

УДК 656.222.3:656.212.5

Г. І. НЕСТЕРЕНКО¹, М. І. МУЗИКІН^{2*}, В. Л. ГОРОБЕЦЬ³, С. І. МУЗИКІНА⁴¹Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201^{2*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, ел. пошта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061³Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, ел. пошта v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461⁴Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, ел. пошта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ВАГОНОПОТОКІВ
ПО ПРИБУТТІ ТА ВІДПРАВЛЕННІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ Х

Мета. Наукова робота має за мету аналіз наявної організації вагонопотоків по сортувальній станції із метою зменшення простою вагонів. **Методика.** Використовуючи методи математичної статистики, були побудовані гістограми розподілу вагонопотоків сортувальної станції та проведено оцінювання їх параметрів. Проаналізовано виконання основних кількісних та якісних показників роботи станції. Для аналізу впливу об'єму переробки на елементи простою на станції транзитного вагону із переробкою побудовано графік залежності елементів простою вагонів від об'єму переробки. Характер зміни кривих на графіку наглядно відображає вплив об'єму переробки на два елементи простою: під накопиченням та в очікуванні виконання операцій. **Результати.** Підтверджено, що питання скорочення середнього часу простою вагонів усіх категорій на станції потрібно вирішувати за рахунок зменшення часу непродуктивного простою. Вірне визначення середнього часу знаходження на станції транзитних вагонів із переробкою має важливе значення, тим паче в умовах нової системи економічного стимулювання. Але до цього часу так і немає окремої методики визначення простою вагонів, яка б дозволяла об'єктивно враховувати технічну оснащеність та технологію роботи і не давала місця для суб'єктивних рішень. **Наукова новизна.** Одним із основних видів непродуктивного простою при перевезенні вантажів залізничним транспортом є простій на сортувальних станціях в очікуванні виконання технологічних операцій через завантаженість системи. Зменшення цього показника можливе при раціональному використанні пропускної спроможності сортувальних станцій за умови раціонального розподілу вагоно- та поїздопотоків між основними сортувальними станціями Укрзалізниці. **Практична значимість.** Аналіз зміни елементів простою в залежності від об'єму переробки дозволяє не тільки цілеспрямовано визначати методи по скороченню простою вагонів, але й здійснювати вірну оцінку роботи колективу станції, а також корегувати норму простою вагонів.

Ключові слова: вагонопотік; сортувальна станція; об'єм переробки; простій вагонів; параметр накопичення

Вступ

Сортувальна станція – складний комплекс технологічно взаємозв'язаних елементів, призначених для переробки вагонопотоку.

Сортувальні станції на мережі залізниць України, як правило, розташовуються у вузлах. Вони переробляють потоки, що надходять з різних напрямків. Ці станції завжди були найбільш завантаженими і саме від них залежала пропускна спроможність всієї лінії, оскільки 70 % всіх вагонопотоків переробля-

ються у вузлах. Тому питання удосконалення роботи сортувальних станцій у вузлах має дуже важливе значення.

Поводження вхідного і вихідного потоків є однією з найбільш важливих вимог до компонентів, що враховуються під час опису функціонування будь-якої системи масового обслуговування.

Аналіз питання прибуття поїздів виконувався вченими В. М. Акулінічем, Т. В. Бутько,

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Н. Н. Шабаліним, І. Б. Сотніковим, К. К. Талем, П. С. Грунтовим, А. М. Макаро́чкіним та ін. [1–14] Дослідження показали, що розподіл інтервалів між поїздами з достатнім ступенем точності може бути апроксимовано за допомогою показникового закону або узагальненого закону Ерланга і в рідкісних випадках – закону Ерланга більш високого порядку.

Мета

Аналіз наявної організації вагонопотоків по сортувальній станції з метою зменшення простою вагонів.

Методика

Використовуючи методи математичної статистики, побудуємо гістограми розподілу вагонопотоку по сортувальній станції X та виконаємо оцінювання їх параметрів (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, коефіцієнт нерівномірності) [1, 2, 14].

З загального вагонопотоку по станції слід виділити вагонопотоки як в непарному, так і в парному напрямку. До загального вагонопотоку входять вагони робочого і неробочого парків. Вагони робочого парку, в свою чергу, залежно від станції призначення поділяються на транзитні (з переробкою та без) та місцеві [3–6].

Для транзитного вагонопотоку без переробки, враховуючи незначний час простою на станції та невелику кількість відчеплених та причеплених вагонів, можна припустити, що вхідний потік дорівнює вихідному за вибраний період. Для визначення середнього значення, дисперсії і середньоквадратичного відхилення місячний вагонопотік необхідно розбити на інтервали. Розрахунок середніх значень інтервалів в розряді, їх частки від загальної кількості ваги інтервалів і дисперсій добового транзитного вагонопотоку без переробки наведено у тексті. Добовий транзитний вагонопотік без переробки розбиваємо на інтервали з кроком 100 ваг.

Середнє значення добового транзитного вагонопотоку без переробки у непарному напрямку $N_{\text{ср}} = 537$ ваг. Дисперсія характеризує відхилення фактичної кількості вагонопотоку від середнього значення і дорівнює $28\,809 \text{ ваг}^2$.

Для зручності співставлення середнього значення вагонопотоку і відхилення фактичного вагонопотоку від цього середнього значення користуються середнім квадратичним відхиленням, яке дорівнює $\sigma = 170$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного вагонопотоку без переробки у непарному напрямку наведено на рис. 1.

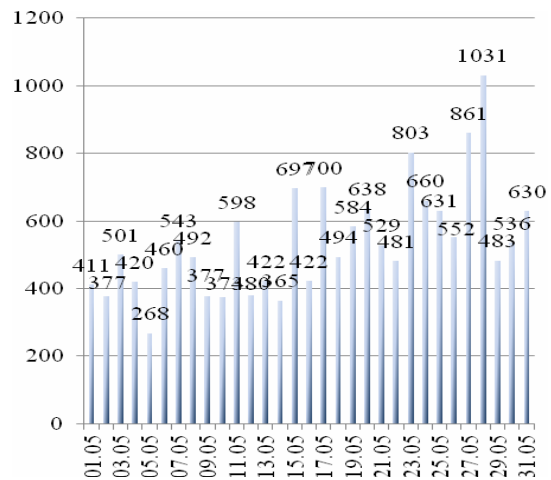


Рис. 1. Гістограма розмірів добового транзитного вагонопотоку без переробки у непарному напрямку

Середнє значення добового транзитного вагонопотоку без переробки у парному напрямку $N_{\text{ср}} = 620$ ваг. Дисперсія дорівнює $65\,108 \text{ ваг}^2$. Середнє квадратичне відхилення – $\sigma = 255$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного вагонопотоку без переробки у парному напрямку наведено на рис. 2.

Середнє значення загального добового транзитного вагонопотоку без переробки $N_{\text{ср}} = 1\,151$ ваг. Дисперсія дорівнює $106\,881 \text{ ваг}^2$. Середнє квадратичне відхилення – $\sigma = 327$ ваг. Гістограму розмірів загального добового транзитного вагонопотоку без переробки наведено на рис. 3.

