

УДК 656.2

Д. М. КОЗАЧЕНКО<sup>1\*</sup>, М. І. БЕРЕЗОВИЙ<sup>2\*</sup>, В. В. МАЛАШКІН<sup>3\*</sup>, С. В. БОРИЧЕВА<sup>4\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>2\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта mykola\_berezovyi@diit.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

<sup>3\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта viacheslav.malashkin@gmail.com, ORCID 0000-0002-5650-1571

<sup>4\*</sup> Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 677 37 57, ел. пошта svetikb81@gmail.com, ORCID 0000-0002-2064-6621

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПОТРІБНОЇ КІЛЬКОСТІ КОЛІЙ ЗЕРНОВИХ ТЕРМІНАЛІВ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

**Мета.** Україна входить у п'ятірку найбільших світових виробників зернових культур. Значна частина зернових експортується. Традиційно зернові вантажі йдуть на експорт через західні сухопутні переходи та морські порти Чорного та Азовського морів, причому основна частина експорту зернових прямує через порт Миколаїв та порти Великої Одеси. Залізничний транспорт забезпечує доставку в порти-експортери до 2/3 загального обсягу перевалки зернових у портах. Зважаючи на значну кількість операцій у загальному технологічному процесі обробки вагонів із зерновими вантажами в портах, потрібна потужність технічного оснащення залізничного транспорту (кількість колій, локомотивів, вагових пристроїв, тощо) відіграє суттєву роль у тривалості процесу перевалки і загальних експлуатаційних витратах. У цьому зв'язку встановлення потрібної кількості колій для обслуговування вантажопотоку зернових на експорт є актуальною задачею. **Методи.** Комплексний аналіз технічного оснащення та технології роботи залізничного транспорту зернових терміналів у морських портах, статистичний аналіз, графоаналітичне моделювання. **Результати.** На підставі обробки статистичних даних про затримки вагонів через комерційні браки із зерновими вантажами у морському порту виконано умовний поділ затриманих вагонів за причиною та, як наслідок, тривалістю затримки вагонів на довготривалі та короткотривалі. Встановлено характеристики випадкових величин тривалості затримки вагону та отримано залежності кількості затриманих вагонів від величини загального вагонопотоку із зерновими вантажами, що поступає у перевалку. Для короткотривалих затримок це поліноміальна залежність другого ступеню, для довготривалих характерною є експоненційна залежність. На підставі досліджень встановлено додаткову колійну ємність для відстою затриманих вагонів та розроблено рекомендації стосовно кількості таких колій та їх довжини. На підставі нормування тривалості маневрових операцій із затриманими вагонами встановлено додатковий потрібний робочий парк маневрових локомотивів для обслуговування затриманих вагонів та розроблено рекомендації із розташування вагонних ваг для комерційного зважування вагонів при виконанні операцій технологічного процесу обробки вагонів із зерновими вантажами в порту. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при встановленні кількості колій та загальної колійної ємності зернових терміналів у морських портах. Тривалість додаткових маневрових операцій з обслуговування затриманих вагонів дозволяє уточнювати розрахунки потрібного локомотивного парку зернових терміналів.

*Ключові слова:* морський порт; зерновий термінал, зерно, комерційний брак, затриманий вагон, маневрові операції, маневровий локомотив.

### Вступ

Україна традиційно є одним з провідних виробників зернових культур у світі і входить у п'ятірку найбільших експортерів зернової продукції. Так за даними Укрінформ [1] урожай 2021 року може перетнути рекордну межу в 100 млн т. І не дивлячись на те, що оцінки експертів щодо остаточного розміру врожаю зерна в

Україні досі відрізняються – усі фахівці сходяться в тому, що урожай зерна 2021 року – знову рекордний. Урожай 2020 року становив 82,2 млн тон, 2019 – 98 млн тон.

Асоціація зерновиробників прогнозує у поточному маркетинговому році і рекордний обсяг експорту, що може сягнути 70 млн тон.

Основна частка експорту зерна в Україні

припадає на морські порти, а до основних портів-експортерів слід віднести порти Чорноморськ, Південний, Одеський, Миколаївський. Їх особливістю є наявність спеціалізованих зернових терміналів з обсягами одночасного зберігання зернових вантажів у понад 200 тис тон в кожному з портів.

