УДК 656.61.052

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЛАНІВ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ

Бень А. П., *к.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, м. Херсон, Україна, e-mail: a_ben@i.ua, ORCID: 0000-0002-9029-3489;*
Соколов А. В., *аспірант, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, Україна, e-mail: arthursokolov7@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3115-3854.*

У статті досліджуються питання створення системи підтримки прийняття рішень (СППР) з формування вантажних планів контейнеровозів. Визначені пріоритетні напрями наукових досліджень в галузі оптимізації процесів керування вантажними операціями контейнеровозів. Показано, що ключовою проблемою в оптимізації морських контейнерних перевезень є проблема формування оптимальних вантажних планів. Розглянуті особливості процесу побудови плану розміщення вантажів на контейнеровозі та принципи його корегування для випадку мультипортових контейнерних перевезень. Запропоновані підходи щодо оптимізації процесу формування вантажного плану контейнеровозу. Визначено, що проблема формування оптимального вантажного плану судна полягає в розв'язанні множини складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації. Із застосуванням системного підходу до аналізу процесу формування вантажного плану судна, визначено ключові чинники впливу на нього. Виходячи з визначених особливостей процесів обробки інформації при формуванні вантажного плану контейнеровозу, а також специфіки його створення та корегування в умовах здійснення мультипортових перевезень, розроблено структуру СППР для керування таким процесом та визначено перелік її основних функцій. Запропоновано використання гнучких стратегій вибору оптимізаційних процедур, що враховують вплив пріоритетів судновласника на процес формування вантажного плану судна. Визначені перспективні напрямки подальших наукових досліджень в зазначеній галузі.

Ключові слова: *система підтримки прийняття рішень; вантажний план контейнеровозу; вантажні операції судна; багатокритеріальна оптимізація; мультипортові перевезення; безпека судноплавства.*

DOI: 10.33815/2313-4763.2024.1.28.175-184

Вступ. Постійне зростання обсягів сучасних морських контейнерних перевезень та ускладнення їх логістичних ланцюжків, що пов'язане з істотним збільшенням контейнеромісткості сучасних суден контейнеровозів, яке може досягати до 24000 TEU (20-ти футових контейнерних одиниць або 20" контейнерів), обумовлює нагальну потребу в розв'язанні низки теоретичних та практичних задач, пов'язаних з підвищенням економічної ефективності та безпечності таких перевезень [1, 2]. Однією з ключових складових успішного розв'язання вказаних задач є розробка математичних моделей, методів та інформаційних технологій формування вантажних планів суден-контейнеровозів. З огляду на вищевказане, актуальною проблемою сьогодення є створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) з керування процесами побудови вантажних планів. Зазначені питання викликають суттєвий інтерес серед науковців та фахівців у галузі морських контейнерних перевезень, про що свідчить значна кількість наукових досліджень з різними теоретичними підходами до вирішення вказаних задач [1–28].

Постановка проблеми. Підвищення економічної ефективності та безпечності морських контейнерних перевезень є одними із ключових питань сучасного судноплавства. Забезпечення їх вирішення потребує, перш за все, раціональної організації вантажних операцій контейнерного флоту, що в свою чергу, обумовлює потребу в оптимізації процесів формування вантажних планів контейнеровозів, особливо для складних логістичних ланцюжків перевезень. Найбільшої актуальності зазначене питання набуває для галузі мультипортових контейнерних перевезень, які характеризуються як складністю формування початкового вантажного плану судна, так і потребою в його подальшому корегуванню в наступних портах виконання рейсу.

Нераціональний вантажний план судна призводить до необхідності виконання зайвих вантажних операцій у портах, що призведе до додаткових, як прямих, так і опосередкованих

економічних втрат. Крім того, наявність зайвих вантажних операцій погіршує безпекову складову виконання рейсу, тому оптимізація структури вантажних планів вкрай важлива. Перспективним шляхом вирішення вищезазначених проблем є створення спеціалізованих СППР з формування вантажних планів контейнеровозів. Разом з тим, розробка таких СППР потребує проведення ґрунтовного аналізу наявного досвіду їх створення та практичного запровадження, а також вивчення особливостей процесів побудови та корегування вантажних планів суден, що і обумовило вибір головної мети, об'єкту та предмету дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значний інтерес до створення нових математичних моделей, методів, інформаційних систем та СППР у напрямку керування вантажними операціями контейнеровозів виник на початку XXI століття, що обумовлено швидким розвитком сучасних інформаційних технологій і методів імітаційного моделювання та їх глибокою інтеграцію у процеси розв'язання реальних практичних задач у галузі морських перевезень. Основними напрямами, за якими відбувались дослідження з оптимізації процесів керування вантажними операціями контейнеровозів, стали наступні:

