

УДК 656.66

Є. Б. ДЕМЧЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.dmch@gmail.com, ORCID 0000-0003-1411-6744

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ПОРОМНОЇ ПЕРЕПРАВИ

**Мета.** В сучасних умовах Україна, маючи розгалужену залізничну мережу та розвинену інфраструктуру морських портів, розташованих на її чорноморському узбережжі, стає сполучною ланкою в нових маршрутах доставки вантажів в напрямку Китай-ЄС. Перевезення великих партій вантажів у вказаному напрямку, як правило, здійснюється у контейнерах морським транспортом. При цьому такі перевезення характеризуються з одного боку порівняно низькою вартістю, а з іншого – достатньо тривалими термінами доставки. Альтернативним варіантом є перевезення у залізнично-водному сполученні, що дозволяє при помірному підвищенні вартості досягти суттєвого скорочення термінів доставки вантажів. Економічна привабливість такої схеми транспортування суттєво залежить від показників роботи поромних переправ на Каспійському та Чорному морі. В цьому зв'язку метою даної роботи є підвищення ефективності міжнародної поромної переправи за рахунок удосконалення її логістичного забезпечення на берегових поромних комплексах. **Методика.** Для досягнення поставленої у роботі мети використані методи статистичного аналізу для визначення обсягів та структури поромних перевезень; методи імітаційного моделювання для визначення ефективних варіантів завантаження поромів; теорія маневрової роботи для оптимізації процесу підбору вагонів згідно з визначеним каргопланом. **Результати.** В роботі виконано аналіз вимог до завантаження порому та розроблено комп'ютерну модель, що дозволяє отримати допустимі варіанти розподілення вагонів по його палубам (каргоплан). На основі отриманих варіантів каргоплану виконано моделювання процесу формування багатогрупних составів комбінаторним та розподільчим методами. За результатами моделювання дано рекомендації щодо вибору ефективного методу формування составів та потрібної кількості допустимих варіантів каргоплану. **Наукова новизна.** Автором удосконалено методіку визначення ефективного каргоплану завантаження порому, що на відміну від існуючої враховує процес формування составів вагонів для подачі на пором. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності управління міжнародними вантажними перевезеннями у змішаному залізнично-водному сполученні.

*Ключові слова:* залізничний пором, береговий комплекс, змішані міжнародні перевезення вантажів, каргоплан.

### Вступ

Україна завдяки своєму вигідному географічному положенню та розвиненій транспортній мережі є одною з ключових ланок в ланцюгах постачання продукції в напрямку Китай-ЄС. Відомо, що продукція з Китаю в країни ЄС доставляється, головним чином, морським транспортом в універсальних 20 (TEU) та 40 (FEU) футових контейнерах. Таке перевезення з одного боку характеризується порівняно невеликою вартістю, а з іншого – достатньо тривалими термінами доставки.

В разі доставки окремих штучних замовлень використовується авіатransпорт. У випадку необхідності перевезення партій у розмірі від 1 TEU альтернативою морському перевезенню стає змішане залізнично-водне сполучення, яке при помірному підвищенні транспортних витрат дозволяє досягти суттєвого скорочення

тривалості міжнародної доставки вантажів.

Одним з перспективних транспортних коридорів перевезення вантажів з Китаю до ЄС в обхід Російської Федерації є аналог «шовкового шляху» – Транскаспійський міжнародний транспортний маршрут (ТМТМ), обсяги перевезень по якому згідно [1] показують позитивну тенденцію (див. рис. 1). Зростання обсягів перевезень у даному сполученні свідчить про актуальність питання підвищення ефективності залізнично-водного міжнародного сполучення.

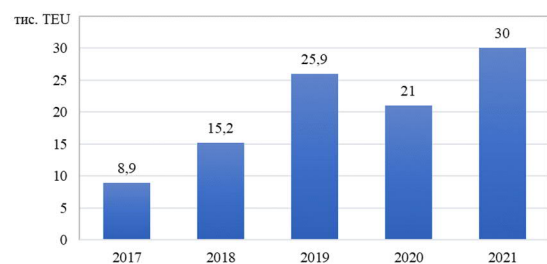


Рис. 1. Обсяги перевезень по маршруту ТМТМ

## Мета дослідження

Одним з основних елементів міжнародного залізнично-водного маршруту доставки вантажів у напрямку Китай ЄС є залізничні поромні переправи на Каспійському та Чорному морях (див. рис. 2). Ефективність функціонування поромних переправ суттєво залежить від якості їх логістичного забезпечення, яке здійснюється на берегових паромних комплексах. В цьому зв'язку метою даного дослідження є скорочення тривалості обробки поромів на берегових комплексах за рахунок підвищення ефективності процесу підготовки та завантаження вагонів на пором.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням підвищення ефективності поромних переправ присвячено значну кількість наукових праць вітчизняних та іноземних дослідників. Ранні їх роботи присвячені в основному пошуку раціональної конструкції паромних комплексів. Так, в [2, 3] розглядаються питання раціональної організації місцевої роботи станції з поромною переправою за умов нерівномірності підходу вагонів та суден на поромний комплекс. У цих роботах автором розглядається чотирипаркова система залізничних пристроїв поромної переправи, що складається з парку прийому, сортувального, передпоромного та поромного парків.

