

А. М. Пасічник, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент Транспортної академії наук України, професор кафедри транспортних систем та технологій Академії митної служби України
Д. М. Козаченко, кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідної частини Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
С. С. Кравчук, старший викладач кафедри транспортних систем та технологій Академії митної служби України

ЛОГІСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ВАГОНОПОТОКІВ ВАНТАЖНОГО МИТНОГО КОМПЛЕКСУ

У даній роботі проведено аналіз статистичних даних експортно-імпортного вагонопотоку вантажних фронтів вантажної станції, визначено його параметри і закон розподілу для подальших досліджень технологічних процесів.

В данной работе проведён анализ статистических данных экспортно-импортного вагонопотока грузовых фронтов грузовой станции, определены его параметры и закон распределения для дальнейших исследований технологических процессов.

In the work the statistical data of export and import car traffic volume of cargo fronts of the freight terminal are analyzed, the parameters of car traffic volume and the statistical law are determined for the further research of technological process.

Ключові слова. Статистичні дані, експортно-імпортний вагонопотік, вантажний фронт, закон розподілу, технологічні процеси.

Вступ. Загострення конкуренції на ринку транспортних послуг обумовлює необхідність пошуку нових форм інтеграції перевізників, митних органів, експедиторів, вантажовласників та інших учасників логістичного ланцюга доставки вантажів для мінімізації витрат часу та ресурсів при одночасному підвищенні якості транспортного обслуговування.

Залізнична вантажна станція є важливим структурним елементом системи управління міжнародними перевезеннями, де здійснюється основний обсяг початково-кінцевих операцій (приймання до перевезення, зважування, зберігання, навантаження, розвантаження, сортування і видача вантажів; оформлення перевізних документів і проведення розрахунків за перевезення та надані послуги; транспортно-експедиційне обслуговування вантажовласників тощо; виконання митного контролю та оформлення і проведення інших видів державного контролю). Важливе значення моделювання та розрахунок інтервалів подачі вагонів на вантажні fronti показано у працях [1–3]. На даному етапі переробки експортно-імпортного вагонопотоку виникають непродуктивні простой транспортних засобів, а відповідно й витрати, пов'язані з проведенням митного контролю та оформлення, а саме: час на доставку документів у митницю, очікування прибуття інспектора, безпосередньо митний огляд, митне оформлення; витрати на митний збір за роботу інспектора на території підприємства; витрати, що виникають з перелічених причин, якщо вантаж потребує інших видів державного контролю. Для зменшення впливу зазначених факторів, а також для підвищення ефективності роботи контролюючих органів інфраструктура залізниць доповнюється створенням на вантажних станціях мережі вантажних митних комплексів [4–7].

© А. М. Пасічник, Д. М. Козаченко, С. С. Кравчук, 2009

Постановка завдання. Мета цієї статті – логістичний аналіз статистичних даних експортно-імпортного вагонопотоку вантажних фронтів вантажної станції, визначення його параметрів і закону розподілу для моделювання та дослідження інтервалів надходження вагонів на вантажні fronti і часових рядів тривалості митного оформлення вантажів з метою вдосконалення технологічних процесів переробки експортно-імпортного вагонопотоку.

Результати досліджень. Роботу вантажної станції моделюють як систему масового обслуговування, що складається з окремих підсистем з очікуванням, де утворюється складна мережа технологічних взаємозв'язків на кожній фазі обслуговування з одним або кількома паралельними каналами. Складність системи вантажної станції полягає в тому, що при подачі вагонів на вантажний район виникає значна кількість технологічних операцій та їх очікування: технічні, комерційні, інформаційне обслуговування, розформування, подача, розстановка, а при виконанні міжнародних перевезень виникає взаємозв'язок з іншими системами масового обслуговування митницею та іншими органами державного контролю, час перебування в яких суттєво впливає на час перебування заявки в системі вантажної станції [1–3, 8].

Окремий вантажний фронт розглядається як система масового обслуговування, її вхідні заявки – подача вагонів. Для моделювання потоку заявок необхідно виконати статистичну обробку моментів подачі вагонів на вантажний фронт, часу на очікування та виконання вантажних операцій.

Для виконання вантажних і комерційних операцій з тарно-пакувальними вантажами станція Дніпропетровськ – Ліски має певні споруди (табл. 1) [8].