– розробка математичних моделей та методів оптимізації структури вантажних планів контейнеровозів та правил їх формування [3–10];

– керування логістикою контейнерних перевезень [11, 12];

– керування розміщенням контейнерів на судні у відповідності до правил сегрегації небезпечних, спеціалізованих вантажів та вантажів з особливими умовами перевезення [13, 14];

– планування мультипортових перевезень та перевезень на внутрішніх водних шляхах [9, 10, 15–17];

– моніторинг та контроль низки параметрів судна, що впливають на його остійність та збереження морехідних якостей: метацентрична висота, осадка, крен та диферент [17, 18];

– оптимізація процесів здійснення вантажних операцій на судні та в портових терміналах [19–21];

– контроль та оптимізація економічних показників контейнерних перевезень [22, 23].

Слід зазначити, що ключовою проблемою, яка безпосередньо пов'язана з усіма вищезазначеними напрямами, була і залишається проблема створення раціонального (або оптимального) вантажного плану судна-контейнеровозу, оскільки саме вантажний план є «серцем» для усіх вищезазначених напрямів і саме від нього, у найбільшій мірі, залежить їх успішна реалізація [24–28].

Приймаючи до уваги ті обставини, що зазначена проблема носить комплексний характер та потребує одночасного вирішення низки складних та взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації, активного розвитку набуває напрям розробки та впровадження відповідних СППР [1, 2, 24–28].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є розробка структури СППР з формування вантажних планів контейнеровозів в умовах мультипортових контейнерних перевезень та визначення особливостей її практичної реалізації. Досягнення поставленої мети передбачає необхідність вирішення наступних задач:

1. Визначення особливостей процесу побудови плану розміщення вантажів на контейнеровозі та методів його корегування.

2. Визначення базових принципів оптимізації вантажного плану контейнеровозу при мультипортових перевезеннях для поліпшення економічної ефективності виконання рейсу.

3. Розробка структури СППР з формування оптимального вантажного плану контейнеровозу для мультипортових контейнерних перевезень.

Об'єктом дослідження є СППР для вирішення задач створення вантажних планів контейнеровозів.

Предметом дослідження є процеси формування оптимальних вантажних планів контейнеровозів у СППР в умовах здійснення мультипортових перевезень.

Виклад основного матеріалу. Вантажний план контейнеровозу визначає порядок та особливості розміщення контейнерів на борту судна під час виконання рейсу. Контейнери зазвичай розміщуються як у трюмах, так і на палубі, а їх конкретне розташування залежить від конструктивних особливостей судна та типу самих контейнерів (рис. 1).