Методика розрахунку кількості колій у передпоромному парку та визначення оптимальної кількості поромних парків викладена в роботах [4, 5]. При цьому вказана методика розроблена для умов експлуатації на переправі однопалубних поромів.

Автором [6] вперше було розроблено аналітичні методи розрахунку потужності залізничних пристроїв морських поромних переправ,

запропоновано та обґрунтовано раціональні схеми передпоромних станцій, сфери їх застосування та етапність розвитку.

Особливий інтерес представляє метод експертних оцінок, використаний автором [7] для дослідження значної кількості чинників, які впливають на роботу поромного комплексу.

Значний обсяг досліджень виконано щодо проблем застосування логістичних підходів у створенні поромних сполучень; у питаннях обґрунтування економічної ефективності перспективних поромних комплексів та прилеглих до них залізничних підходів у портах Прибалтики: Усть-Луга, Засніць, Балтійськ, а також у Чорноморському регіоні: Кавказ-Поті [8-10].

Вперше математичну модель поромного комплексу запропонували автори [11]. В роботі застосовано метод автоматного моделювання, за допомогою чого було оптимізовано кількість поромів за критерієм забезпечення безперебійної роботи переправи.

Автором [12] для опису роботи поромної переправи використовувалася математична схема динамічної стохастичної системи. В моделі прийнятий детермінований тривалість знаходження вагонів на станції, що не відповідає дійсності.

Автором робіт [13] для опису процесу функціонування поромного комплексу розроблено математичну схему динамічної системи, що формується у вигляді багатофазної багатоканальної системи масового обслуговування. В той же час в моделі не враховується детально процес формування составів на пором.

## Постановка завдання дослідження

В сучасних умовах будівництво нових поромних переправ потребує залучення серйозних інвестицій, тому на перший план виступають



Рис. 2. Транскаспійський міжнародний транспортний маршрут (побудовано на основі [1])

проблеми удосконалення логістики вже існуючих поромних комплексів. При цьому основним завданням є досягнення синергетичного ефекту від узгодженого функціонування залізничного та морського транспорту, що дозволить з одного боку скоротити час знаходження вагонів на передпоромній станції, а з іншого – досягти максимального завантаження поромів.

Завантаження порому відбувається згідно наперед побудованого плану розподілення вагонів по палубним коліям – каргоплану [14]. Встановлений розподіл вагонів суттєво впливає на обсяг маневрової роботи з їх підбирання на передпоромній станції, від чого в свою чергу залежить як тривалість простою порому на комплексі, так і тривалість простою вагонів на станції. Проте, як показав аналіз публікацій, взаємозв'язок обробки поромів та процесу формування составів

призначенням на пором до теперішнього часу вивчені недостатньо. Таким чином, завданням даного дослідження є підвищення ефективності побудови каргоплану завантаження порому з врахуванням процесу формування составів на передпоромній станції.

### Основний матеріал дослідження

**Характеристика залізничних поромів.** На міжнародній переправі Чорноморськ експлуатуються чотири трипалубні пороми, які призначені для перевезення залізничних вагонів, авто-трейлерів та іншої колісної техніки [14].

Довжина залізничних колій порома дозволяє перевозити на ньому до  $N = 108$  вагонів. Вантажопідйомність порома становить 7560 т. Довжина колій по палубах порома та розміщення на них вагонів наведено на рис. 3 та у табл. 1.

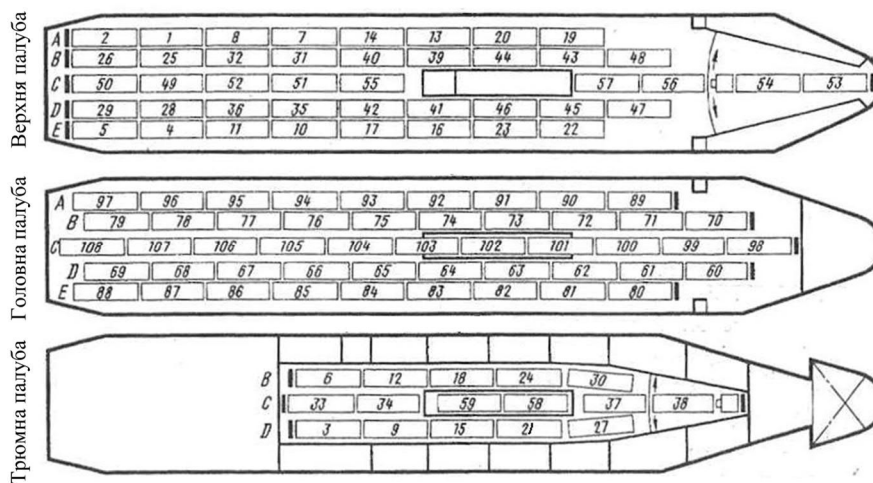


Рис. 3. Схема розстановки вагонів на палубних коліях (Джерело [14])