Основний обсяг експортної перевалки у морських портах [2] забезпечує залізничний транспорт – понад 60%, на автомобільний транспорт припадає близько третини експорту і незначна частка – 3-4% належить річковому транспорту. У зв'язку з цим портова залізнична інфраструктура повинна не тільки забезпечувати потоковість обробки вагонів та потрібний темп розвантаження, а й відповідати вимогам безпеки руху та забезпечувати схоронність вантажу і якість перевезень.

Зважаючи на зростання ринку перевезень зернових вантажів, Укрзалізниця тільки в 2018 році збільшила власний парк хопер-зерновозів на понад 3 тисячі одиниць та змінила концепцію перевезення зернових вантажів. Збільшили свій парк зерновозів і приватні власники рухомого складу, що могло стати результатом проведеної дерегуляції вагонної складової.

Нова концепція перевезення зернових вантажів передбачає збільшення частки їх маршрутних відправок до 80 % наявного парку, що за теорією дає можливість зменшити обіг вагону в русі як у навантаженому, так і в порожньому стані, консолідувати вантаж на визначених ділянках, та обмежити вантажовласників у бажанні використовувати вагони компанії як склади на колесах у припортових станціях. Концепцією передбачено також значне зменшення кількості залізничних станцій, відкритих для вантажних операцій із зерновими вантажами, що дозволяє скоротити витрати залізниць, пов'язані з обслуговуванням станцій на малодіяльних ділянках.

Слід відзначити, що можливість формування наскрізних поїздів з порожніх вагонів з під зернових вантажів призначенням на станції навантаження безпосередньо на припортових станціях за оперативним планом все ж призводить до значних додаткових експлуатаційних витрат як вказаних станцій, так і стивідорних компаній. Ці витрати пов'язані з недостатньою кількістю залізничних колій, хоча для Укрзалізниці, як перевізника вказаний захід дає економію витрат на рухівницькі операції.

### **Постановка завдання дослідження**

В процесі обробки вагонів із зерновими вантажами в морських портах у певної кількості

вагонів виявляються комерційні браки, що потребують затримання вагонів та їх відстою в очікуванні прийняття рішення, що дасть можливість визначення подальшої послідовності дій із вказаним вагоном.

Причин, що викликають такі затримки кілька, а виникають вони у різні моменти на протяжці часу перебування вагонів у морському порту. До основних причин слід віднести:

- прибуття вагону в порт без документів;
- відсутність чи порушення цілісності запірно-пломбувальних пристроїв;
- розходження між масою вантажу, отриманою за результатами комерційного зважування і даними перевізних документів;
- розходження між якістю вантажу та даними перевізних документів, отримане в результаті відбору проб та виконання лабораторних аналізів.

На кожному з етапів виникає необхідність у виконанні сортування вагонів з метою вибирання із складу поїзда чи з передачі, що подана під розвантаження затриманого вагону і постановку цього вагону на спеціалізовану колію відстою.

Далі з вагонами виконуються дії та складаються документи – комерційні та акти загальної форми, що передбачені розділом 28 Правил перевезень вантажів [3].

Окрім затрат локомотиво-годин маневрової роботи, пов'язаної з обробкою вагонів з комерційними браками виникає потреба у додатковій колійній ємності для відстою вагонів.

### **Мета дослідження**

Організація ефективного процесу перевалки експортних зернових вантажів у морських портах з метою раціонального використання спеціалізованої інфраструктури (залізничних колій, вагових пристроїв, лабораторного устаткування), маневрових локомотивів, вантажних механізмів, складського господарства, тощо безумовно є безумовно актуальною задачею.

Метою дослідження є встановлення на підставі статистичного аналізу додаткових витрат локомотиво-годин маневрової роботи з обслуговування вагонів з комерційними браками та додаткової колійної ємності для відстою таких вагонів; розробка організаційно-технічних заходів, спрямованих на зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з комерційною роботою залізничного господарства портів за умови забезпечення виконання планових розмірів перевалки зернових вантажів у портах.

Дослідження виконані на прикладі та з використанням статистичного матеріалу одного з

найбільших портів-експортерів зернових в Україні – порту «Трансінвестсервіс».