Транзитний потік з переробкою може бути об'єднаним з місцевим внаслідок того, що обидві категорії вагонів прибувають у поїздах, що перероблюються по станції X. Вхідний потік не дорівнює вихідному за вибраний період через значний час знаходження вагонів по станції та наявність кутового потоку.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

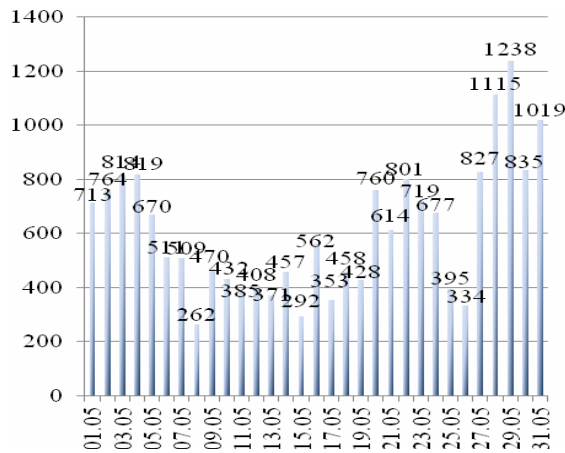


Рис. 2. Гістограма розмірів
добового транзитного вагонопотоку
без переробки у парному напрямку

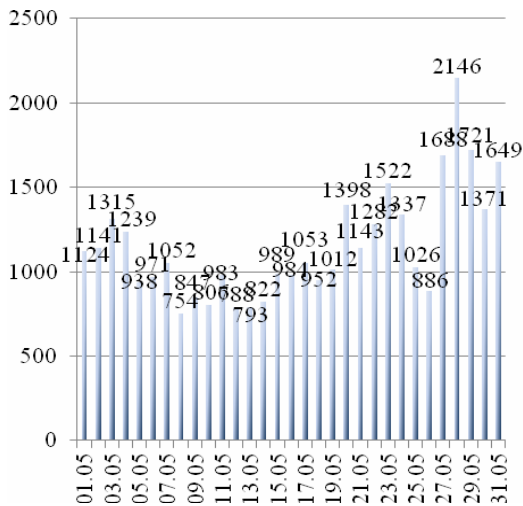


Рис. 3. Гістограма розмірів загального
добового транзитного вагонопотоку
без переробки

Середнє значення добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті з непарного напрямку $N_{\text{ср}} = 1154$ ваг. Дисперсія дорівнює 31291 ваг^2 . Середнє квадратичне відхилення – $\sigma = 177$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті з непарного напрямку наведено на рис. 4.

Середнє значення добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті з парного напрямку $N_{\text{ср}} = 808$ ваг. Дисперсія дорівнює 17251 ваг^2 . Середнє квадратичне відхилення – $\sigma = 131$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного з переробкою та

місцевого вагонопотоків по прибутті з парного напрямку наведено на рис. 5.

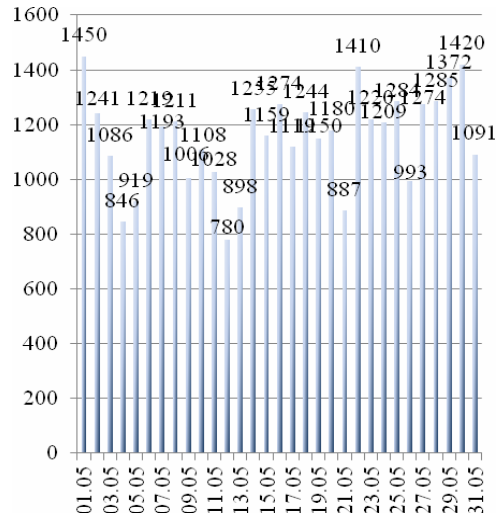


Рис. 4. Гістограма розмірів
добового транзитного з переробкою
та місцевого вагонопотоків по прибутті
з непарного напрямку

Середнє значення загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті $N_{\text{ср}} = 1970$ ваг. Дисперсія дорівнює 42056 ваг^2 . Середнє квадратичне відхилення – $\sigma = 205$ ваг. Гістограму розмірів загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті наведено на рис. 6.

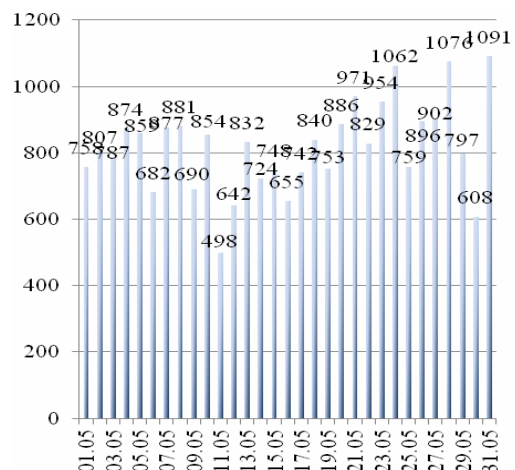


Рис. 5. Гістограма розмірів
добового транзитного з переробкою
та місцевого вагонопотоків по прибутті
з парного напрямку

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

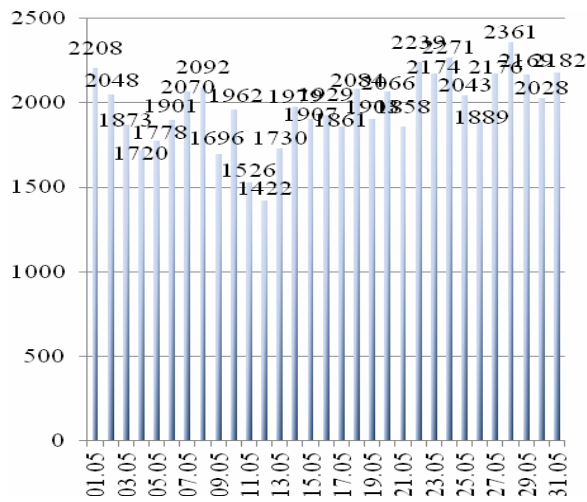


Рис. 6. Гістограма розмірів загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті

Середнє значення добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в непарному напрямку $N_{\text{ср}} = 1018$ ваг. Дисперсія дорівнює $38\,843 \text{ ваг}^2$. Середнє квадратичне відхилення $\sigma = 197$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в непарному напрямку наведено на рис. 7.

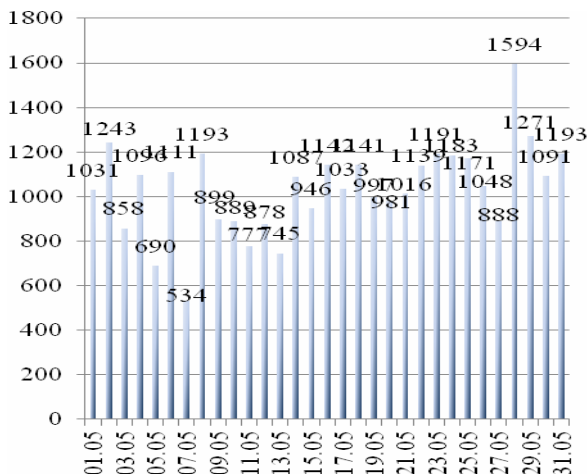


Рис. 7. Гістограма розмірів добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в непарному напрямку

Середнє значення добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в парному напрямку $N_{\text{ср}} = 931$ ваг.

Дисперсія дорівнює $22\,145 \text{ ваг}^2$. Середнє квадратичне відхилення $\sigma = 149$ ваг. Гістограму розмірів добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в парному напрямку наведено на рис. 8.

Середнє значення загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті $N_{\text{ср}} = 1\,971$ ваг. Дисперсія дорівнює $85\,322 \text{ ваг}^2$. Середнє квадратичне відхилення $\sigma = 292$ ваг. Гістограму розмірів загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні наведено на рис. 9.

Середьодобові вагонопотоки по прибутті та відправленні, в непарному та парному напрямках за травень 2015 зображено на рис. 10, 11.

Закон розподілення прибуття поїздів є пуасонівським, а інтервали між ними мають показниковий розподіл (див. табл. 1–3, рис. 12–14). Нерівномірність прибуття поїздів впливає на роботу станції та повинна враховуватись як при розробці технологічного процесу, так і при вирішенні питань технічного оснащення станції [7–8].