Таблиця 1

### Характеристика палубних колій порома

Палуба	Характеристика колії				Умовні місця
	Літера	Номер	Корисна довжина $L_j, м$	Місткість, ум. ваг.	
1	2	3	4	5	6
Верхня	A	01	118,5	8	2; 1; 8; 7; 14; 13; 20; 19
	B	02	132,5	9	26; 25; 32; 31; 40; 39; 44; 43; 48
	C	03	138,0	9	50; 49; 52; 51; 55; 57; 56; 54; 53
	D	04	132,5	9	29; 28; 36; 35; 42; 41; 46; 45; 47
	E	05	118,5	8	5; 4; 11; 10; 17; 16; 23; 22
Головна	A	06	132,0	9	97; 96; 95; 94; 93; 92; 91; 90; 89
	B	07	148,5	10	79; 78; 77; 76; 75; 74; 73; 72; 71; 70
	C	08	165,3	11	108; 107; 106; 105; 104; 103; 102; 101; 100; 99; 98
	D	09	148,5	10	69; 68; 67; 66; 65; 64; 63; 62; 61; 60
	E	10	132,0	9	88; 87; 86; 85; 84; 83; 82; 81; 80
Трюмна	B	11	74,0	5	6; 12; 18; 24; 30
	C	12	92,5	6	33; 34; 59; 58; 37; 38
	D	13	74,0	5	3; 9; 15; 21; 27

Нумерація місць на палубних коліях наскрізна для всього порома і відповідає прийнятій послідовності накатки вагонів.

На коліях головної палуби, на коліях *C* трюмною (від корми до ліфта і на ліфті) і верхньої (від ліфта до сектора та на секторі) палуб можна перевозити вагони масою до 160 *t*.

Для вертикального переміщення вагонів між головною, верхньою та трюмною палубами встановлено ліфт, вантажопідйомність якого становить  $Q_{\text{л}} = 170 \text{ т}$ . Ліфт має дві платформи довжиною по 30 *m*. На кожній платформі розміщуються два вагони довжиною до 14,7 *m*.

Вагони, подані ліфтом на верхню і трюмну палуби порома, встановлюються на штатні місця судовими локомотивами (унілоками).

Для горизонтального переміщення вагонів між коліями є поворотні сектори з платформами: на верхній палубі - місткістю два вагони, вантажопідйомністю 175 *t*, радіус повороту 35 *m*; на трюмній - місткістю один вагон, вантажопідйомністю 90 *t*, радіус повороту 22 *m*.

**Постановка задачі оптимізації завантаження порома.** Найбільш трудомісткою та тривалою технологічною операцією, що виконується на поромному комплексі, є формування составів вагонів для подачі на пором, що в практиці експлуатації передпоромної станції зазвичай називають «пліттю». Тривалість формування плітей, за всіх інших рівних умов, безпосередньо залежить від початкового розташування експортних вагонів у складах передаточних поїздів, що прибувають на поромний комплекс, та прийнятого порядку розміщення даних вагонів на палубах порома (каргоплану). Отже, для кожного конкретного випадку початкового розташування експортних вагонів у складах поїздів існує варіант каргоплану, який, при виконанні всіх обмежень із завантаження порома, забезпечував би найменшу тривалість формування плітей на передпоромній станції.

Таким чином, можливо сформулювати наступну оптимізаційну задачу з пошуку ефективного варіанту каргоплану завантаження порома. Нехай на передпоромній станції в довільний момент часу наявні *m* випадковим чином розміщених вагонів призначенням на пором місткістю *N* вагонів. Необхідно скласти такий каргоплан навантаження порома, який би забезпечував мінімальну тривалість формування плітей при виконанні наступних обмежень щодо завантаження порома:

- для забезпечення допустимої величини крену порома по бортах різниця між сумарною