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам удосконалення процесу перевезення зернових вантажів присвячена значна кількість праць українських вчених, зокрема науковців з Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Так в роботі [4] розглянуто перспективи наращування обсягів перевезення зернових вантажів залізницями України та основні проблеми, які виникають при цьому. Слід відзначити, що автори практично точно передбачили ситуацію, коли динамічне зростання виробництва зернових буде обмежуватися недостатньою кількістю зерновозів та вимагатиме впровадження організаційних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності вагону. Підвищення продуктивності вагону може бути досягнуте тільки шляхом скорочення його обігу, а цього можна досягти, у тому числі, шляхом впровадження маршрутизації перевезень та скороченням простоїв вагонів на станціях зародження і погашання вантажопотоку, а також на попутних технічних станціях.

Заслуговує уваги робота [5], де розглянута задача підвищення ефективності організації порожніх вагонопотоків в логістичному ланцюгу поставки залізничної сировини з Полтавського ГЗК в транспортний вузол порту «Трансінвестсервіс», де здійснюється перевалка вантажу на морський транспорт.

Для цього було проведено експеримент, в ході якого досліджувалась існуюча технологія та технологія формування відправницьких маршрутів з порожніх вагонів. Існуюча технологія передбачає відправлення порожніх вагонів з портової приватної станції Хімічна в складі передатних поїздів в загальному вагонопотоці на станцію Чорноморська, де здійснюється їх переформування згідно плану формування. Експеримент передбачав формування відправницьких маршрутів безпосередньо на станції Хімічна, а досліджувалось просування вагонів у порівнянні з існуючою технологією.

Техніко-економічні розрахунки показали, що маршрутизація перевезень дає економію витрат не тільки Укрзалізниці як перевізнику, а і оператору вагонів за рахунок підвищення продуктивності вагону.

В той же час відправник несе додаткові витрати у зв'язку з більшою тривалістю простою вагонів в очікуванні накопичення та через

дефіцит колійної ємності, що виникає при цьому. Ці втрати можуть бути компенсовані за рахунок операторів вагонів, зацікавлених у прискоренні обігу вагону.

Отримані результати можливо спроектувати і на перевезення зернових, а більш детально проблеми, які з'являються на портових станціях описано в роботі [6], де на прикладі станції Одеса-Порт виконано аналіз впливу систематичного порушення діючого плану формування поїздів на умови роботи залізничних станцій Одеського вузла. Різницею організації роботи залізниці в Одеському вузлі, зокрема станції Одеса-Порт порівняно зі станцією Хімічна є те що станція Одеса-Порт є станцією загального користування, а Хімічна – незагальною, тобто приватною станцією.

Шляхи підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом наведені також в роботі [2], де систематизовано досвід північноамериканських залізниць, зокрема використання для перевезень зернових вантажів транспортних засобів біомодальної технології RailRunner. Однією з переваг вказаної системи є можливість перевезення вантажів на частині маршруту залізницею, а на частині автомобільним транспортом без вертикального перевантаження вантажних одиниць.

В роботі [7] розглянуто та систематизовано різноманітні варіанти організації перевезення зернових вантажів від станцій навантаження в морські порти для подальшого експорту: повагонні відправки, відправницька маршрутизація, організація руху поїздів за розкладом, тощо. Оцінка ефективності варіантів організації перевезень виконана за допомогою розробленої імітаційної моделі.

Робота [8] присвячена аналізу існуючого стану та проблем функціонування системи зберігання зернових вантажів як елементу логістичного ланцюга доставки в морські порти для експорту.

В цілому дослідження стосуються вирішення окремих проблемних питань транспортування та зберігання зернових вантажів на експорт через морські порти України і практично не торкаються питань організації роботи зернових терміналів в умовах нерівномірності та сезонності перевезень зернових на експорт.

В даній статті розглянуті питання визначення додаткової колійної ємності для відстою затриманих вагонів, а також додаткових витрат локомотиво-годин на виконання маневрових операцій з такими вагонами.

## Основний матеріал дослідження

### Визначення затрат часу на обробку вагонів з комерційними несправностями.

Для визначення частки вагонів, що прибувають на під'їзну колію з комерційними несправностями виконано аналіз даних журналу «Вагони на контролі» на протязі 3 місяців та загальної кількості вагонів, що прибули на протязі розглянутого періоду.