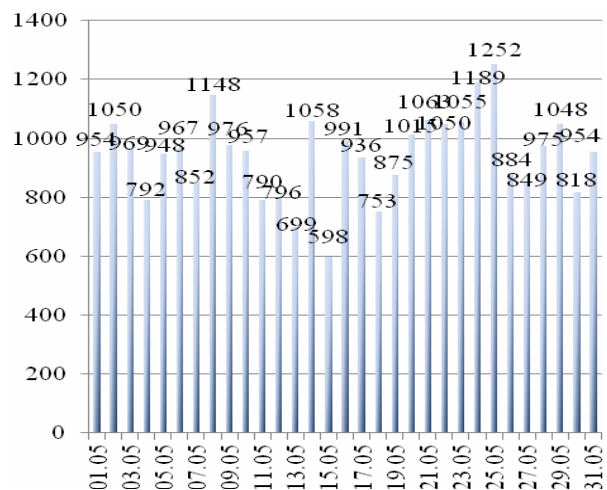


Рис. 8. Гістограма розмірів добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні в парному напрямку

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

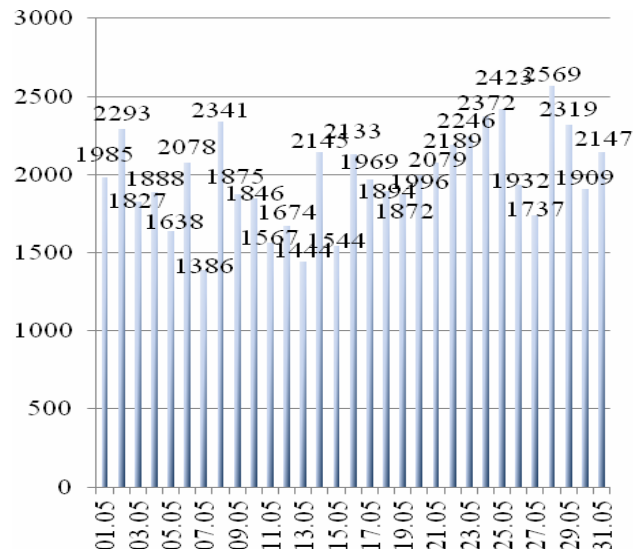


Рис. 9. Гістограма розмірів
загального добового транзитного
з переробкою та місцевого вагонопотоків
по відправленні

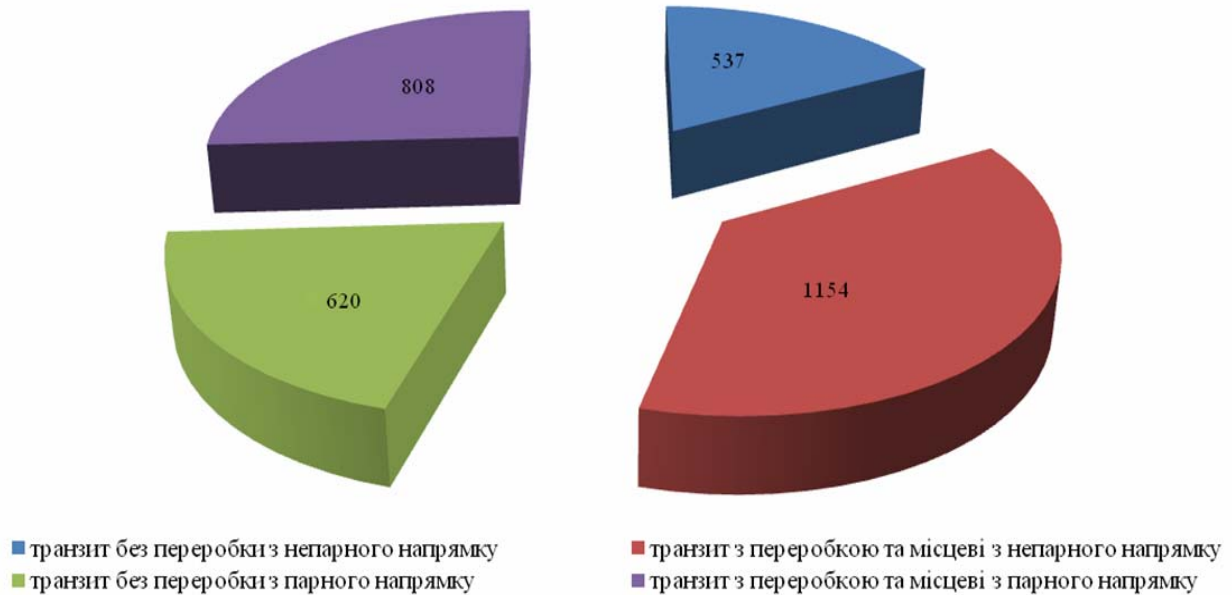
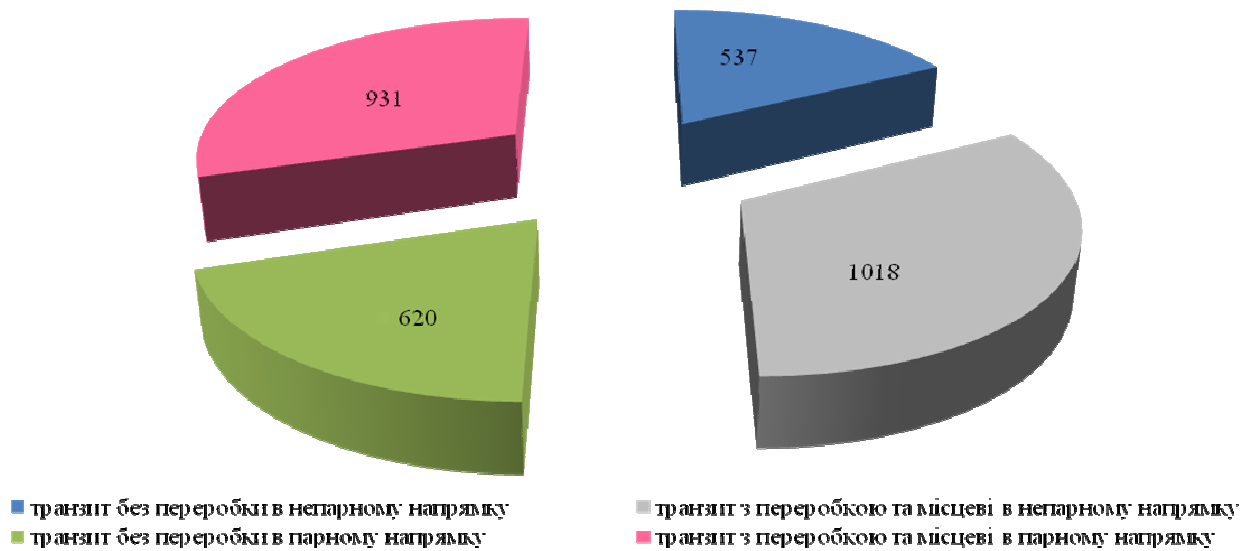


Рис. 10. Гістограма розмірів середньодобових вагонопотоків
по прибутті за травень 2015 р.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