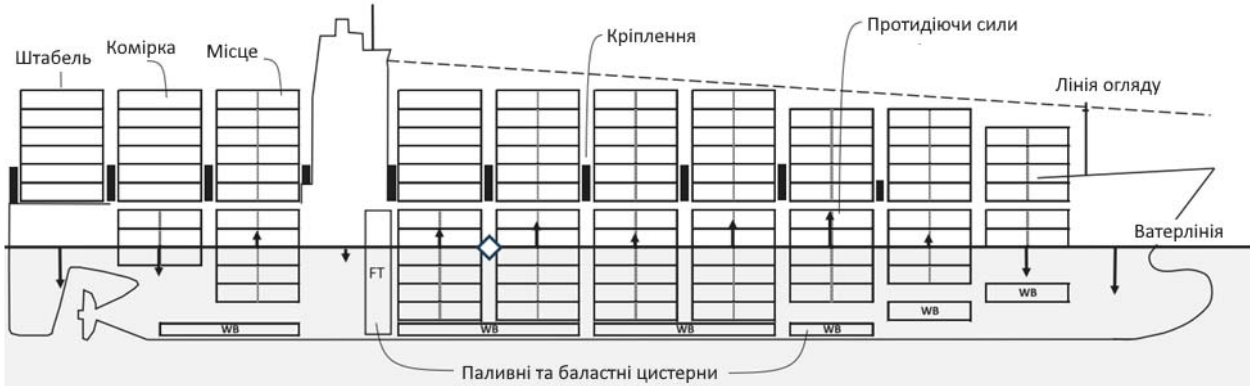


Рисунок 1 – Узагальнений вигляд вантажного плану контейнеровозу

Найбільш розповсюдженими є три типорозміри контейнерів за довжиною: 20”, 40” і 45” та два типорозміри за висотою: 8,6” та 9.6”. Стандартними є контейнери 20” і 40” довжини та 8,6” висоти. Вага одного контейнеру зазвичай знаходиться в діапазоні від 5 до 30 тон. Контейнери складаються в штабелі, при цьому для стандартних контейнерів кожна вантажна комірка може бути зайнята одним 40” або двома 20” контейнерами (рис.1). Крім того, контейнери можуть бути рефрижераторного типу – у цьому випадку вони мають стандартні типорозміри і можуть бути розміщені лише в окремих, заздалегідь пристосованих для цього місцях на судні, які обладнані джерелами електричного живлення. Для розв’язання задачі формування оптимального вантажного плану контейнеровозу, зазвичай розглядаються лише контейнери стандартних типорозмірів (тобто 20” або 40” довжини та 8,6” висоти), які можуть бути звичайного або рефрижераторного типу. Для спрощення виконання СППР процедур з розрахунку дотримання вимог остійності судна, всі контейнери доцільно заздалегідь окремо розподіляти на кілька вагових груп за їх максимально припустимою вагою: 5, 10, 15, 20, 25, 30 тон відповідно [1].

Слід зазначити, що при складанні вантажного плану контейнеровозу необхідно враховувати низку обов’язкових та додаткових обмежень, які можна структурувати наступним чином [4].

1. Дотримання вимог збереження міцності корпусу судна та врахування його конструктивних особливостей (поздовжня міцність корпусу, вигинаючі моменти, міцність палуби, розташування кришок люків та місць кріплення контейнерів тощо).

2. Дотримання вимог до збереження остійності судна (контроль припустимих меж для метацентричної висоти, осадки, крену та диференту).

3. Врахування послідовності завантаження-вивантаження контейнерів у відповідності з портами під час виконання рейсу (мінімізація «шифтінгу» – зайвих технологічних переміщень одних контейнерів з метою отримання доступу до інших).

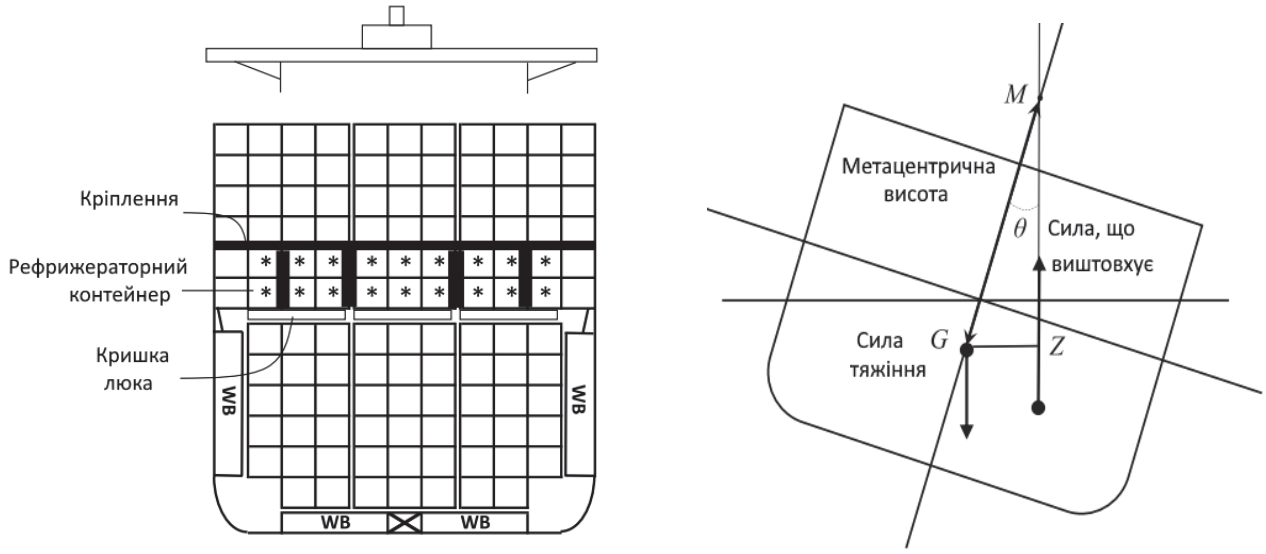
4. Дотримання технологічних вимог до взаємного розташування і кріплення 20-ти та 40-ка футових контейнерів, а також контейнерів збільшеної висоти та довжини.

5. Врахування вимог, пов’язаних з сегрегацією вантажів та розміщенням небезпечних вантажів на судні.

6. Розміщення рефрижераторних та спеціалізованих контейнерів у заздалегідь призначених для них місцях.

7. Штабелювання контейнерів, які розташовані на палубі судна повинно здійснюватись з урахуванням граничних навантажень на палубу, та таким чином, щоб вони не перекривали лінію огляду з навігаційного містка (рис. 1).