Результати аналізу даних журналу «Вагони на контролі» наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати аналізу даних журналу «Вагони на контролі»

Вид вантажу	Прибуло вагонів всього	Затримано вагонів	Частка затриманих вагонів
Кукурудза	7681	453	0,059
Пшениця	4054	390	0,096
Рапс	254	80	0,297
Соя	1201	260	0,216
Ячмінь	2703	164	0,061
Горох	932	-	0
Шрот	194	-	0
<b>Всього</b>	<b>17019</b>	<b>1347</b>	<b>0,079</b>

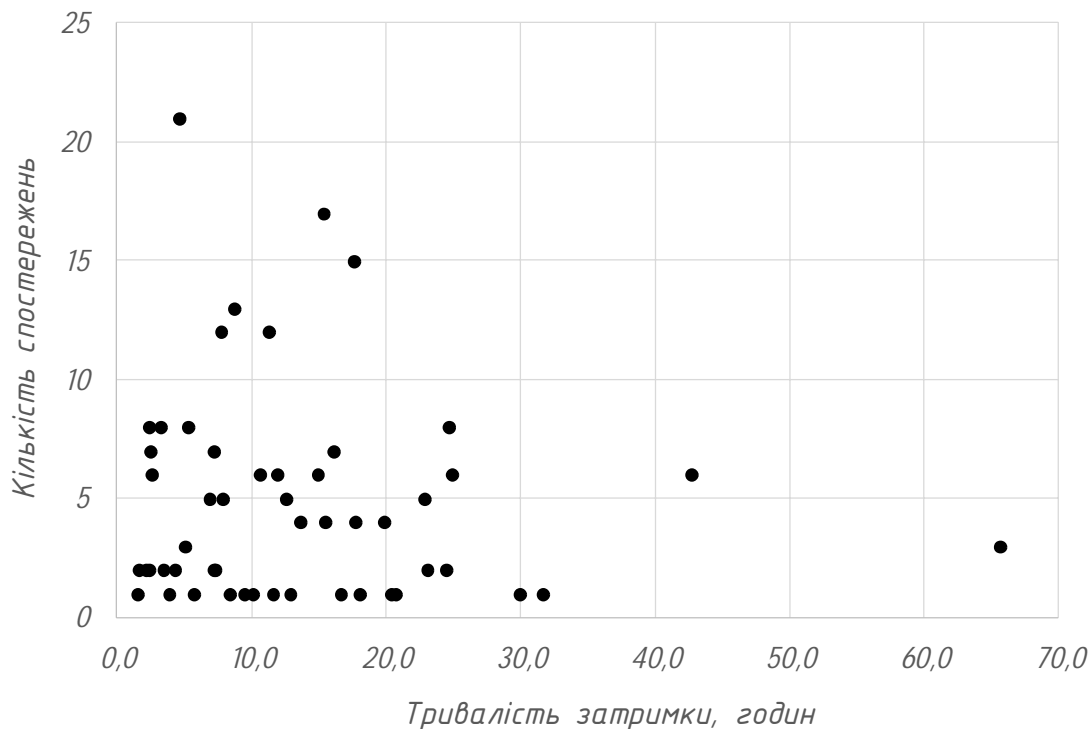


Рис. 1. Розподіл витрат часу на обробку вагонів з зерновими вантажами

Для визначення числових характеристик вказаних випадкових величин виконаний їх статистичний аналіз, результати якого наведені у табл. 2.

Аналіз даних табл. 1 показує, що систематичні затримки вагонів з комерційних несправностей характерні під час перевезення зернових вантажів. Всього за аналізований період прибуло 17019 вагонів із зерновими вантажами (кукурудза, пшениця, рапс, соя, ячмінь, горох, шрот), з яких 1347 вагонів було затримано у зв'язку з комерційними несправностями. Таким чином, ймовірність затримки вагонів із зерновими вантажами становить 0,079.

Аналіз тривалості затримки вагонів із зерновими вантажами показав широкий діапазон можливих значень – від 1,5 до 65,7 годин.

Затримки вагонів умовно класифіковано наступним чином. Затримки вагонів з комерційними несправностями тривалістю до 1 доби вважатимемо короткостроковими, тривалістю більше 1 доби – довгостроковими.

Короткострокові затримки зернових вантажів спостерігалися у 1133 випадках, а тривалі – 224 рази.

Діаграма розподілу витрат часу на обробку вагонів з зерновими вантажами наведена на рис. 1.

Виконаний аналіз кількості вагонів з зерновими вантажами, що прибувають на станцію, результати якого наведені у табл. 3.