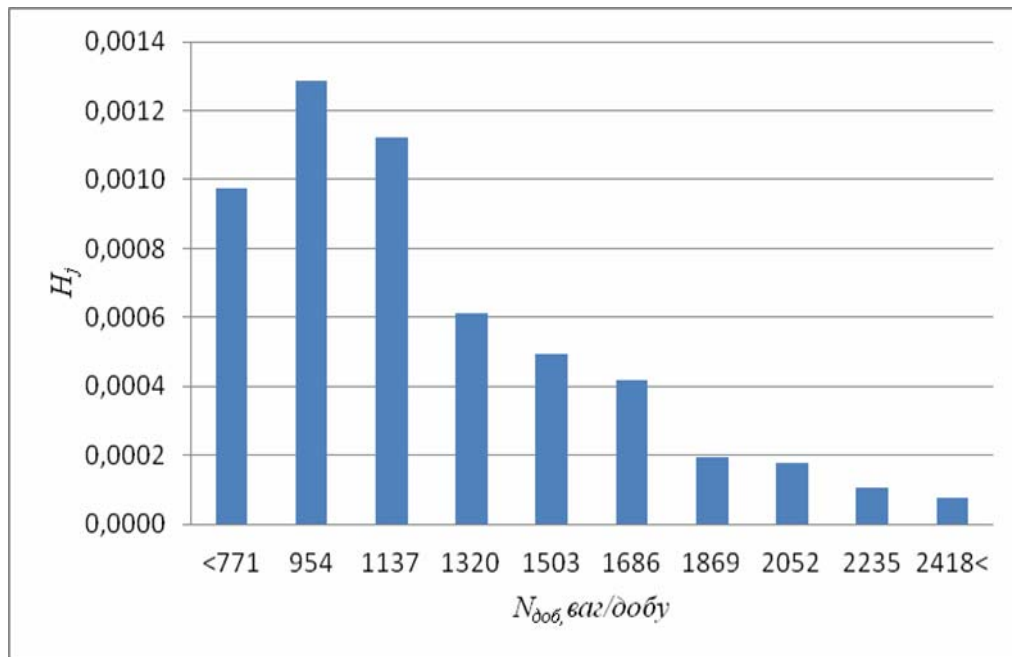
Рис. 11. Гістограма розмірів середньодобових вагонопотоків
по відправленні за травень 2015 р.

Таблиця 1

Річний аналіз кількості загального добового транзитного вагонопотоку
без переробки по сортувальній станції НДВ

№ розряду	Межі розрядів		Середина розряду, хв	Кількість спостережень	B_j	$N_j B_j$	$N_j^2 B_j$	h_j
	ліва	права		K_j				
1	679	862	771	65	0,1781	11,575	752,397	0,000973
2	862	1 045	954	86	0,2356	20,263	1742,619	0,001288
3	1 045	1 228	1 137	75	0,2055	15,411	1155,822	0,001123
4	1 228	1 411	1 320	41	0,1123	4,605	188,825	0,000614
5	1 411	1 594	1 503	33	0,0904	2,984	98,458	0,000494
6	1 594	1 777	1 686	28	0,0767	2,148	60,142	0,000419
7	1 777	1 960	1 869	13	0,0356	0,463	6,019	0,000195
8	1 960	2 143	2 052	12	0,0329	0,395	4,734	0,000180
9	2 143	2 326	2 235	7	0,0192	0,134	0,940	0,000105
10	2 326	2 509	2 418	5	0,0137	0,068	0,342	0,000075
Разом				365	0,9123	45,866	2638,677	

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

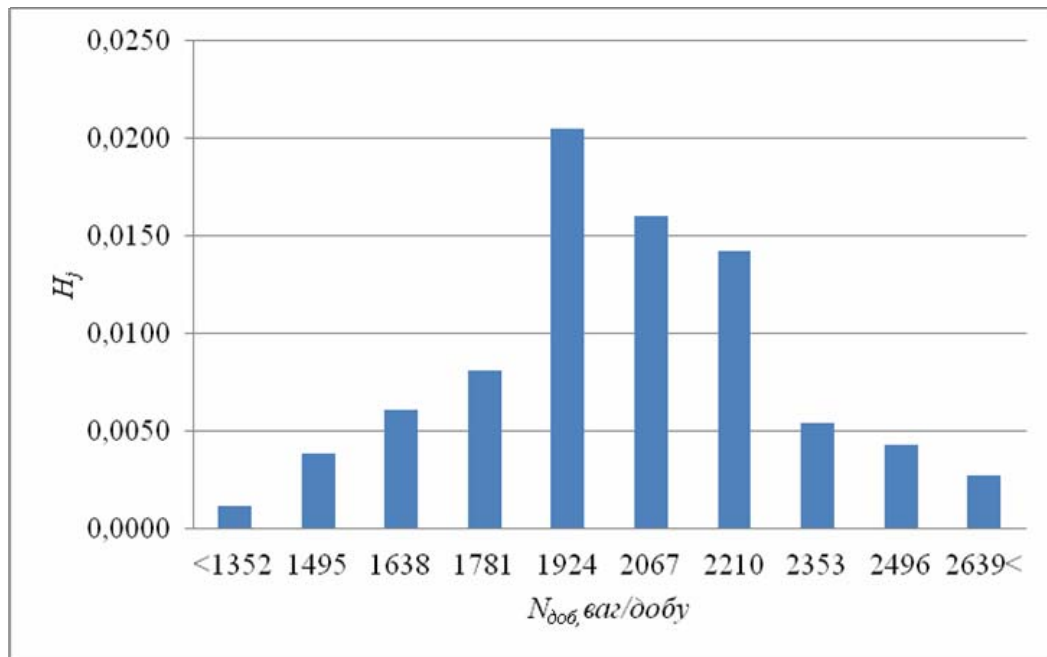
Рис. 12. Гістограма розподілу загального добового
транзитного вагонопотоку без переробки

Таблиця 2

**Річний аналіз кількості загального транзитного з переробкою
та місцевого вагонопотоків по прибутті по сортувальній станції НДВ**

№ розряду	Межі розрядів		Середина розряду, хв	Кількість спостережень	B_j	$N_j B_j$	$N_j^2 B_j$	h_j
	ліва	права		K_j				
1	1 280	1 423	1 352	5	0,1613	0,806	4,032	0,001128
2	1 423	1 566	1 495	17	0,5484	9,323	158,484	0,003835
3	1 566	1 709	1 638	27	0,8710	23,516	634,935	0,006091
4	1 709	1 852	1 781	36	1,1613	41,806	1505,032	0,008121
5	1 852	1 995	1 924	91	2,9355	267,129	24308,742	0,020528
6	1 995	2 138	2 067	71	2,2903	162,613	11545,516	0,016016
7	2 138	2 281	2 210	63	2,0323	128,032	8066,032	0,014212
8	2 281	2 424	2 353	24	0,7742	18,581	445,935	0,005414
9	2 424	2 567	2 496	19	0,6129	11,645	221,258	0,004286
10	2 567	2 710	2 639	12	0,3871	4,645	55,742	0,002707
Разом				365	9,0323	592,645	44643,226	

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Рис. 13. Гістограма розподілу загального добового транзитного
з переробкою та місцевого вагонопотоків по прибутті

Таблиця 3

Річний аналіз кількості загального транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків
по відправленні по сортувальній станції О

№ розряду	Межі розрядів		Середина розряду, хв	Кількість спостережень	B_j	$N_j B_j$	$N_j^2 B_j$	h_j
	ліва	права		K_j				
1	1 247	1 419	1 333	12	0,0329	0,395	4,734	0,000191
2	1 419	1 591	1 505	33	0,0904	2,984	98,458	0,000526
3	1 591	1 763	1 677	35	0,0959	3,356	117,466	0,000558
4	1 763	1 935	1 849	39	0,1068	4,167	162,518	0,000621
5	1 935	2 107	2 021	79	0,2164	17,099	1350,792	0,001258
6	2 107	2 279	2 193	56	0,1534	8,592	481,140	0,000892
7	2 279	2 451	2 365	51	0,1397	7,126	363,427	0,000812
8	2 451	2 623	2 537	28	0,0767	2,148	60,142	0,000446
9	2 623	2 795	2 709	20	0,0548	1,096	21,918	0,000319
10	2 795	2 967	2 881	12	0,0329	0,395	4,734	0,000191
Разом				365	0,9123	45,866	2638,677	