Технічна характеристика споруд станції

Найменування споруди	Кількість колій	Кількість вантажних платформ	Корисна площа	Фронт одночасної постановки	Спеціалізація
Ангарний склад № 1	2	2	5460	9	Складування вантажу штабельне на піддонах. Склад спеціалізується на розвантаженні й навантаженні вантажів повагонними відправленнями та видачі його на автотранспорт
Ангарний склад № 2	1	1	3643	9	Складування вантажу підлогове на піддонах. Склад спеціалізується на розвантаженні й навантаження вантажів повагонними відправленнями та видачі його на автотранспорт
Крита зубчаста платформа № 1	1	1	1728	9	Для розвантаження і навантаження вантажів повагонними відправленнями і видачі його на автотранспорт (13 зубців)
Крита зубчаста платформа № 2	1	1	1728	9	Для розвантаження і навантаження вантажів повагонними відправленнями і видачі його на автотранспорт (13 зубців)
Зубчаста платформа № 10	1	1	1728	9	Для розвантаження вантажів за прямим варіантом “автомобіль-вагон”
Площадка для переробки великовагових вантажів	1	1	6150	9	Для переробки великовагових вантажів

Для аналізу характеристик експортно-імпортного вагонопотоку були оброблені статистичні дані вантажних пунктів, які обслуговували найбільший обсяг перевезень. Для впорядкування статистичних даних ущільнимо їх об'єднанням у групи, в кожній з яких інтервали подач вагонів на вантажний фронт коливаються в деяких заданих межах. Крок розряду групування визначаємо за формулою:

$$r = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{r}, \quad (1)$$

де t_{\max} , t_{\min} – найбільше та найменше значення випадкової величини;
 r – кількість класів (розрядів).

$$r = (1 + 3,21 \cdot \lg n), \quad (2)$$

де n – загальна кількість спостережень.

Установивши інтервал, розпочинаємо групування спостережень. При цьому значення інтервалів поєднуємо в розряди та визначаємо кількість спостережень, що належать до кожного розряду. Кількість спостережень із загальної сукупності, що мають дане значення ознаки, називається *частотою розряду*; частка в загальній сукупності, тобто відносна їхня кількість – *частістю розряду*. Порядок, у якому частоти розподілилися за розрядами, називається *розподілом чисельності ознаки* або *статистичного ряду*. Статистичний ряд має такий вигляд:

$$\begin{array}{ccccccc} I_i & t_1 - t_0 & t_2 - t_1 & \dots & t_i - t_{i-1} & \dots & t_r - t_{r-1} \\ P_i & P_1 & P_2 & \dots & P_i & \dots & P_r \end{array} \quad (3)$$

де I_i – позначення частоти розряду I ;
 t_i, t_{i+1} – межі класу (розряду);
 $i = 1, 2, 3, \dots, r$;
 r – кількість класів (розрядів).

$$P_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \text{ – частість;} \quad (4)$$

m_i – кількість значень випадкової величини в i -му розряді.

У процесі групування встановлюється, скільки інтервалів m_i потрапило в розряд $t_i - t_{i+1}$.

Для визначення характеристики статистичних даних транспортного процесу відповідно до методики [8] маємо такі співвідношення:

Математичне сподівання випадкової величини інтервалу t_i $M[T]$:

$$M[T] = \sum_{i=1}^r \bar{t}_i \cdot P_i \quad (5)$$

де \bar{t}_i – середина i -го розряду статистичного ряду розподілу.

Дисперсія $D[T]$ розраховується за формулою:

$$D[T] = M[T^2] - M[T]^2, \quad (6)$$

де $M[T^2]$ – математичне сподівання квадрата випадкової величини T .

Середнє квадратичне відхилення $\sigma [T]$:

$$\sigma [T] = \sqrt{D[T]}. \quad (7)$$

Коефіцієнт варіації $v [T]$ розраховано за формулою:

$$v[T] = \frac{\sigma [T]}{M[T]}. \quad (8)$$

Результати статистичного аналізу зобразимо у вигляді гістограми. Коли є графіки теоретичних законів розподілу випадкових величин, з умови мінімуму відхилень визначається найбільш близький теоретичний закон розподілу та перевіряється гіпотеза про його узгодженість зі статистичними даними. Результати обробки статистичного ряду інтервалів між подачами вагонів на вантажний фронт ангарного складу № 1 наведено в табл. 2.