8. Додатково при формуванні вантажного плану судна бажано враховувати характеристики вантажного обладнання та порядок здійснення вантажних робіт у портах призначення з метою зменшення витрат часу на його завантаження та розвантаження.



а) б)

Рисунок 2 – Дотримання технологічних вимог з розміщення контейнерів на судні

На рис. 2 проілюстровано базові принципи виконання окремих технологічних вимог до складання вантажного плану контейнеровозу. На рис. 2(а) показано, що розміщення контейнерів повинно здійснюватись з урахуванням конструктивних особливостей наявних на судні кріплень, а розміщення спеціалізованих контейнерів – лише у заздалегідь обладнаних місцях (наприклад, наявність мережі електроживлення для рефрижераторних контейнерів). На рис. 2(б) проілюстровано вплив вантажу на параметри остійності судна – кут крену Θ та метацентричну висоту М (також ще обов'язково необхідно враховувати і інші параметри, такі як диферент та осадку корпусу). Частково корекція кута Θ та метацентричної висоти можуть бути здійснені за рахунок зміни кількості та розподілу баласту, що знаходиться в баластних танках судна WB, які розташовані в різних місцях корпусу (рис. 2(а)).

У випадку формування вантажного плану для рейсу судна, що відбувається між кількома портами, процес його побудови дещо ускладнюються, оскільки в проміжних портах можливе здійснення додаткових вантажних операцій, які потребують внесення змін до вже сформованого вантажного плану, і відповідно виникає потреба його корегування у кожному з проміжних портів. При цьому дуже важливим питанням є зменшення кількості «шифтінгу», тобто нераціональних, але технологічно необхідних переміщень контейнерів [10]. Зменшення шифтінгу можна досягти шляхом запровадження двохетапних процедур побудови вантажних планів [7, 24], при цьому спочатку виконується формування огрублених варіантів вантажних планів, або майстер планів, а далі здійснюються процедури їх послідовного уточнення в кожному з портів для розміщення кожного контейнеру в окрему комірку, і, таким чином, формується вже остаточний варіант вантажного плану. Послідовність етапів обробки інформації для такого випадку наведена на рис. 3.

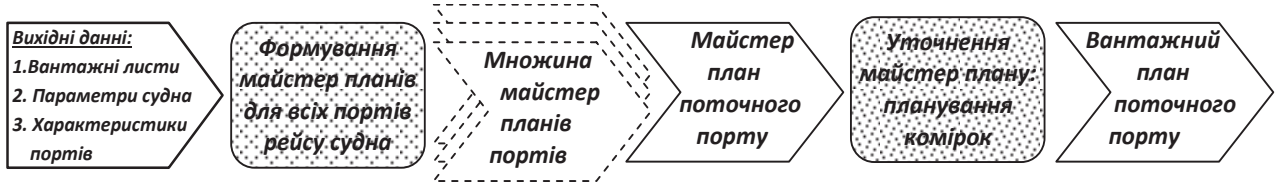


Рисунок 3 – Послідовність етапів обробки інформації при формуванні вантажного плану контейнеровозу в умовах здійснення мультипортових перевезень

Виходячи з вищенаведеного, можна дійти до висновку, що проблема формування оптимального (або раціонального) вантажного плану потребує одночасного комплексного вирішення низки складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації, що можливо лише за умов ретельного врахування впливу отриманих розв'язків кожної з них на кінцевий результат, тобто, власне, вантажний план.

Розглядаючи процес формування вантажного плану контейнеровозу з позицій системного підходу, пропонується застосування наступної структурно-логічної схеми для аналізу впливу його окремих складових та оптимізації в цілому (рис. 4).

У зазначеному процесі можна виділити два взаємопов'язаних комплекси складових впливу. Перший визначає технологічну складову і чітке виконання його вимог носить обов'язковий характер. Другий комплекс відповідає за формування експлуатаційної складової вантажного плану і має більш варіативний характер.

Слід зазначити, що не завжди процес формування вантажного плану розпочинається з виконання вимог комплексу технологічних складових (хоча на практиці у більшості випадків відбувається саме так). Іноді домінантним фактором прийняття рішень для судновласника (або компанії – перевізника вантажів) виступають економічні показники виконання рейсу (максимізація прибутку за умов мінімізації витрат), і в такому разі процес формування вантажного плану контейнеровозу розпочинається з його експлуатаційної складової: визначаються логістичні ланцюжки перевезень, проводиться аналіз та оптимізація послідовності виконання вантажних робіт, розраховуються економічні показники прибутковості рейсу судна. І лише на другому етапі проробляється технологічний цикл, який вже повинен забезпечити дотримання необхідних технологічних вимог виконання створеного логістичного ланцюжка перевезень. Також можливі випадки, в яких пріоритетним буде фактор часу поставок товарів, і в такому разі, головним чинником стане оптимізація здійснення вантажних операцій у портах, з метою мінімізації часу виконання рейсу.