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

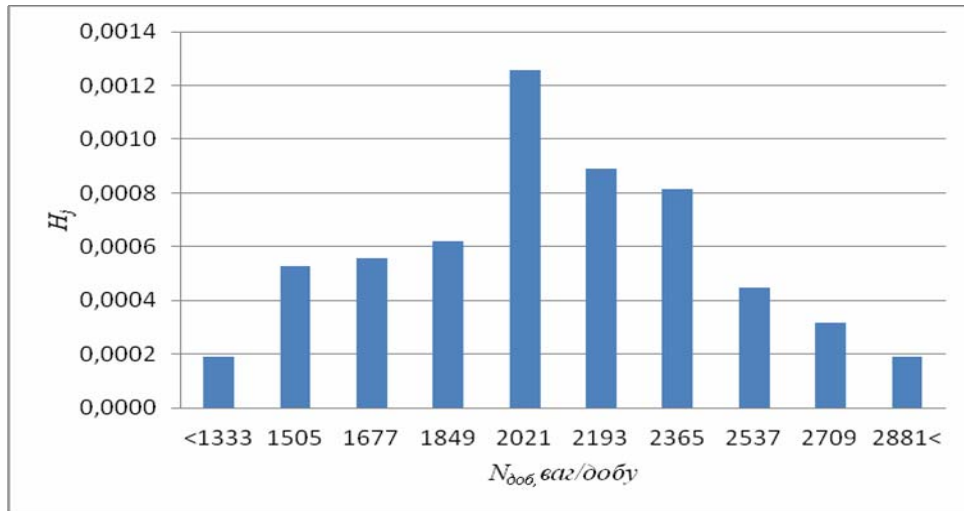


Рис. 14. Гістограма розподілу загального добового транзитного з переробкою та місцевого вагонопотоків по відправленні

Основним показником роботи сортувальної станції є середній час простою транзитних вагонів з переробкою. Час знаходження вагонів на станції складається з часу, який витрачається на виконання послідовних операцій по окремих елементах процесу переробки, та часу простою в очікуванні виконання операцій. Правильне визначення середнього часу знаходження на станції транзитних вагонів з переробкою має важливе значення, тим паче в умовах нової системи економічного стимулювання. Але до цього часу так і немає окремої методики визначення простою вагонів, яка б дозволяла об'єктивно враховувати технічну оснащеність та технологію роботи і не давала місця для суб'єктивних рішень.

Загальний час знаходження на станції транзитних вагонів з переробкою складається з елементів [9–12]:

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{об}} + t_{\text{оч}}^{\text{р}} + t_{\text{г}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{оч}}^{\text{ф}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{оч}}^{\text{о}},$$

де $t_{\text{об}}$ – час на обробку состава по прибутті, $t_{\text{об}} = 0,35$ год; $t_{\text{оч}}^{\text{р}}$ – середній час очікування розформування, год; $t_{\text{г}}$ – гірковий інтервал на розформування состава, $t_{\text{г}} = 0,37$ год; $t_{\text{нак}}$ – середній час простою вагонів під накопиченням, год; $t_{\text{оч}}^{\text{ф}}$ – середній час очікування формування, год; $t_{\text{ф}}$ – час на закінчення формування та виставлення состава у парк відправлення без урахування часу на повернен-

ня локомотива, $t_{\text{оф}} = 0,44$ год; $t_{\text{обр}}$ – час на обробку состава перед відправленням, $t_{\text{обр}} = 0,5$ год; $t_{\text{оч}}^{\text{о}}$ – час очікування відправлення, год.

Частина елементів простою – це величини, які визначаються технологією роботи та практично не залежать від об'ємів роботи, які можливо виразити як час на виконання операцій.

Простій під накопиченням зі збільшенням об'єму роботи знижується, а простій в очікуванні виконання операцій на черговому елементі обслуговування, навпаки, збільшується. Залежно від того, як впливає об'єм роботи на елементи простою, їх можна поділити на три групи

$$t_{\text{пер}} = (t_{\text{об}} + t_{\text{г}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{обр}}) + t_{\text{нак}} + (t_{\text{оч}}^{\text{р}} + t_{\text{оч}}^{\text{ф}} + t_{\text{оч}}^{\text{о}}).$$

Враховуючи формулу Полячека-Хинчина [11], останні три елементи простою можна записати у вигляді

$$t_{\text{оч}}^{\text{р}} = \frac{N t_{\text{г}}^2 (v_{\text{вх}}^{2,5} + v_{\text{г}}^2)}{48 - 2 N t_{\text{г}}};$$

$$t_{\text{оч}}^{\text{ф}} = \frac{N t_{\text{ф}}^2 (1 + v_{\text{ф}}^2)}{48 M - 2 N t_{\text{ф}}};$$

$$t_{\text{оч}}^{\text{о}} = \frac{N t_{\text{о}}^2 (1 + v_{\text{о}}^2)}{48 - 2 N t_{\text{о}}};$$

Середній простій під накопиченням визначається за формулою

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$t_{\text{нак}} = ck/N,$$

де N – кількість поїздів, які станція перероблює за добу; k – кількість призначень поїздів, що формуються на станції; c – параметр накопичення.

Для того, щоб проаналізувати вплив об'єму переробки на елементи простою транзитного вагону з переробкою на станції побудуємо графік залежності елементів простою вагонів від об'єму переробки. Графік залежності наведено рис. 15.

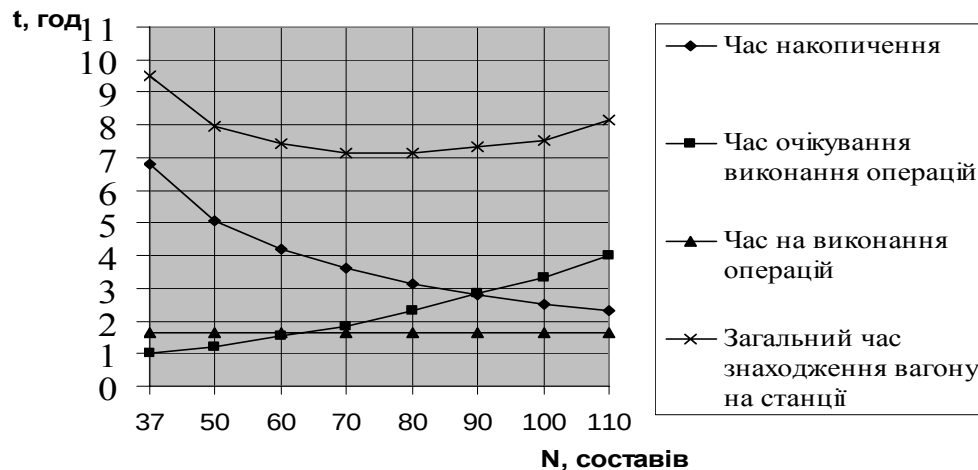


Рис. 15. Залежність часу простою вагонів від об'єму переробки

Характер зміни кривих наочно відображає вплив об'єму переробки на два елементи простою: під накопиченням та в очікуванні виконання операцій.

При невеликих об'ємах переробки зниження простою вагонів повинно досягатися головним чином за рахунок скороченню витрат на накопичення вагонів методом організації підведення замикаючих груп, заміни одноступінних поїздів слабких призначень на групові і т.д. При значних об'ємах переробки основну увагу необхідно приділяти скороченню часу процесів розформування, формування та відправлення з метою скорочення простоїв в очікуванні виконання операцій.