масою  $\sum Q_j^n$  всіх вагонів, розташованих на коліях всіх палуб ліворуч від поздовжньої осі порома та сумарною масою вагонів  $\sum Q_j^n$ , розташованих на коліях всіх палуб праворуч від поздовжньої осі порома, не повинна перевищувати величини  $\Delta Q = 400 \text{ т}$  [14]

$$|\sum Q_j^n - \sum Q_j^n| \leq \Delta Q; \quad (1)$$

- сумарна довжина вагонів  $\sum l_m^j$ , встановлених на *j*-й палубній колії, не повинна перевищувати довжини даної колії  $L_j$

$$\sum l_m^j \leq L_j; \quad (2)$$

- сумарна довжина пари вагонів, яка, відповідно до прийнятої технології, накочується на пором з використанням ліфту, не повинна перевищувати місткості його платформи  $L_{\text{л}} = 29,4 \text{ м}$  [14]

$$l_n + l_{n+1} \leq L_{\text{л}}; \quad (3)$$

- сумарна маса пари вагонів, яка, відповідно до прийнятої технології, накочується на ліфт, не повинна перевищувати його вантажопідйомності  $Q_{\text{л}}$

$$q_n + q_{n+1} \leq Q_{\text{л}}. \quad (4)$$

Існують також додаткові вимоги до розміщення вагонів на поромі, пов'язані з перевезенням важких, негабаритних і небезпечних вантажів. У роботі такі вагони через їх незначну кількість не розглядаються.

Як видно з постановки задачі, прийнято допущення, що на момент вирішення задачі наявна на передпоромній станції кількість вагонів дорівнює 100 % завантаженню порома ( $m = N$ ).

При нестачі вагонів ( $m < N$ ), коли їх кількість не перевищує місткості  $N_{\text{гп}}$  головної палуби ( $m \leq N_{\text{гп}}$ ), передбачається, що завантаження проводиться тільки на головну палубу. В протилежному випадку ( $N_{\text{гп}} < m < N$ ) головна палуба завантажується повністю, а верхня і трюмна - пропорційно до їх місткості.

Якщо ж кількість наявних на станції вагонів перевищує загальну місткість порома, то з їх числа, виходячи з оперативної обстановки, певним чином відбираються *N* вагонів для першочергового відправлення на поромі.

Таким чином, варіанти з недостатньою або надлишковою щодо повного завантаження порома кількістю вагонів на станції в даній роботі не розглядаються, тому що каргоплан для таких умов буде окремим випадком базового каргоплану (складеного для завантаження *N* вагонів).

При максимальній місткості порома  $N = 108$  ваг. кількість можливих варіантів каргоплану, яка визначає розмірність даної оптимізаційної задачі, являє собою кількість перестановок  $P_m$  без повторень з  $m = N = 108$  елементів:

$$P_m = 108! \approx 1,32 \times 10^{174} \text{ варіантів.}$$

З огляду на велику розмірність задачі та зумовлену цим складність пошуку точного її рішення, для оптимізації каргоплану необхідно використовувати статистичні методи.

Таким чином, можливо сформулювати наступні етапи вирішення даної задачі:

1) Моделювання множини допустимих варіантів каргоплану порома – пошук таких варіантів розстановок вагонів по палубних коліях, які б задовольняли всім обмеженням завантаження порома. В результаті моделювання необхідно отримати розподіл вагонів початкового складу за плітьми та палубними коліями порома.

2) Для кожного з допустимих варіантів каргоплану, отриманого на попередньому етапі, визначається тривалість формування плітей вагонів шляхом моделювання процесу сортування вагонів кожної пліті.

3) На заключному етапі оптимізації з множини допустимих варіантів каргоплану визначається той його варіант, який забезпечує найменшу тривалість формування плітей. Цей варіант є рішенням задачі.

**Моделювання множини варіантів каргоплану.** Приймаючи до уваги велику розмірність задачі, для моделювання варіантів каргоплану було розроблено комп'ютерну програму. Для однозначної ідентифікації номерів місць в програмі кожному присвоєно код, який утворюється шляхом об'єднання номера умовного місця (стовпець 6, табл. 1) з номером палубної колії (стовпець 3, табл. 1), на якому це місце знаходиться. Наприклад, умовне місце 2 знаходиться на колії А, яка має номер 01. Для ідентифікації вказаного місця у програмі присвоєно код 201.

Для зменшення кількості варіантів каргоплану, вихідну множину  $S$  вагонів на пором слід попередньо розділити на дві підмножини:

- $S_1$  – вагони, які за своїми параметрами (маса, довжина) можуть бути завантажені на верхню та трюмну палубу через ліфт;
- $S_2$  – вагони, що не відповідають габаритно-ваговим обмеженням ліфту та підлягають перевезенню на головній палубі.

До підмножини  $S_1$  слід підбирати вагони, довжина яких не перевищує  $0,5L_{\text{л}} = 14,7 \text{ м}$ , а маса бруто –  $0,5Q_{\text{л}} = 85 \text{ т}$ . У підмножину  $S_2$  вагони записуються за залишковим принципом. Вагони через ліфт накочуються парами на умовні місця, представлені в табл. 2. Як видно з таблиці, всього на поромі 24 пари місць, на які вагони повинні накочуватись з використанням ліфту. Отже, розподілення вагонів на підмножини  $S_1$  та  $S_2$  дозволить скоротити кількість допустимих варіантів каргоплану зі  $108!$  до  $48! \times 60!$ .