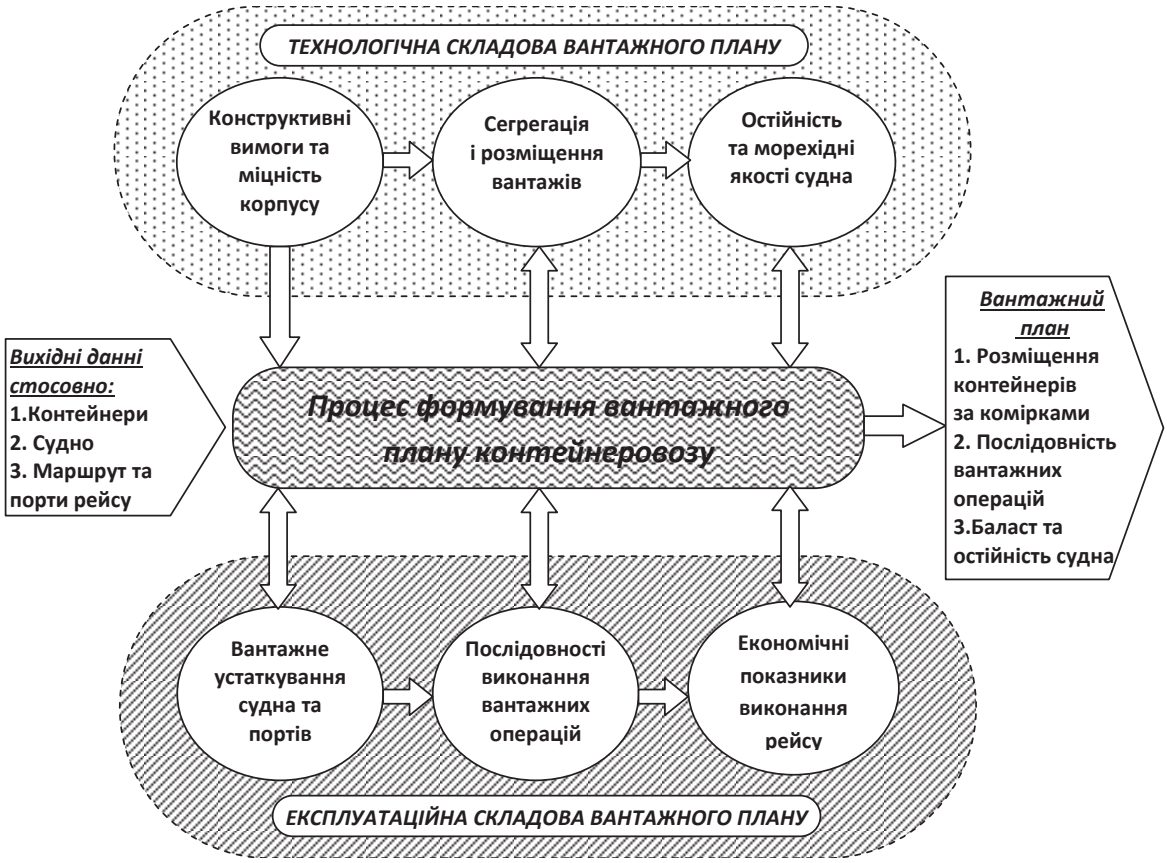


Рисунок 4 – Структура процесу формування вантажного плану контейнеровозу та взаємозв'язок основних чинників впливу на нього

Таким чином, наразі існують нагальні потреби врахування різних запитів практики при керуванні процесом формування вантажних планів контейнеровозів. Постає проблема розробки гнучких оптимізаційних стратегій вибору пріоритетів у прийнятті рішень, які повинні враховувати при плануванні перевезень вантажів існуючі потреби судновласника. Одним з найбільш доцільних шляхів вирішення вищезазначеної проблеми є створення спеціалізованих СППР, особливо для планування мультипортових перевезень, що відрізняються складною структурою процесу планування та необхідністю внесення постійних змін до вже сформованого вантажного плану судна [6].

Виходячи з вищенаведених особливостей процесів обробки інформації при формуванні вантажного плану контейнеровозу, а також специфіки його створення та корегування в умовах здійснення мультипортових перевезень, було розроблено структуру СППР для керування таким процесом та визначено перелік її основних функцій.