Теоретична ймовірність P_i^* інтервалів певної величини в загальній сукупності дорівнює:

$$P_i^* = F(t_i) - F(t_{i-1}), \quad (9)$$

де $F(t_i)$ і $F(t_{i-1})$ – функція показникового розподілу.

$$F(t_i) = 1 - e^{-\lambda t_i} \quad (10)$$

$$F(t_{i-1}) = 1 - e^{-\lambda t_{i-1}}, \quad (11)$$

де λ – інтенсивність надходження вагонів на вантажний фронт:

$$\lambda = \frac{1}{M[T]}. \quad (12)$$

Для оцінки ступеня близькості теоретичного розподілу до статистичного застосовуємо критерій згоди Пірсона χ^2 , правило Романовського та коефіцієнт Ерланга.

Узгодженість теоретичного і статистичного розподілів, виходячи з розбіжностей між теоретичними ймовірностями P_i^* та відносними частотами P_i за критерієм Пірсона, визначається так:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (m_i - nP_i^*)^2}{nP_i^*} \quad (13)$$

За правилом Романовського, гіпотеза про прийнятий теоретичний закон розподілу вважається правдоподібною, якщо виконується така нерівність:

$$\frac{\chi^2 - r}{\sqrt{2r}} < 3, \quad (14)$$

де r – кількість ступенів свободи

$$r = R - S, \quad (15)$$

де R – кількість розрядів, на які розбивається загальна кількість спостережень;

S – кількість накладених зв'язків для показникового закону дорівнює двом.

Коефіцієнт Ерланга розраховується за формулою:

$$K = \frac{M^2[T]}{D[T]} \quad (16)$$

Таблиця 2

**Обробка статистичного ряду інтервалів між подачами вагонів
на вантажний фронт ангарного складу № 1**

Межі розрядів (класів), $t_i - t_{i+1}$		Кількість інтервалів у розряді, m_i	Частість, P_i	Середнє значення в розряді, \bar{t}_i	$\bar{t}_i \cdot P_i$	$\bar{t}_i^2 \cdot P_i$
5	675	73	0,382	340	129,948	44 182,199
676	1346	38	0,199	1011	201,141	203 353,916
1347	2017	43	0,225	1682	378,670	636 923,204
2018	2688	13	0,068	2353	160,152	376 837,262
2689	3359	16	0,084	3024	253,319	766 037,780
3360	4030	1	0,005	3695	19,346	71 481,806
4031	4701	5	0,026	4366	114,293	499 004,084
4702	5372	0	0,000	5037	0,000	0,000
5373	5580	2	0,010	5476,5	57,346	314 052,903
Σ		191	1,000		1314,21	2 911 873,154

Використовуючи дані табл. 2, за формулами (5–8) маємо такі показники.

Математичне сподівання: $M[T] = 1314,22$ хв.

Дисперсія інтервалу подачі вагонів: $D[T] = 1\,184\,712,98$.

Середнє квадратичне відхилення: $\sigma [T] = 1088,5$ хв.

Коефіцієнт варіації: $v [T] = 0,83$.

Інтенсивність надходження вагонів на вантажний фронт ангарного складу № 1: $\lambda = 0,0008$.

Для зручності розрахунків дані перевірки зведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Характеристики розподілу інтервалів між подачами вагонів
на вантажний фронт ангарного складу № 1**

Межі розрядів, $t_i - t_{i+1}$	Кількість інтервалів у розряді, m_i	$\lambda \cdot t$	$e^{-\lambda t}$	$F(t_i)$	P_i^*	mP_i^*	$m_i - mP_i^*$	$(m_i - mP_i^*)^2$	$\frac{(m_i - mP_i^*)^2}{mP_i^*}$
5	675	0,004	0,996	0,004	0,398	76,081	- 3,081	9,491	0,125
676	1346	0,514	0,598	0,402	0,239	45,660	- 7,660	58,677	1,285
1347	2017	1,025	0,359	0,641	0,143	27,403	15,597	243,265	8,877
2018	2688	1,536	0,215	0,785	0,086	16,446	- 3,446	11,875	0,722

2689	3359	16	2,046	0,129	0,871	0,052	9,870	6,130	37,575	3,807
3360	4030	1	2,557	0,078	0,922	0,031	5,924	-4,924	24,242	4,092
4031	4701	5	3,067	0,047	0,953	0,019	3,555	1,445	2,088	0,587
4702	5372	0	3,578	0,028	0,972	0,011	2,134	-2,134	4,552	2,134
5373	5580	2	4,088	0,017	0,983	0,002	0,467	1,533	2,351	5,038
			4,246	0,014	0,986					
		191								26,667

Як видно з останньої графі табл. 3, критерій згоди Пірсона $\chi^2 = 26,67$.