Укрупнена блок-схема алгоритму моделювання допустимих варіантів каргоплану наведена на рис. 4.

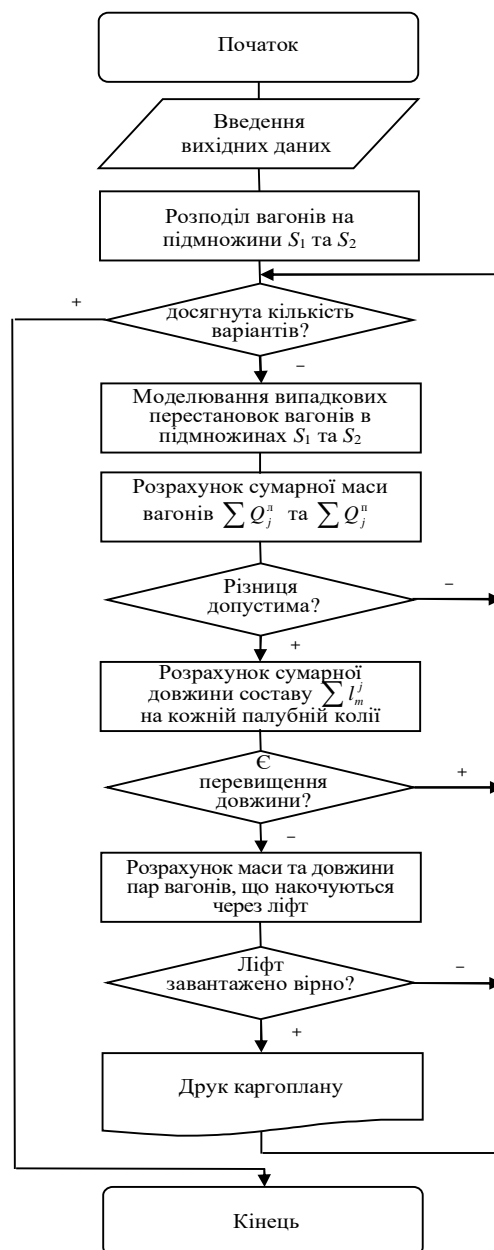


Рис. 4. Блок-схема алгоритму моделювання допустимих варіантів каргоплану

Пари вагонів, що накочуються через ліфт порома

Місце	Пара вагонів																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ваг. 1	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	56	58
ваг. 2	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	57	59

Згідно до представленої блок-схеми, після введення вихідних даних та вказання потрібної кількості допустимих варіантів каргоплану програмою виконується розподілення вагонів на підмножини  $S_1$  та  $S_2$ . Після чого моделюється випадкова комбінація вагонів у кожній з підмножин, в результаті чого формується варіант випадкового розміщення вагонів за умовними місцями на палубних коліях порома. Отриманий варіант розміщення вагонів перевіряється на виконання обмежень (1)-(4) щодо завантаження порома та ліфта.

При перевірці обмеження (1) порівнюється сумарна маса вагонів брутто на коліях 4, 5, 9, 10, 13 (правий борт) з масою вагонів на коліях 1, 2, 6, 7, 11 (лівий борт).

У разі, коли для окремої пари вагонів не виконуються умови (3)-(4), такі вагони все ж таки можуть бути завантажені ліфтом на верхню та трюмну палубу по одному. Цей порядок накатки вагонів призведе до збільшення тривалості завантаження порома, тому такий варіант каргоплану слід вважати умовно недопустимим. У виняткових випадках, коли допустимий каргоплан знайти не вдалося (через несприятливі параметри вагонів), за допустимий каргоплан слід прийняти варіант розміщення вагонів, що забезпечує найменшу кількість порушень завантаження ліфта.

У випадку, коли в ході перевірки чергового варіанта розміщення вагонів, порушень обмежень (1)-(4) не виявлено, цей варіант слід вважати допустимим каргопланом. В результаті успішної ітерації циклу моделювання каргоплану друкується варіант розподілення вагонів за умовними номерами місць на палубних коліях порому.

**Моделювання процесу формування плітей.** Вагони для завантаження на пором формуються у 4 пліті (в скобках вказано послідовність вагонів за умовними місцями на поромі) [14]:

- I пліть – 30 вагонів на верхню палубу (умовні місця 1-30);
- II пліть – 18 вагонів на верхню та трюмну палубу (умовні місця 31-48);
- III пліть – 30 вагонів на всі палуби (умовні місця 49-69, 80-88);

- IV пліть – 30 вагонів на головну палубу (умовні місця 70-79, 89-108).

У відповідності до вказаного порядку розташування вагонів в плітях необхідно виконати сортування вихідного складу, закріплення вагонів якого за умовними місцями на поромі виконано на попередньому етапі.