Функціонально зазначена СППР повинна забезпечити виконання наступних задач:

– формування множини майстер планів для кожного з портів рейсу судна;

– уточнення і оптимізацію відібраного майстер плану до вантажного плану у відповідності потребам поточного порту;

– розрахунок параметрів остійності та міцності корпусу судна;

– оптимізацію виконання вантажних операцій на судні і портових терміналах;

– розрахунок економічних показників виконання рейсу;

– вибір та рекомендація особи, що приймає рішення, найкращих варіантів вантажних планів у відповідності до заданої нею стратегії пріоритетів прийняття рішень.

Рисунок 5 – Структура СППР з формування вантажного плану контейнеровозу для мультипортових контейнерних перевезень

Висновки. Застосовуючи принципи системного підходу до аналізу процесу формування вантажного плану контейнеровозу, було визначено множину ключових складових, що впливають на його побудову та оптимізацію. Визначено, що проблема формування оптимального вантажного плану полягає в розв'язанні множини складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації. Практичне вирішення зазначеної проблеми знаходиться в площині пошуку субоптимальних рішень вказаних задач, що відповідають запитам практики.

Розроблено структуру СППР з формування вантажного плану контейнеровозу для мультипортових контейнерних перевезень та визначено перелік її основних функцій. Запропоновано використання гнучких стратегій вибору оптимізаційних процедур, що враховують пріоритети судновласника (або перевізника) до процесу формування вантажного плану судна. Зазначено, що СППР є лише інструментарієм пошуку рішень, а вибір пріоритетності застосування критеріїв пошуку та рівнів прийнятності результатів, що отримані, є і завжди залишиться головним завданням особи, яка приймає рішення.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом майбутніх наукових досліджень є подальший розвиток та запровадження комплексного системного підходу до аналізу впливу та взаємозв'язку ключових складових процесу формування вантажних планів контейнеровозів, як на оперативному, так і на технологічному рівнях. Виявлення таких взаємозв'язків дозволить сформувати систему пріоритетів при прийнятті рішень з побудови вантажного плану судна, орієнтовану на вирішення практичних потреб конкретного судновласника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Iris, C., Pacino D. A survey on the ship loading problem. Computational logistics. Springer. 2015. P. 238–251.

2. Twiller, J. V., Sivertsen, A., Pacino, D., Jensen, R. M. Literature survey on the container stowage planning problem. *European Journal of Operational Research.* 2024. vol. 317. no. 3. P. 841–857.

3. 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.

4. Ambrosino D., Paolucci M., Sciomachen A. A MIP heuristic for multi port stowage planning. *Transportation Research Procedia*. 2015. P. 725–734.

5. 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.

6. Бень А. П., Соколов А. В. Аналіз сучасного стану методів формування вантажних планів контейнеровозів та шляхи їх подальшого вдосконалення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. №1–2 (26–27). С. 6−16.

7. Pacino D., Delgado A., Jensen R., Bebbington T. Fast generation of nearoptimal plans for eco-efficient stowage of large container vessels. *Computational Logistics*. 2011. P. 286–301.

8. Wang L., Ni M., Gao J., Shen Q., Jia Y., Yao C. The Loading Optimization: A Novel Integer Linear Programming Model. *Enterprise Information Systems*. 2019. Vol. 13 (10). P. 1471–1482.

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.

11. Lee, C.-Y., & Song, D.-P. Ocean container transport in global supply chains: Overview and research opportunities.*Transportation Research Part B: Methodological.* 2017. Vol. 95, P. 442–474.

12. Christensen J., Pacino D. A matheuristic for the cargo mix problem with block stowage. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 97. 2017. pp. 151–171

13. Kamieniev K. I., Kamienieva A. V. Vykopyctannia adytyvnoho alhopytmu dlia pozmishchennia nebezpechnykh vantazhiv na konteinernomu cudni. Cudovozhdenye. 2018. № 28. S. 70–77.

14. Kebedow K. G., Oppen J. Including containers with dangerous goods in the multi-port master bay planning problem. *Mendel*. 2018. vol. 24(2), P. 23–36.

15. Franzkeit J., Schwientek A., Jahn C. Stowage planning for inland container vessels: A literature review. In Proceedings of the Hamburg international conference of logistics. 2020. Vol. 30. P. 247–280.

16. Parreño-Torres C., Alvarez-Valdes R., Parreño F. Solution strategies for a multiport container ship stowage problem. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019. vol. 2019, issue 1.

17. 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.

18. Zhang Z., Lee Ch.-Y. Multiobjective approaches for the ship stowage planning problem considering ship stability and container rehandles. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2016. vol. 46(10). P. 1374–1389.