Таблиця 2

Характеристики короткострокових і довгострокових затримок вагонів

Вид затримки вагонів	Числові характеристики випадкової величини $t_3$			
	$M[t_3]$ , год	$D[t_3]$ , год <sup>2</sup>	$\sigma[t_3]$ , год	$v[t_3]$
Короткострокові	9,9	33,1	5,6	0,57
Довгострокові	33,7	187,1	13,6	0,41

На основі регресивного аналізу даних, що містяться у табл. 2, отримані залежності кількості затриманих вагонів по видах затримок від добової кількості, які прибувають на станцію.

Так, кількість вагонів з короткостроковими затримками  $n_k$  має поліноміальну залежність другого ступеню від загальної кількості вагонів  $N$ , що прибувають, тобто

$$n_k = 13,214884 + 0,060841N + 0,000001N^2$$

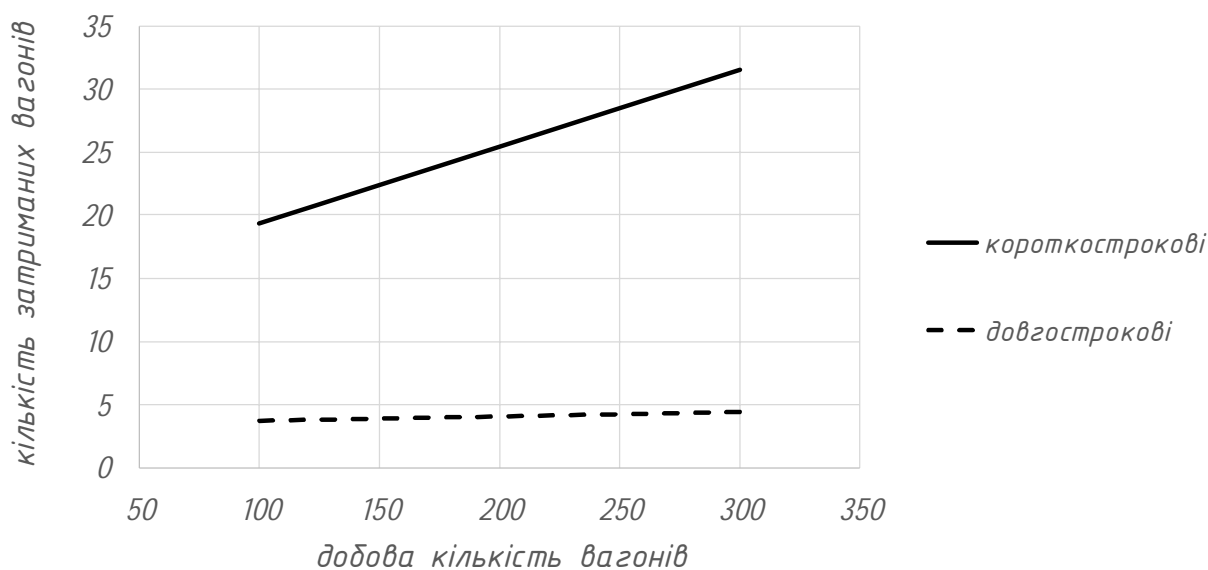


Рис. 2. Залежність кількості затриманих вагонів від добової кількості по видах затримок

Середня кількість затриманих вагонів, що знаходяться на зерновому терміналі у будь-який момент часу визначається за формулою

$$\bar{n}_3 = \frac{n_k M[t_{zk}] + n_d M[t_{zd}]}{24},$$

де  $M[t_{zk}]$ ,  $M[t_{zd}]$  – математичне очікування тривалості затримки вагонів з

Таблиця 3

Кількість затриманих вагонів по місяцям року

Місяць року	Кількість вагонів з зерновими вантажами	Кількість вагонів з короткостроковими затримками	Кількість вагонів з довгостроковими затримками
травень	5655	375	75
червень	4326	286	51
липень	6426	425	89
серпень	6755	446	85
вересень	6930	462	93

Для кількості вагонів з довгостроковими затримками  $n_d$  характерна експоненційна залежність, тобто

$$n_d = e^{1,220128+0,00088N}$$

У графічному вигляді отримані залежності представлені на рис. 2.

короткотривалою та довготривалою затримкою відповідно.