Як видно, пліть є багатогрупним складом, який в загальному вигляді може бути представлений як множина вагонів  $C$ , яку можливо розділити на підмножини (групи  $G_i$ ) у відповідності з призначенням вагонів:

$$C = \{G_1, G_2, \dots, G_N\}. \quad (5)$$

В сформованій пліті вагони повинні бути зібрані у групи, а групи розташовані у необхідній послідовності. Пронумерувавши групи сформованого складу порядковими номерами  $g = 1..N$ , склад можна представити впорядкованою множиною груп вагонів:

$$S = \{g_1, g_2, \dots, g_N\}. \quad (6)$$

Характерною особливістю пліті вагонів на пором є значна кількість груп  $g$  на окремі умовні місця на палубних коліях; при цьому кількість груп  $g$  дорівнює кількості вагонів  $m$  в пліті. Цей факт підвищує трудомісткість процесу сортування вагонів на передпоромній станції та суттєво впливає на тривалість обробки порому на комплексі.

В теперішній час найбільшого поширення в теорії маневрової роботи отримали два методи формування багатогрупних складів: комбінаторний і розподільчий. Обидва методи базуються на різних варіантах порозрядного сортування чисел [15].

Окремо від методу слід виділити поняття схеми формування, яку можна представити послідовністю логічних номерів колій (ЛНК)  $\mu_i$ , на які потрібно спрямувати відчепи на кожному етапі формування  $D$ .

При застосуванні кожного методу формування прийнято замінювати дійсні номери груп вагонів  $g_i$  логічними номерами груп (ЛНГ)  $\gamma_i$ . При цьому у випадку пліті (кожна група складається з 1 вагона) ступінь скорочення

числа ЛНГ досягає максимуму; при цьому середня кількість ЛНГ в пліті складе  $(N+1)/2$ .

Формалізація схеми формування складу на  $r$  коліях комбінаторним методом виконується шляхом представлення ЛНГ  $\gamma_i$  в фібоначчівій системі числення:

$$\Phi_r(\gamma) = \Phi_{D-1}, \Phi_{D-2}, \dots, \Phi_1, \quad (7)$$

де  $\Phi$  – складові цифри фібоначчівого числа  $\Phi$ , що приймають значення 0 або 1.

Числа  $\Phi_r(\gamma)$  використовуються для визначення ЛНК  $\mu_i$ , на яку необхідно направити  $i$ -й відцеп з ЛНГ  $\gamma_i$  при сортуванні на кожному етапі формування.

Суттєвою перевагою комбінаторного методу сортування є відсутність операцій збирання вагонів з сортувальних колій після кожного етапу формування. На завершальному етапі всі вагони розташовуються в потрібному порядку на одній колії.

Формалізація схеми формування складу на  $r$  коліях розподільчим методом здійснюється шляхом представлення ЛНГ  $\gamma_i$  у позиційній системі числення з основою  $r$ :

$$\gamma = \psi_{D-1}r^{D-2} + \dots + \psi_1r^0, \quad \psi_j \in [0, r-1]. \quad (8)$$

При використанні однакової кількості колій розподільчий метод вимагає значно меншої кількості етапів формування, ніж комбінаторний. Причому, різниця у числі етапів збільшується зі зростанням кількості колій та груп в складі.

Однак розподільний метод має і суттєвий недолік, що полягає в необхідності збирання вагонів з усіх колій перед кожним сортуванням. Таким чином, неможливо однозначно обрати ефективний метод без виконання порівняльного аналізу тривалості формування плітей  $T_\Phi$  з використанням кожного з розглянутих способів сортування.

Отже, задача зводиться до обрання такої схеми формування з множини схем  $Z$ , яка б забезпечувала мінімальну величину  $T_\Phi$ . При цьому в багатьох випадках величина  $Z$  достатньо велика, у зв'язку з чим для пошуку квазіоптимального рішення необхідно використовувати статистичний підхід. Авторами [15] в якості рішення, близького до оптимального, запропоновано використовувати непараметричний односторонній толерантний ліміт, заснований на мінімальному значенні  $T_\Phi$  в вибірці обсягом  $n_0$ . Величина  $n_0$  є мінімальним обсягом вибірки, при якій зі статистичною надійністю  $\beta$  можна стверджувати, що частка  $\alpha$  генеральної сукупності

перевищує мінімальне значення у вибірці. При  $Z > 299$  якщо випадковим чином обрати 299 схем формування, то знайдене за цією вибіркою  $T_\Phi$  буде мінімальним з імовірністю  $\beta = 0,95$  для 99% значень генеральної сукупності [15].

В роботі було визначено 30 допустимих варіантів каргоплану, для яких виконано розрахунок тривалості формування плітей ( $30 \times 4 = 120$  спостережень) комбінаторним та розподільчим методами. При цьому в якості сортувального пристрою була обрана гірка; для сортування вагонів виділено 3 колії.