19. Conca A., Febbraro A.D., Giglio D., Rebora F. Automation in freight port call process: Real time data sharing to improve the stowage planning. *In Transportation research procedia.* 2018. Vol. 30. P. 70–79.

20. Wong E.Y.C., Ling K.K.T., Tai A. H., Lam J. S. L., Zhang X. Three-echelon slot allocation for yield and utilisation management in ship liner operations. Computers and Operations Research. 2022. 148, 105983.

21. Azevedo A.T., Neto L. L. S., Chaves A. A., Moretti A. C. Solving the 3D stowage planning problem integrated with the quay crane scheduling problem by representation by rules and genetic algorithm. *Applied So Computing Journal*. 2018. vol. 65. P. 495–516.

22. Wei L., Zhu W., Lim W., A goal-driven prototype column generation strategy for the multiple container loading cost minimization problem. *European Journal of Operational Research.* 2015. vol. 241. no. 1. P. 39–49, 2015.

23. Zurheide S., Fischer K. Revenue management methods for the liner shipping industry. Flexible Services and Manufacturing Journal. 2015. 27(2). P. 200–223.

24. Delgado A., Jensen R.M., Guilbert N. A placement heuristic for a commercial decision support system for container vessel stowage. *In 38th Latin America conference on informatics, CLEI 2012 - conference proceedings*. http://dx.doi. org/10.1109/CLEI.2012.6427181.

25. Jensen R. M., Leknes E., Bebbington T. Fast interactive decision support for modifying stowage plans using binary decision diagrams. *In Lecture notes in engineering and computer science*: 2012. vol. 2196, P. 1555–1561.

26. Wu Q., Xia Q., Wu M. Research on intelligent loading system for container ships. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. Earth Environ. Sci. 632 022074.

27. Jin J., Mi W. An AIMMS-based decision-making model for optimizing the intelligent stowage of export containers in a single bay. *Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S*. 2019. vol. 12. Number (4–5), P. 1101–1115.

28. Накул Ю. А., Нікольський В. В., Стовманенко В. С. Система контролю завантаження контейнеровозів. *Судноводіння*. 2017. №27. С. 127–136.

REFERENCES

1. Iris, C., Pacino, D. (2015). A survey on the ship loading problem. Computational logistics. Springer. P. 238–251.

2. Twiller, J. V., Sivertsen, A., Pacino, D., Jensen, R. M. (2024). Literature survey on the container stowage planning problem. *European Journal of Operational Research*. vol. 317. no. 3. P. 841–857.

3. Ambrosino, D., Sciomachen, A., Tanfani, E. (2004). Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. № 38.2. P. 81–99.

4. Ambrosino, D., Paolucci, M., Sciomachen, A. (2015). A MIP heuristic for multi port stowage planning. *Transportation Research Procedia*. P. 725–734.

5. Rahsed, D. M., Gheith, M. S., Eltawil, A. B. (2018). A Rule-based Greedy Algorithm to Solve Stowage Planning Problem. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management,* December. P. 437–441.

6. Ben, A. P., Sokolov, A. V. (2023). Analiz suchasnoho stanu metodiv formuvannia vantazhnykh planiv konteinerovoziv ta shliakhy yikh podalshoho vdoskonalennia. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii. №1–2 (26–27). S. 6–16.

7. Pacino, D., Delgado, A., Jensen, R., Bebbington, T. (2011). Fast generation of nearoptimal plans for eco-efficient stowage of large container vessels. *Computational Logistics*. P. 286–301.

8. Wang, L., Ni, M., Gao, J., Shen, Q., Jia, Y., Yao, C. (2019). The Loading Optimization: A Novel Integer Linear Programming Model. *Enterprise Information Systems*. Vol. 13 (10). P. 1471–1482.

9. Tsymbal, M. M. (2020). Formuvannia planu zavantazhennia konteinerovozu. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii. №1(22). S. 64–73.

10. Fedorov, A. I. (2019). Metod formuvannia suboptymalnoho vantazhnoho planu konteinerovozu. Problemy informatsiinykh tekhnolohii. №25. S. 96–100.

11. Lee, C.-Y., & Song, D.-P. (2017). Ocean container transport in global supply chains: Overview and research opportunities.*Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 95, P. 442–474.

12. Christensen, J., Pacino, D. (2017). A matheuristic for the cargo mix problem with block stowage. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 97. pp. 151–171.

13. Камєнєв, К. І., Камєнєва, А. В. (2018). Використання адитивного алгоритму для розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні. *Судовождение*. № 28. С. 70–77.