Аналіз зміни елементів простою залежно від об'єму переробки дозволяє не тільки спрямовано визначати методи зі скорочення простою вагонів, але і здійснювати правильну оцінку роботи колективу станції, а також корегувати норму простою вагонів.

Норма простою вагонів станції задається для визначеного об'єму роботи. Але фактична переробка відмінна від планової. У зв'язку з цим для об'єктивного оцінювання роботи колективу станції необхідно корегувати норму по виконаному об'єму роботи.

Одним з важливих елементів часу знаходження вагонів на технічних станціях, який впливає на систему організації вагонопотоків, є простій вагонів під накопиченням. Цей простій може визначатися як в цілому за вагонопотоком, тобто з моменту прибуття на станцію вагонів даного призначення і до моменту їх відправлення зі станції, так і тільки на сортувальних коліях станції. Для складання плану формування на визначений період простій вагонів під накопиченням з достатньою точністю визначається аналітичними розрахунками. Аналіз процесу накопичення в різних умовах підведення вагонів до станції та її роботи дає можливість найбільш точно встановити параметр накопичення c , а отже, і вагоно-години накопичення для окремих призначень або у цілому по станції.

При неузгодженню підведенні вагонів до станції процес накопичення протікає безперервно, причому частина вагонів може залишитися для накопичення наступного состава. На практиці має місце нерівномірне прибуття груп вагонів і у різних кількості, внаслідок чого параметр накопичення c може відрізнятися як для окремих призначень, так і для окремих категорій поїздів одного призначення, які відправляються протягом доби. Завжди при

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

аналітичних розрахунках параметр накопичення c усереднюють, тобто не враховують його коливань.

Можна зробити висновок, що на параметр накопичення впливає нерівномірність надходження груп вагонів на станцію, але на параметр накопичення впливає ще значна кількість чинників, від яких залежить процес накопичення составів. Середня кількість груп вагонів e , з яких складаються состави поїздів $m_{от}$, залежить від кількості груп вагонів даного призначення, що надходять за визначений період (добу або T_H).

Але необхідно звернути увагу на те, що неперервне та рівномірне надходження на станцію однакових за величиною груп вагонів не впливає на параметр накопичення. Таким чином, параметр накопичення залежить від інтервала між надходженням груп вагонів, частоти та тривалості перерв в накопиченні составів, величини завершуючої групи, кількості вагонів у першій та інших групах.

Аналіз виконання основних показників роботи станції НДВ виконано за I півріччя 2015 року та наведено у вигляді табл. 4.

Таблиця 4

Аналіз виконання основних кількісних та якісних показників

Показник	План на 1 півріччя 2015 року	Виконання			
		1 півріччя 2014 року	1 півріччя 2015 року	до 2014 року, %	до плану, %
Відправлення усього за добу, ваг., у тому числі:	3 099	5 036	3 002	60	97
– транзит з переробкою	1 987	2 401	1 940	81	98
– транзит без переробки	1 092	2 540	1 002	39	92
– місцеві	20	46	17	37	85
Прибуття у середньому за добу, поїзд	62	95	63	66	102
Відправлення у середньому за добу, поїзд, у тому числі:	60	91	57	63	95
– свого формування	–	47	39	83	–
Робочий парк, ваг.	1 218	1 144	1 165	102	96
Навантаження у середньому за добу, ваг.	–	6	3	50	–
Вивантаження у середньому за добу, ваг.	–	36	7	19	–
Простий транзитних вагонів з переробкою, год	10,50	10,28	13,05	79	80
Простий транзитних вагонів без переробки, год	1,40	1,37	1,50	91	93
Простий під 1 вантажною операцією, год	95,0	154,73	133,02	116	71
Статичне навантаження, тонн/ваг.	48,09	50,19	59,02	118	123
Вагонообіг, ваг.	6 199	10 071	5 996	60	97

Простий транзитного вагона без переробки за I півріччя 2015 року не виконаний і складає 1,50 год, тобто завищений порівняно до планового завдання на 0,10 год. Загальні

втрати вагоно-годин через невиконання простою транзитного вагона без переробки складають 18 127 ваг-год і допущені з таких причин:

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– на 0,08 год (втрати 15 436 ваг.·год) перевищений нормативний час «Очікування подачі поїзного локомотива» через відсутність поїзних локомотивів та локомотивних бригад;

– на 0,02 год (втрати 2 691 ваг.·год) з причини виникнення непродуктивного елементу «Очікування відправлення» через:

– пропуск пасажирських та приміських поїздів (втрати 217 ваг.·год);

– регулювання ДНЦ (втрати 2 474 ваг.·год).

Порівняно з минулим роком простій транзитного вагону без переробки перевищено на 0,13 год. Загальні втрати вагоно-годин через невиконання простою транзитного вагона без переробки складають 23 565 ваг.·год і допущені з причин:

– на 0,11 год (втрати 20 874 ваг.·год) перевищений нормативний час «Очікування подачі поїзного локомотива» через відсутність поїзних локомотивів та локомотивних бригад;

– на 0,02 год (втрати 2 691 ваг.·год) з причини виникнення непродуктивного елементу «Очікування відправлення» через очікування відправлення за здавальними поїздами.

Простій транзитного вагона з переробкою за I півріччя 2015 року не виконаний і складає 13,05 год, тобто завищений порівняно з заданим на 2,55 год. Загальні втрати вагоно-годин через невиконання простою транзитного вагона з переробкою складають 887 586 ваг.·год.

Елемент «До розформування» завищений на 0,12 год (втрати 41 769 ваг.·год) з таких причин:

– перевищений нормативний час непродуктивного елементу «Очікування початку розформування» через: відсутність вільних колій в парках «Б», «Д» для початку накопичення нового поїзду по колії, що звільниться (втрати 4 993 ваг.·год); неможливість передачі кутового вагонопотоку (втрати 27 744 ваг.·год);

– робота з довгими поїздами (втрати 8 220 ваг.·год);

– робота з номенклатурним вантажем (втрати 812 ваг.·год).

Елемент «Накопичення» завищений на 2,35 год (загальні втрати 817 972 ваг.·год) з причин:

– довготривале накопичення деяких призначень (втрати 709 205 ваг.·год);

– очікування закінчення формування та виставки готових поїздів в парк відправлення через недостатню кількість маневрових локомотивів (втрати 14 045 ваг.·год);

– простій вагонів, що підлягають охороні, призначенням на станцію Волноваха через відсутність придатних критих вагонів для проїзду нарядів охорони (втрати 10 378 ваг.·год);

– простій сформованих поїздів призначенням на станції Донецької залізниці (загальні втрати 84 344 ваг.·год)

Елемент «Відправлення» завищений на 0,08 год (загальні втрати 27 845 ваг.·год) з таких причин:

– на 0,06 год (втрати 21 784 ваг.·год) перевищений нормативний час непродуктивного елементу «Очікування подачі поїзного локомотива» через відсутність поїзних електровозів та локомотивних бригад;

– на 0,02 год (загальні втрати 6 061 ваг.·год) перевищений нормативний час непродуктивного елементу «Очікування відправлення» через:

– регулювання ДНЦ (втрати 2 656 ваг.·год);

– закриття по станції О на дільниці від стрілки № 344 до 203 км ПК.3, закриття на перегоні Н – І (втрати 2 395 ваг.·год);

– пропуск пасажирських та приміських поїздів (втрати 714 ваг.·год);

– перепис вагонів 20.05.2015 (втрати 296 ваг.·год).

Порівняно з минулим роком простій транзитного вагона з переробкою перевищено на 2,77 год. Загальні втрати вагоно-годин через невиконання простою транзитного вагона з переробкою складають 964 162 ваг.·год.

