичного керування нечіткої логіки:

1–4, 7 та 8 – клапани; 5 – кренометр; 6 – компресор; 9 та 10 – бортові цистерни

Таблиця 1 – Правила управління клапанами на базі нечіткої логіки

γ, ω	Мала	Середня	Небезпечна	Критична
Малий	Один відкритий	Один відкритий	Два відкриті	Два відкриті
Середній	Один відкритий	Один відкритий	Два відкриті	Три відкриті
Небезпечний	Два відкриті	Два відкриті	Три відкриті	Всі відкриті
Критичний	Два відкриті	Три відкриті	Всі відкриті	Всі відкриті

При розгляді коливань судна із впливом зовнішніх факторів слід збільшити кількість нечітких продукцій для процесу стабілізації хитавиці судна. Це можна досягти за рахунок збільшення кількості клапанів, часткового їх відкриття або за рахунок зміни потужності компресора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков Ю. Д., Клименко Е. К., Шестопап В. П. Мореходные качества корабля : учеб. пособие. Ч. 3. Инструментальные средства изучения и методы контроля мореходных качеств корабля. Николаев : Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2007. 143 с.
2. Yu J., Yan Z., Wang J., Li Q. Robust stabilization of ship course via convex optimization. *Asian Journal of Control*. 2014. V. 16, № 3. P. 871–877.
3. Luo W., Zou Z., Li T. Robust tracking control of nonlinear ship steering. *Control Theory and Applications*. 2009. V. 26. P. 893–895.

Лебедь Олег Миколайович к.т.н., доцент кафедри «Природничо-наукова підготовка» Херсонської державної морської академії. ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-5603-9244>; lebed_lom@ukr.net.