Для добового обсягу перевалки зернових вантажів на спеціалізованому терміналі 200 вагонів середня кількість затриманих вагонів у будь-який момент часу становить 16,2 вагону і при розсіюванні  $1,5\sigma[t_3]$  [9] може досягати 28,5 вагону.

Розрахунок кількості колій промислових

станцій – колій прийому, ходових, витяжних, неспеціалізованих сортувальних потрібно виконувати згідно з Будівельними нормами і правилами [10], якими не передбачено методики встановлення спеціальних колій, зокрема колій для відстою затриманих вагонів.

Встановлення потрібної колійної ємності для відстою затриманих вагонів потребує вирішення ще одного питання – кількості таких колій та їх конструкції – наскрізні чи тупикові. Слід відзначити, що це, як правило, тупикові колії.

При виділенні для відстою однієї колії буде виникати необхідність «діставати» з колії вагон, який знаходиться першим від упору тупика. У цьому випадку потрібно мати витяжну колію відповідної довжини, при її відсутності колії для відставки групи вагонів, тощо.

В залежності від кількості колій для відстою затриманих вагонів ці колії слід спеціалізувати для відстою вагонів з короткотривалими та довготривалими затримками, розташовувати поряд вагони, що слідує за одним перевізним документом, вагони, затримані за однаковою ознакою, тощо.

#### **Визначення витрат локомотиво-годин на маневри із затриманими вагонами.**

По треба у виконанні маневрової роботи із затриманими вагонами з комерційними браками впливає на потрібний парк маневрових локомотивів і потребує окремого нормування.

Так вагони із зерновими вантажами на портовій станції Хімічна порту «Трансінвестсервіс» сортуються на коліях приймально-відправного парку, де відбувається підбирання вагонів по вантажних фронтах, а вагонів із зерном, ще й по роду зерна. В процесі даного сортування із складу видаляються вагони, в яких був виявлений комерційний брак в процесі комерційного огляду та за результатами зважування.

Після передачі підібраних передач в Зерновий парк та відбору проб і виконання лабораторних аналізів виконується повторне сортування вагонів для видалення із складу передач вагонів з комерційними браками по якості вантажу. Частка вагонів, що не проходять контроль якості зерна згідно проведених спостережень становить 6,6%.

Частка передач з вагонами, що не пройшли контроль якості становить

$$d = 1 - (1 - 0,066)^{15} = 0,64.$$

Нормування тривалості маневрових пересувань [11, 12] при подачі затриманих вагонів на колію відстою та при поверненні вагонів після зняття контролю, показало, що витрата

локомотиво-годин на один затриманий вагон становить 0,685 локомотива-години.

Ймовірність затримки вагонів з іншими вантажами, що перевантажуються в порту значно нижча ніж для зернових вантажів і, наприклад, для сортового прокату становить 0,011, а для вугілля, аглоруди, окатишів, глини вогнетривкої, вантажів у контейнерах, тощо – 0,003.

Локомотиви порту не є закріпленими за окремим терміналами, тому слід враховувати, що потреба у виконанні додаткової маневрової роботи як і, як і можливість затримки вагонів зростає у разі зростання частки вагонів із зерновими. У цьому зв'язку розподіл вагонів за видами вантажу слід приймати для місяця, у якому частка вагонів із зерновими є найбільшою.

Наприклад, для порту «Трансінвестсервіс» таким місяцем є грудень, причому розподіл вантажів, що перевалюються за родами відповідає плановій структурі вагонопотоку. В протилежному випадку розподіл вантажів за родами повинен підлягати розрахунку для різних періодів року, що характерні визначеними частками різних вантажів, що прибувають під перевалку.

Частка вагонів із зерновими вантажами, що затримані з комерційними браками і подаються на колію відстою в грудні місяці становить  $p = 0,016$ .

Витрати локомотиво-хвилин, пов'язані з подачею затриманих вагонів на колію відстою та повернення вагонів після зняття контролю у розрахунку на один прибулий на під'їзну колію порту вагон становлять

$$t_{\text{ман}}^3 = 41,1 \times 0,016 = 0,66 \text{ хв/вагон.}$$

Таке нормування операцій із затриманими вагонами дозволяє встановити додатковий парк маневрових локомотивів.