Елемент «Накопичення» завищений на 2,88 год через очікування виставки готових поїздів в парк відправлення.

Простої в очікуванні виконання операцій склали по елементах:

– «від прибуття до подачі» – 50,36 год;

– «від прибирання до відправлення» – 30,41 год.

До повторної переробки належить 942 ваг., у тому числі:

– вагони кутового потоку – 415 ваг.;

– вагони з п/колій – 10 ваг.;

– вагони продуктивної переробки – 294 ваг., із них:

– вагони прикриття для небезпечних вантажів – 48 ваг.;

– вагони відсівної колії із ремонту, вагони без документів – 56 ваг.;

– переформування поїздів через вагони, які прямують за 1-м вантажним документом – 51 ваг.;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– формування збірних поїздів – 48 ваг.;
 – переформування поїздів підвищеної довжини та ваги – 48 ваг.;
 – під формування вагонів з металопродукцією, постановка критого вагона для супроводження ВОХР – 43 ваг.;

– вагони, які визначені для постановки в головну частину поїзда – 223 ваг., в тому числі: вагони, які потребують супроводження ВОХР – 92 ваг.;
 – вагони, які навантажені металом і металевою продукцією – 131 ваг.

Таблиця 5

**Аналіз знаходження місцевого вагона
під 1-ю вантажною операцією**

Показник	План на I півріччя 2015 року	Виконання I півріччя 2015 року	Виконання/план
Час простою під 1-ю вантажною операцією, год, у тому числі:	95,00	133,02	+38,02
– від прибуття до подачі	29,34	60,97	+31,63
– під вантажними операціями	38,02	28,71	-9,31
– від прибирання до відправлення	27,64	43,34	+15,70

Таблиця 6

Аналіз роботи гірок

Показник	План на I півріччя 2015 року	Виконання			
		I півріччя 2014 року	I півріччя 2015 року	до 2014 року, %	до плану, %
Переробка вагонів за добу, ваг., у тому числі:	2 776	3 211	2 845	88,60	102,48
– непарна система	1 442	1 582	1 521	96,14	105,48
– парна система	1 334	1 629	1 324	81,28	99,25
Повторна переробка	–	766	942	122,98	–
Кутовий потік за добу, ваг., у тому числі:	–	345	415	120,29	–
– непарна система	–	176	182	103,41	–
– парна система	–	169	233	137,87	–
Місцеві вагони за добу, ваг., у тому числі:	–	421	527	125,18	–
– непарна система	–	208	258	124,04	–
– парна система	–	213	269	126,29	–

Загальний простій вагонів на станції складається з продуктивного та непродуктивного простою. До продуктивного простою відносять час виконання технологічних операцій, час накопичення вагонів, до непродуктивного – час очікування виконання технологічних операцій.

Питання скорочення середнього часу простою вагонів усіх категорій (транзитні без переробки, з переробкою, місцеві) на станції потрібно вирішувати за рахунок зменшення часу непродуктивного простою.

Результати

Використовуючи методи математичної статистики, було побудовано гістограми розподілу вагонопотоків сортувальної станції та виконано оцінювання їх параметрів. Проаналізовано виконання основних кількісних та якісних показників роботи станції. Для аналізу впливу об'єму переробки на елементи простою на станції транзитного вагона з переробкою побудовано графік залежності елементів простою вагонів від об'єму переробки. Характер зміни кривих наочно відображує вплив об'єму переробки на два елементи простою: під накопиченням та в очікуванні виконання операцій.

При невеликих об'ємах переробки зниження простою вагонів повинно досягатися головним чином за рахунок скорочення витрат на накопичення вагонів методом організації підвода замикаючих груп, заміни одноступінних поїздів слабких призначень на групові і т.д. При значних об'ємах переробки основну увагу необхідно приділяти скороченню часу процесів розформування, формування та відправлення з метою скорочення простоїв в очікуванні виконання операцій.

Наукова новизна та практична значимість

Одним з основних видів непродуктивного простою при перевезенні вантажів залізничним транспортом є простій на сортувальних станціях в очікуванні виконання технологічних операцій через завантаженість системи. Зменшення цього показника можливе при раціональному використанні пропускної спроможності сортувальних станцій за умови раціонального розподілу вагоно- та поїздопотоків між основними сортувальними станціями Укрзалізниці. Аналіз зміни елементів простою залежно від об'єму переробки дозволяє не тільки спрямовано визначати методи зі скорочення простою вагонів, але і здійснювати правильну оцінку роботи колективу станції, а також корегувати норму простою вагонів. Норма простою вагонів станції задається для визначеного об'єму роботи. Але фактична переробка відмінна від планової. У зв'язку з цим для об'єктивного оцінювання роботи колективу станції необхідно корегувати норму по виконаному об'єму роботи.

Висновки

Питання скорочення середнього часу простою вагонів усіх категорій на станції потрібно вирішувати за рахунок зменшення часу непродуктивного простою. Правильне визначення середнього часу знаходження на станції транзитних вагонів з переробкою має важливе значення, тим паче в умовах нової системи економічного стимулювання. Але до цього часу так і немає окремої методики визначення простою вагонів, яка б дозволяла об'єктивно враховувати технічну оснащеність та технологію роботи і не сприяла б суб'єктивним рішенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданов, В. М. Резервы пропускной и провозной способности / В. М. Богданов // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 8. – С. 54–56.
2. Бутко, Т. В. До питання визначення оптимальної кількості сортувальних станцій / Т. В. Бутко, М. І. Данько, Г. М. Сіконенко // Коммунальное хоз-во городов. – Харьков, 2003. – Вып. 45. – С. 237–242.
3. Бутко, Т. В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону / Т. В. Бутко, О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2010. – Вип. 22. – С. 18–26.
4. Годяев, А. И. Оценка потенциально реализуемой пропускной способности железнодорожного участка / А. И. Годяев // Вестн. ВНИИЖТа. – 2004. – № 6. – С. 29–32.
5. Луханин, Н. И. К вопросу сокращения оборота вагонов / Н. И. Луханин, Г. И. Музыкина, П. В. Бех // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 69–71.
6. Макарович, А. М. Оптимизация развития пропускной способности железнодорожных линий / А. М. Макарович. – Москва : Транспорт, 1969. – 200 с.
7. Музикін, М. І. Вплив «вікон» на пропускну спроможність залізничного напрямку / М. І. Музикін, Г. І. Нестеренко // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 3 (51). – С. 24–33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
8. Музикіна, Г. І. Вплив параметрів накопичення вагонів на їх простій на сортувальній станції / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, Є. М. Жорова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 198–201.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестн. ВНИИЖТа. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
10. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог / И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1976. – 268 с.
11. Шабалин, Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. Н. Шабалин. – Москва : Транспорт, 1973. – 184 с.
12. Яновський, П. О. Дослідження впливу факторів на час перебування поїздів на дільницях / П. О. Яновський // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 25–29.
13. Gestrelus, S. Mathematical models for optimising decision support systems in the railway industry [Електронний ресурс] / S. Gestrelus // Licentiate thesis. Malardalen University Press Licentiate Theses, Sweden. – 2015. – 42 p. – Режим доступу: mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:79855-8/FULLTEXT01.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.01.2016.
14. Railway operations, time-tabling and control / M. Marinov, I. Sahin, S. Ricci, G. Vasic-Franklin // Research in Transportation Economics. – 2015. – Vol. 41, № 1. – P. 59–75. doi:10.1016/j.retrec.2012.10.003.