14. Kebedow, K. G., Oppen, J. (2018). Including containers with dangerous goods in the multi-port master bay planning problem. *Mendel*. vol. 24(2), P. 23–36.

15. Franzkeit, J., Schwientek, A., Jahn, C. (2020). Stowage planning for inland container vessels: A literature review. In Proceedings of the Hamburg international conference of logistics. Vol. 30. P. 247–280.

16. Parreño-Torres, C., Alvarez-Valdes, R., Parreño, F. (2019). Solution strategies for a multiport container ship stowage problem. *Mathematical Problems in Engineering*. vol. 2019, issue 1.

17. Yaagoubi, A. E., Alaoui, E. H., Boukachour, J. (2018). 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 : P. 214–230.

18. Zhang, Z., Lee, Ch.-Y. (2016). Multiobjective approaches for the ship stowage planning problem considering ship stability and container rehandles. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. vol. 46(10). P. 1374–1389.

19. Conca, A., Febbraro, A. D., Giglio, D., Rebora, F. (2018). Automation in freight port call process: Real time data sharing to improve the stowage planning. *In Transportation research procedia*. Vol. 30. P. 70–79.

20. Wong, E. Y. C., Ling, K. K. T., Tai, A. H., Lam, J. S. L., Zhang, X. (2022). Three-echelon slot allocation for yield and utilisation management in ship liner operations. Computers and Operations Research. 148, 105983.

21. Azevedo, A. T., Neto, L. L. S., Chaves, A. A., Moretti, A. C. (2018). Solving the 3D stowage planning problem integrated with the quay crane scheduling problem by representation by rules and genetic algorithm. *Applied So Computing Journal*. vol. 65. P. 495–516.

22. Wei, L., Zhu, W., Lim, W. (2015). A goal-driven prototype column generation strategy for the multiple container loading cost minimization problem. *European Journal of Operational Research*. vol. 241. no. 1. P. 39–49.

23. Zurheide, S., Fischer, K. (2015). Revenue management methods for the liner shipping industry. Flexible Services and Manufacturing Journal. 27(2). P. 200–223.

24. Delgado, A., Jensen, R. M., Guilbert, N. (2012). A placement heuristic for a commercial decision support system for container vessel stowage. *In 38th Latin America conference on informatics, CLEI 2012 - conference proceedings*. http://dx.doi. org/10.1109/CLEI.2012.6427181.

25. Jensen, R. M., Leknes, E., Bebbington, T. (2012). Fast interactive decision support for modifying stowage plans using binary decision diagrams. *In Lecture notes in engineering and computer science*: vol. 2196, P. 1555–1561.

26. Wu, Q., Xia, Q., Wu, M. (2021). Research on intelligent loading system for container ships. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Earth Environ. Sci. 632 022074.

27. Jin, J., Mi, W. (2019). An AIMMS-based decision-making model for optimizing the intelligent stowage of export containers in a single bay. *Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S*. vol. 12. Number (4–5), P. 1101–1115.

28. Nakul, Yu. A., Nikolskyi, V. V., Stovmanenko, V. S. (2017). Systema kontroliu zavantazhennia konteinerovoziv. Sudnovodinnia. №27. S. 127–136.

Ben A. P., Sokolov A. V. DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE FORMATION OF CARGO PLANS OF CONTAINER SHIPS

The article examines the issue of creating a decision support system (DSS) for the formation of cargo plans of container ships. The priority directions of scientific research in the field of optimization of processes of control cargo operations of container ships have been determined. It is shown that the key problem in the optimization of sea container transportation is the problem of forming optimal cargo plans. The peculiarities of the process of building a cargo placement plan on a container ship and the principles of its adjustment for the case of multiport container transportation are considered. Approaches to optimizing the process of forming a cargo plan of a container ship have been proposed. It was determined that the problem of forming the optimal cargo plan of the ship consists in solving a set of complex interrelated problems of multi-criteria optimization. With the application of a systematic approach to the analysis of the process of forming the ship's cargo plan, the key factors influencing it were determined. Based on the identified features of information processing processes in the formation of the cargo plan of a container ship, as well as the specifics of its creation and correction in the conditions of multiport transportation, the structure of the DSS was developed to manage such a process and a list of its main functions was defined. The use of flexible strategies for choosing optimization procedures that take into account the influence of the shipowner's priorities on the process of forming the ship's cargo plan is proposed. Prospective directions of further scientific research in the specified field are determined.

Key words: *decision support system; cargo plan of the container ship; ship cargo operations; multi-criteria optimization; multiport transportation; safety of shipping.*

© Бень А. П., Соколов А. В.

Статтю прийнято до редакції 14.06.2024