#### **Висновки**

Організація роботи залізничного транспорту зернових терміналів у морських портах, що спеціалізовані на експортних операціях, потребує комплексного і системного підходу до вирішення питань визначення потрібної колійної ємності з розробкою спеціалізації залізничних колій та встановлення їх довжини, а також кількості маневрових локомотивів, що їх обслуговують.

В ході досліджень були сформульовані наступні висновки.

1) В даний час відсутня методика визначення потрібної колійної ємності зернових терміналів у морських портах.

2) Статистична обробка журналу «Вагони на контролі» зернового терміналу порту «Трансінвестсервіс» дозволила виконати умовний поділ затримок вагонів на короткотривалі та довготривалі і отримати на підставі регресійного аналізу залежності кількості затриманих вагонів із зерновими вантажами від загальної кількості вагонів, що прибувають під перевалку.

Отримані залежності дозволяють встановити додаткову колійну ємність для відстою затриманих вагонів.

3) З метою зменшення тривалості маневрових операцій із затриманими вагонами необхідно виділяти кілька колій з достатньою сумарною ємністю для групування вагонів з комерційними браками, що слідують у відстгій.

4) Нормування тривалості маневрових операцій з вагонами із зерновими, що затримані через наявність комерційних браків з приведенням результатів нормування до одного вагону, що прибув під перевалку дозволяє встановити витрати локомотиво-годин та додатковий парк маневрових локомотивів для обслуговування затриманих вагонів.

5) Отримані результати можуть бути використані при плануванні роботи зернових терміналів у морських портах, спеціалізованих на експорті зернових вантажів.

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Киргизова О. Врожай 2021: Україна може перетнути позначку у 100 млн тон зернових // Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3322842-vrozaj2021-ukraina-moze-peretnuti-roznasku-u-100-mln-tonn-zernovih.html> / (дата звернення: 15.11.2021).

2. Козаченко, Д. Підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Українські залізниці. – 2014. – № 7 (13). – С. 56–59. УДК 656.2.

3. Правила перевезень вантажів залізничним

транспортом України. Частина 1. [Текст] – К.: Видавничий дім «САМ». – 2004. – 432 с.

4. Мямлин, С. Проблемы и перспективы перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом в Украине / С. В. Мямлин, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вип. 2 (99). – С. 32–34.

5. Козаченко, Д. Оценка эффективности маршрутизации перевозки массовых грузов железнодорожным транспортом в современных условиях / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, А. И. Верлан // Збірник наукових праць ДонІЗТу. – Донецьк, 2012. – Вип. 31. – С. 25–29.

6. Козаченко, Д. Аналіз перспектив та передумов створення в Україні операторів залізничної інфраструктури / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, В. В. Малашкін, С. В. Боричева // Транспортні системи і технології перевезень. – 2020. – Вип. 20. – с. 66–73.

7. Козаченко, Д. Оценка эффективности технологии железнодорожных перевозок зерновых грузов с использованием имитационного моделирования / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, Р. Ш. Рустамов // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (31). – С. 109–113.

8. Вернигора, Р. В. Аналіз системи хранения украинского зерна / Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Дніпро, 2017. – Вип. 13. – С. 10–18. – DOI: 10.15802/tstt2017/110763.

9. Сотников И.Б. Эксплуатация железных дорог: в примерах и задачах. - М.: Транспорт, 1990. – 232 с.

10. Строительные нормы и правила СНиП 2.05.07-91 Промышленный транспорт.

11. Пособие по проектированию промышленных железнодорожных станций (к СНиП 2.05.07.85)

12. Методичні вказівки з визначення норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті. Наказ Укрзалізниці від 25.03.03. № 072-ЦЗ. Київ : Транспорт України, 2003. 96 с.

Надійшла до редколегії 15.11.2021.

Прийнята до друку 29.11.2021.