Оскільки розрядів дев'ять, а накладених зв'язків для показникового закону два, то кількість ступенів свободи визначиться $r = 9 - 2 = 7$, а ймовірність, згідно з (15), $P(\chi^2) = 0,0016$. Отже, результати перевірки за критерієм Пірсона не підтверджують гіпотези про показниковий розподіл інтервалів надходження вагонів на вантажний фронт.

Перевірка за умовою Романовського (16) дає результат $5,26 > 3$ і також показує, що розбіжність між теоретичним і емпіричним розподілами суттєва, а гіпотеза про показниковий закон розподілу потребує додаткової перевірки.

Визначення коефіцієнта Ерланга $K = 1$ для статистичного ряду (3) свідчить про відповідність емпіричного розподілу інтервалів прибуття вагонів на вантажний фронт до показникового закону розподілу випадкових величин.

Гістограми розподілу інтервалів між подачами вагонів на вантажні fronti ангарного складу № 1, зубчастих платформ № 1 і 10 наведені на рис. 1–3.

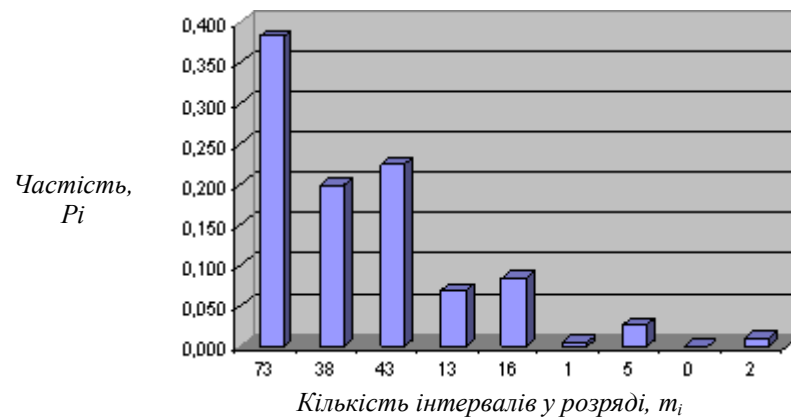


Рис. 1. Гістограма розподілу інтервалів між подачами вагонів на вантажний фронт ангарного складу № 1

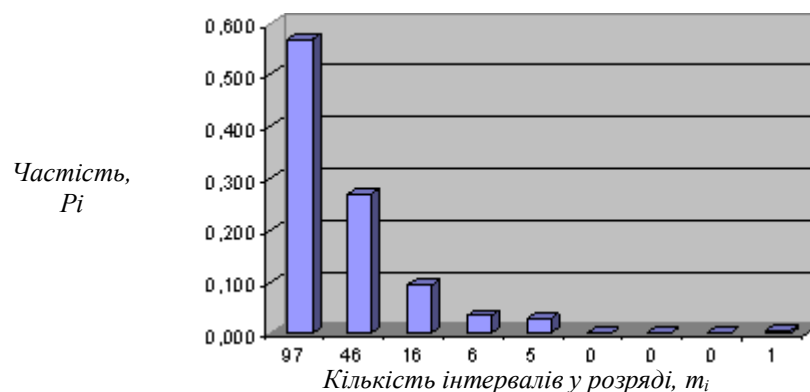


Рис. 2. Гістограма розподілу інтервалів між подачами вагонів на вантажний фронт зубчастої платформи № 1

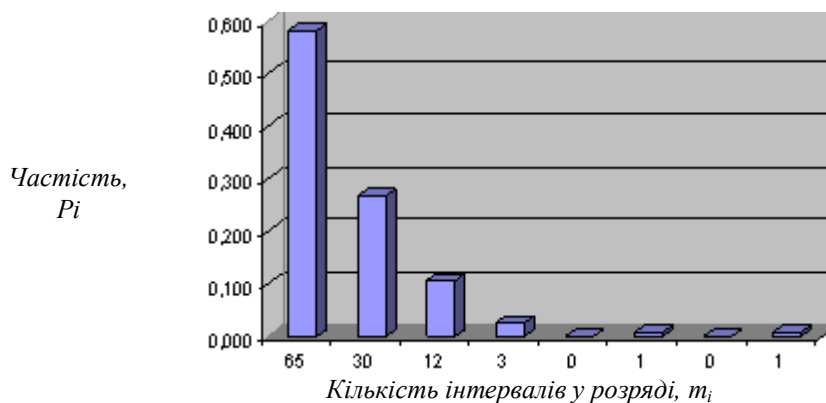


Рис. 3. Гістограма розподілу інтервалів між подачами вагонів на вантажний фронт зубчастої платформи № 10

Результати перевірки гіпотез про закон розподілу і статистичної обробки величин інтервалів подач вагонів на вантажні фронти наведено в табл. 4–5.