Г. И. НЕСТЕРЕНКО¹, М. И. МУЗЫКИН^{2*}, В. Л. ГОРОБЕЦ³, С. И. МУЗЫКИНА⁴

¹Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

^{2*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

³Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, эл. почта v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461

⁴Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, эл. почта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВАГОНОПОТОКОВ ПО ПРИБЫТИЮ И ОТПРАВЛЕНИЮ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ X

Цель. Научная работа своей целью имеет анализ имеющейся организации вагонопотоков по сортировочной станции с целью уменьшения простоя вагонов. **Методика.** Используя методы математической статистики, были построены гистограммы распределения вагонопотоков сортировочной станции и проведена оценка их параметров. Проанализировано выполнение основных количественных и качественных показателей работы станции. Для анализа влияния объема переработки на элементы простоя на станции транзитного вагона с переработкой построен график зависимости элементов простоя вагонов от объема переработки. Характер изменения кривых на графике наглядно отображает влияние объема переработки на два элемента простоя: под накоплением и в ожидании выполнения операций. **Результаты.** Подтверждено, что вопрос сокращения среднего времени простоя вагонов всех категорий на станции нужно решать за счет уменьшения времени непроизводительного простоя. Верное определение среднего времени нахождения на станции транзитных вагонов с переработкой имеет важное значение, тем более в условиях новой системы экономического стимулирования. Но до сих пор так и не существует отдельной методики определения простоя вагонов, которая позволяла бы объективно учитывать техническую оснащенность и технологию работы и не давала места для субъективных решений. **Научная новизна.** Одним из основных видов непроизводительного простоя при перевозке грузов железнодорожным транспортом является простой на сортировочных станциях в ожидании выполнения технологических операций из-за загруженности системы. Уменьшение этого показателя возможно при рациональном использовании пропускной способности сортировочных станций при условии рационального распределения вагоно- и поездопотоков между основными сортировочными станциями Укрзализныци. **Практическая значимость.** Анализ изменения элементов простоя в зависимости от объема переработки позволяет не только целенаправленно

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

определять методы по сокращению простоя вагонов, но и осуществлять точную оценку работы коллектива станции, а также корректировать норму простоя вагонов.

Ключевые слова: вагонопоток; сортировочная станция; объем переработки; простой вагонов; параметр накопления

G. I. NESTERENKO¹, M. I. MUZYKIN^{2*}, V. L. HOROBETS³, S. I. MUZYKINA⁴

¹Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

^{2*}Dep. «Safety of life activity», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

³Dep. «Safety of life activity», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 08, e-mail v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461

⁴Dep. «Safety of life activity», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 082 88 27, e-mail fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

STUDY OF THE STRUCTURE FLOWS CARS ON ARRIVAL AND DEPARTURE IN THE MARSHALLING YARD X

Purpose. The paper is aimed to analyse the existing car traffic organization at the marshalling yard aimed to reduce downtime of cars. **Methodology.** The methods of mathematical statistics allowed building the histogram of car traffic flow distribution at the marshalling yard and assessment of their parameters. The key quantitative and qualitative indicators of the station operation were analyzed. In order to analyze the effect of rehandling volume on the rehandled transit car downtime elements at the station we plotted the dependence graph of the car downtime elements on the rehandling volume. The curve variation on the graph clearly shows the effect of rehandling volume on two downtime elements: during formation and in expectation of operations. **Findings.** The question of reducing the average downtime of all car categories at the station should be solved by reducing unproductive downtime was proved. The correct determination of the average time spent by a rehandled transit car at the station is essential, especially in the conditions of new system of economic incentives. But still there is no separate methodology for determining the car downtime, which would allow to objectively consider the equipment and operation technology and exclude the possibility for subjective decisions. **Originality.** One of the main kinds of unproductive downtime during the carriage of goods by rail is a downtime on the marshalling yards in expectation of technological operations because of the system congestion. Reduction of this indicator is possible due to rational use of the marshalling yard capacity provided the rational distribution and car- and train flows between the major marshalling yards of Ukrzaliznytsia. **Practical value.** The analysis of changes in downtime elements, depending on the rehandling volume allows not only to identify the car downtimee reduction methods, but also to make a correct assessment of station staff work, as well as to adjust the rate of idle cars.

Keywords: car traffic flow; marshalling yard; rehandling volume; downtime of cars; formation parameter.

REFERENCES

1. Bogdanov V.M. Rezervy propusknoy i provoznoy sposobnosti [Reserves of carriage and traffic capacity]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2008, no. 8, pp. 54-56.
2. Butko T.V., Danko M.I., Sikonenko H.M. Do pytannia vyznachennia optymalnoi kilkosti sortovalnykh stantsii [To the question of determining the optimal number of sorting yards]. *Kommunalnoye khozyaystvo gorodov – Municipal Infrastructure of Cities*, 2003, issue 45, pp. 237-242.
3. Butko T.V., Lavrukhin O.V., Dotsenko Yu.V. Udoshkonalennia upravlinnia protsesom prosuvannia poizdotokiv na osnovi stabilizatsii obihu vantazhnoho vagonu [Improving governance in the process of moving the train flows on the basis of stabilization of the turnover of the freight car]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Institute of Railway Transport]. Donetsk, 2010, issue 22, pp. 18-26.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

4. Godyaev A.I. Otsenka potentsialno realizuemoi propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnogo uchastka [Evaluation of potentially feasible throughput capacity of the railway section]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, 2004, no. 6, pp. 29-32.
5. Lukhanin N.I., Muzykina G.I., Bekh P.V. K voprosu sokrashcheniya oborota vagonov [To the reduction of rail car turnover]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, no. 4, pp. 69-71.
6. Makarochkin A.M. *Optimizatsiya razvitiya propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy* [Optimization of the development of the capacity of rail lines]. Moscow, Transport Publ., 1969. 200 p.
7. Muzykin M.I., Nesterenko H.I. Vplyv «vikon» na propusknu spromozhnist zaliznychnoho napriamku [Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 3 (51), pp. 24-33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
8. Muzykina H.I., Bolvanovska T.V., Zhorova Ye.M. Vplyv parametriv nakopy-chennia vahoniv na yikh prostii na sortuvalnii stantsii [The influence of cars acquisition parameters on their idle hours on marshalling yard]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk national University of railway transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 20, pp. 198-201.
9. Sotnikov Ye.A., Shenfeld K.P. Neravnomernost gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i yeye vliyaniye na potrebnuyu propusknyuyu sposobnost uchastkov [The unevenness of freight transport in modern conditions and its impact on the needs of capacity areas]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2011, no. 5, pp. 3-9.
10. Sotnikov I.B. *Vzaimodeystviye stantsiy i uchastkov zheleznykh dorog* [The interaction of stations and railways]. Moscow, Transport Publ., 1976. 268 p.
11. Shabalin N.N. *Optimizatsiya protsessa pererabotki vagonov na stantsiyakh* [Optimization of recycling process of cars at stations]. Moscow, Transport Publ., 1973. 184 p.
12. Yanovskyi P.O. Doslidzhennia vplyvu faktoriv na chas perebuvannia poizdiv na dilnytsiakh [Research of influence factors on the time of trains at stations]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 3, pp. 25-29.
13. Gestrelus S. Mathematical models for optimising decision support systems in the railway industry. Licentiate thesis. Malardalen University Press Licentiate Theses, Sweden, 2015. 42 p. Available at: mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:798558/FULLTEXT01.pdf (Accessed 20 January 2016).
14. Marinov M., Sahin I., Ricci S., Vasic-Franklin G. Railway operations, time-tabling and control. *Research in Transportation Economics*, 2015, vol. 41, no. 1, pp. 59-75. doi:10.1016/j.retrec.2012.10.003.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна);
д.т.н., проф. Т. В. Бутько (Україна)

Надійшла до редколегії 20.11.2015

Прийнята до друку 21.01.2016