Д. Н. КОЗАЧЕНКО, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ, В. В. МАЛАШКИН, С. В. БОРЫЧЕВА

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ПУТЕЙ ЗЕРНОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ В МОРСКИХ ПОРТАХ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Цель.** Украина входит в пятерку крупнейших мировых производителей зерновых культур. Значительная часть зерновых экспортируется. Традиционно зерновые грузы идут на экспорт через западные сухопутные переходы и морские порты Черного и Азовского морей, причем основная часть экспорта зерновых следует через порт Николаев и порты Большой Одессы. Железнодорожный транспорт обеспечивает доставку в порты-экспортеры до 2/3 общего объема перевалки зерновых в портах. Учитывая значительное количество операций в общем технологическом процессе обработки вагонов с зерновыми грузами в портах, необходимая мощностей технического оснащения железнодорожного транспорта (количество путей, локомотивов, весовых устройств

и т.п.) играет существенную роль в длительности процесса перевалки и общих эксплуатационных расходах. В этой связи определение необходимого количества путей для обслуживания грузопотока зерновых на экспорт является актуальной задачей. **Методы.** Комплексный анализ технического оснащения и технологии работы железнодорожного транспорта зерновых терминалов в морских портах, статистический анализ, графоаналитическое моделирование. **Результаты.** На основании обработки статистических данных о задержке вагонов из-за коммерческих браков с зерновыми грузами в морском порту выполнено условное деление задержанных вагонов по причине и, как следствие, продолжительности задержки вагонов на длительные и кратковременные. Установлены характеристики случайных величин продолжительности задержки вагона и получена зависимость количества задержанных вагонов от величины общего вагонопотока с зерновыми грузами, поступающего в перевалку. Для кратковременных задержек это полиномиальная зависимость второй степени, для долговременных характерна экспоненциальная зависимость. На основании исследований установлена дополнительная путевая емкость для отстоя задержанных вагонов и разработаны рекомендации по количеству таких путей и их длине. На основании нормирования продолжительности маневровых операций с задержанными вагонами определен дополнительный рабочий парк маневровых локомотивов для обслуживания задержанных вагонов и разработаны рекомендации по расположению вагонных весов для коммерческого взвешивания вагонов при выполнении операций технологического процесса обработки вагонов с зерновыми грузами в порту. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при установлении количества путей и общей емкости зерновых терминалов в морских портах. Продолжительность дополнительных маневровых операций по обслуживанию задержанных вагонов позволяет уточнить расчет необходимого локомотивного парка зерновых терминалов.

*Ключевые слова:* морской порт, зерновой терминал, зерно, коммерческий брак, задержанный вагон, маневровые операции, маневровый локомотив.

D. KOZACHENKO, M. BEREZOVYI, V. MALASHKIN, S. BORYCHEVA

## FEATURES OF CALCULATION OF THE REQUIRED QUANTITY OF GRAIN TERMINAL TRACKS IN SEA PORTS IN MODERN CONDITIONS

**Purpose.** Ukraine is one of the world's five largest producers of grain crops. Much of the grain is exported. Traditionally, grain cargoes are exported through the western land crossings and seaports of the Black and Azov Seas, with the bulk of grain exports going through the port of Nikolaev and the ports of Greater Odessa. Rail transport provides delivery to exporting ports up to 2/3 of the total volume of grain transshipment in ports. Given the significant number of operations in the general technological process of processing grain wagons in ports, the required capacity of technical equipment of railway transport (number of tracks, locomotives, weighing devices, etc.) plays a significant role in the duration of the transshipment process and total operating costs. In this regard, determining the required number of ways to service the flow of grain for export is an urgent task. **Methodology.** Comprehensive analysis of technical equipment and technology of railway transport of grain terminals in seaports, statistical analysis, graph-analytical modeling. **Results.** Based on the processing of statistics on the delay of wagons due to commercial marriages with grain cargo in the seaport, the conditional division of detained wagons due to and, consequently, the duration of delay of wagons into long and short. The characteristics of random values of the delay of the car are established and the dependence of the number of detained cars on the value of the total car traffic with grain cargo entering the transshipment is obtained. For short-term delays it is a polynomial dependence of the second degree, for long-term delays it is characterized by exponential dependence. Based on research, an additional track capacity has been established for the sedimentation of detained cars and recommendations have been developed for the number of such tracks and their length. Based on the rationing of the duration of shunting operations with delayed wagons, an additional working fleet of shunting locomotives for servicing delayed wagons was determined and recommendations for the location of wagon scales for commercial weighing of wagons in the process of processing grain wagons in the port. **Practical significance.** The obtained results can be used to determine the number of tracks and the total capacity of grain terminals in seaports. The duration of additional shunting operations to service the detained cars allows to clarify the calculation of the required locomotive fleet of grain terminals.

*Keywords:* seaport, grain terminal, grain, commercial marriage, delayed car, shunting operations, shunting locomotive.