Таблиця 4

Результати статистичної обробки інтервалів подач вагонів на вантажні фронти станції

№	Найменування споруди	Характеристики статистичного розподілу						
		$M[T]$	$D[T]$	$\sigma[T]$	$r[T]$	λ	I_{max}	I_{min}
1	Ангарний склад № 1	1314,22	1 184 712,98	1088,5	0,83	0,0008	5580	6
2	Зубчаста платформа № 1	1486,52	1 810 575,25	1345,6	0,91	0,0007	9870	10
3	Зубчаста платформа № 10	1986,62	3 162 956,57	1778,5	0,90	0,0005	12720	30

Таблиця 5

Результати перевірки гіпотез про закон розподілу величин інтервалів між подачами вагонів на вантажні фронти

№	Найменування споруди	Критерії перевірки гіпотези		
		Критерій згоди Пірсона χ^2	Правило Романовського	Коефіцієнт Ерланга K
1	Ангарний склад № 1	26,67	5,26 > 3	1
2	Зубчаста платформа № 1	34,36	7,31 > 3	1
3	Зубчаста платформа № 10	10,58	1,32 < 3	1

Перевірка показала, що за критерієм Пірсона та правилом Романовського гіпотеза про показниковий закон підтверджується лише в деяких випадках, але результат розрахунку коефіцієнта Ерланга свідчить, що немає підстав відхилити гіпотезу про розподіл інтервалів між подачами вагонів на вантажні фронти за показниковим законом.

Після подачі вагонів на вантажний фронт триває час очікування виконання вантажних операцій $t_{оч}$, на який, крім технічних причин (зайнятість вантажників, вантажного фронту, несвоєчасна подача автотранспорту та ін.), значною мірою впливає час на митний контроль та митне оформлення $t_{мк}$ даних вагонопотоків. Далі відбувається виконання вантажних операцій, час на які $t_{ван}$ залежить від кількості вагонів, виду вантажу, наявності вантажників, наявності й технічних можливостей складської техніки. Зазначені часові інтервали проаналізовано за наведеною вище методикою.

Висновки. Таким чином, результати проведеного статистичного аналізу та перевірка гіпотез про закони розподілу отриманих часових рядів за критеріями узгодження дозволяють зробити висновок: інтервали надходження вагонів на складські об'єкти вантажного митного комплексу та часові ряди тривалості митного оформлення вантажів у режимах ЕК-10 та ІМ-40 найкраще моделюються показниковим

законом та законом розподілу Ерланга з $K = 2$, що дозволяє ефективно застосовувати їх для моделювання відповідних технологічних процесів.

Література

1. Персианов В. Моделирование транспортных систем [Текст] / В. Персианов, К. Скалов, – М. : Транспорт, 1972. – 209 с.
2. Правдин Н. Взаимодействие различных видов транспорта [Текст] / Н. Правдин, В. Негрей. – М. : Транспорт, 1983. – 246 с.
3. Смехов А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст] / А. Смехов. – М. : Транспорт, 1990. – 351 с.
4. Про затвердження Типового положення про вантажний митний комплекс як спеціалізовану митну організацію [Текст] : наказ ДМСУ № 647 від 31.07.2007 р.
5. Порядок взаємодії Дніпровської регіональної митниці та Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці під час переміщення через митний кордон товарів (вантажів) залізничними вантажними поїздами [Текст] : наказ Дніпровської регіональної митниці та Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці № 485/419 від 13.08.2004 р.
6. Пасічник А. Вантажний митний комплекс як структурний елемент транспортно-логістичного центру [Текст] / А. Пасічник, С. Кравчук, І. Леснікова // Вісник АМСУ. – 2007. – № 4. – С. 75–79.
7. Пасічник А. Метод розрахунку оптимального розміщення підрозділів ДП “Український вантажний комплекс” [Текст] / А. Пасічник, С. Кравчук // Вісник АМСУ. – 2008. – № 4. – С. 119–127.
8. Широков А. П. Математические методы и модели в управлении транспортными системами. Часть I. Математическая статистика и методы оптимизации [Текст] / А. П. Широков. – Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2000. – 51 с.
9. Технологічний процес роботи вантажної станції Дніпропетровськ–Ліски Придніпровської залізниці.