У ході оптимізації процесу формування плітей для кожної з них було знайдено квазіоптимальну схему формування. Так, відповідно до описаної методики, для кожної пліті випадковим чином було визначено 299 схем формування, серед яких була знайдена схема, яка забезпечує найменшу тривалість формування. Результати статистичної обробки тривалості формування плітей  $T_\Phi$  комбінаторним та розподільчим методами представлені на рис. 5.

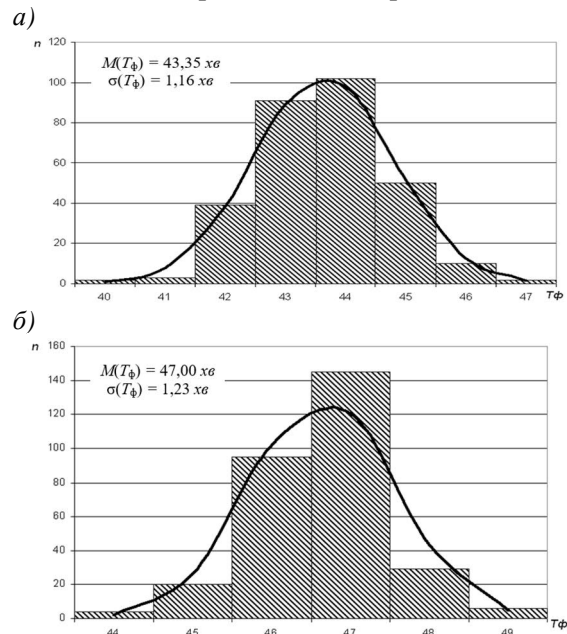


Рис. 5. Гістограма розподілення випадкової величини тривалості формування плітей методами: а) комбінаторним; б) розподільчим

Як видно з рисунку, випадкова величина тривалості формування плітей має розподілення близьке до нормального закону. При цьому 96 % розглянутих випадків використання комбінаторного методу забезпечує меншу в порівнянні з розподільчим методом тривалість формування плітей. В той же час, розкид випадкової величини  $T_\Phi$  для кожної пліті по кожному методу формування є незначним і знаходиться в межах 2,2-2,6 хв.

## Висновки

Таким чином, в даній роботі запропонована процедура оптимізації каргоплану завантаження порому, яка дозволяє визначити такий варіант розстановки вагонів по палубним коліям, який би забезпечував найменшу тривалість формування плітей при безумовному виконанні обмежень із завантаження порома.

Як показали дослідження, для пошуку оптимального каргоплану завантаження порому відсутня необхідність моделювання значної кількості його допустимих варіантів, тому що за рахунок оптимізації процесу формування плітей отримані варіанти будуть практично рівноцінними.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. TRANS-CASPIAN INTERNATIONAL TRANSPORT ROUTE URL: <https://middlecorridor.com/ru> (дата звернення: 15.11.2021).
2. Нурмухамедов Р. З. Оптимизация работы портовой станции с паромной переправой путем применения математических методов. – Ташкент:ТашИИТ, 1975. – 80 с.
3. Нурмухамедов Р. З. Пути рациональной организации местной работы портовой станции и прилегающего к ней участка // Сборник трудов / ТашИИТ. – 1975. – Вып. 119. – С. 3-12.
4. Нурмухамедов Р. З. Расчет числа путей в предпаромном парке с учетом суточной неравномерности прибытия вагонов, отправляемых паромами // Сборник трудов / МИИТ. – 1975. – Вып. 497. – С. 96-98.
5. Нурмухамедов Р. З., Маисова Г.А. Расчет пропускной способности паромных переправ и исследование процесса накопления вагонов, отправляемых паромами // Сборник трудов / ТашИИТ. – Ташкент, 1976. – Вып. 132. – С. 34-41.
6. Мокейчев Е. Ю. Разработка схем и методов расчета железнодорожных устройств морских

паромных переправ: Автореф. дис. на соиск. ученой степ. к.т.н. – М., 1988. – 23 с.

7. Симонян С. А. Взаимодействие предпаромной станции и паромного комплекса (на примере паромной переправы Клайпеда (СССР) - Мукурран (ГДР)): Автореф. дис. на соиск. ученой степ. к.т.н. – М., 1989. – 24 с.

8. Helmke Bjorn Verbindung mit politischer Sprengkraft // DVZ: Dtsch. Logist.-Ztg.– 2006. – № 140. – 20 с.

9. Fahre Sassnitz-Baltijsk eroffnet neue Wege // DVZ: Dtsch. Logist.-Ztg., 2007. – Sonderbeil. 17 Nov. Osteuropa. – 11 с.

10. Eisenbahnfahre nach Georgien // DVZ: Dtsch. Logist.-Ztg. – 2007. – № 46. – С. 14.

11. Казымбетова И. Х. Типовая модель железнодорожных паромных перевозок / Казымбетова И. Х., Петухов В. С., Яровицкий Н. В. // Вопросы исследования транспортных систем / ИК АН УССР. – Киев. – 1976. – С. 48-57

12. Куликова В. А. Координация работы железнодорожного и водного транспорта в условиях функционирования паромных переправ. Автореф. дис. на соиск. ученой степ. к.т.н. – М., 1984. – 23 с.

13. Кособокова Е. Н. О моделировании работы станции обслуживания паромной переправы // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. – 2005. – № 1. – С. 11-17.

14. Международная паромная переправа Ильичевск-Варна: А. Е. Суколенов, Э. Захариев, И. Г. Гутин и др.; Под ред. А. Е. Суколенова. – М.: Транспорт, 1989. – 103 с.

15. Бобровский, В. И. Совершенствование методики выбора рациональной технологии формирования многогруппного состава / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вып. 131. – С. 162–171.

Надійшла до редколегії 15.11.2021.

Прийнята до друку 29.11.2021.

Е. Б. ДЕМЧЕНКО

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПАРОМНОЙ ПЕРЕПРАВЫ

**Цель.** В современных условиях Украина, имея разветвленную железнодорожную сеть и развитую инфраструктуру морских портов, расположенных на ее черноморском побережье, становится связующим звеном в новых маршрутах доставки грузов в направлении ЕС-Китай. Перевозка крупных партий грузов в указанном направлении обычно осуществляется в контейнерах морским транспортом. При этом такие перевозки характеризуются с одной стороны сравнительно низкой стоимостью, а с другой – достаточно длительными сроками доставки. Альтернативным вариантом является перевозка в железнодорожно-водном сообщении, что позволяет при умеренном повышении стоимости добиться существенного сокращения сроков доставки грузов. Экономическая привлекательность такой схемы транспортировки существенно зависит от показателей работы паромных переправ на Каспийском и Черном море. В связи с этим целью данной работы является повышение эффективности международной паромной переправы за счет совершенствования ее логистического обеспечения на береговых паромных комплексах. **Методика.** Для достижения поставленной в работе цели использованы методы статистического анализа для определения объемов и структуры



паромных перевозок; методы имитационного моделирования для определения эффективных вариантов загрузки паромов; теория маневровой работы для оптимизации процесса подбора вагонов согласно определенному каргоплану. **Результаты.** В работе выполнен анализ требований к загрузке парома и разработана компьютерная модель, позволяющая получить допустимые варианты распределения вагонов по его палубам (каргоплан). На основе полученных вариантов каргоплана выполнено моделирование процесса формирования многогруппных составов комбинаторным и распределительным методами. По результатам моделирования даны рекомендации по выбору эффективного метода формирования составов и требуемому количеству вариантов каргоплана. **Научная новизна.** Автором усовершенствована методика определения эффективного каргоплана загрузки парома, которая в отличие от существующей учитывает процесс формирования составов вагонов для подачи на паром. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности управления международными грузовыми перевозками в смешанном железнодорожно-водном сообщении.

*Ключевые слова:* железнодорожный паром, береговой комплекс, смешанные международные перевозки грузов, каргоплан.

Yevhen DEMCHENKO

## IMPROVEMENT OF THE LOGISTIC SERVICE OF RAILWAY FERRY

**Purpose.** In modern conditions, Ukraine, having an extensive railway network and a developed infrastructure of seaports located on its Black Sea coast, is becoming a link in new goods delivery routes in the direction of the EU-China. Transportation of large consignments of goods in the direction is usually carried out in containers by sea transport. At the same time, such transportation is characterized, on the one hand, by a relatively low cost, and on the other hand, by rather long delivery times. An alternative case is transportation by mixed rail-water communication, which allows, with a moderate increase in cost, to achieve a significant reduction in the delivery time of goods. The economic attractiveness of such a transportation scheme depends significantly on the performance of ferry crossings in the Caspian and Black Seas. In this regard, the purpose of this work is to increase the efficiency of international ferry services by improving its logistics support on coastal ferry complexes. **Methodology.** To achieve the work purpose, methods of statistical analysis were used to determine the volume and structure of ferry traffic; simulation methods to determine effective options for loading ferries; theory of shunting work to optimize the car classification according to the cargo plan. **Results.** There were analyzed the requirements for ferry loading and developed a computer model that allows to create acceptable plans for the cars location on ferry decks (cargo plan). On the basis of the obtained variants of the cargo plan, the modeling of the multi-group trains forming by combinatorial and distribution methods has been carried out. Based on the simulation results, recommendations of choosing the effective method for train forming and the required number of cargo plan variants were given. **Scientific novelty.** The author has improved the method for determining the effective cargo plan of the ferry loading, which takes into account the process of forming the trains of cars to be supplied to the ferry. **Practical significance.** The obtained results can be used to improve the efficiency of international freight transportation management in mixed rail-water traffic.

*Keywords:* railway ferry, coastal complex, mixed international freight transportation, cargo plane.