

УДК 656.225

О. Ю. ПАПАХОВ^{1*}, Н. О. БАРКАЛОВА^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, М. І. СЕРГІЄНКО^{4*},
О. В. КИРИЧОК^{5*}

^{1*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 564 65 65, ел. пошта parahova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

^{2*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 524 43 22, ел. пошта logvinovanata1987@gmail.com, ORCID 0000-0002-9350-881X

^{3*} Каф. «Транспортних технологій», Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, 79013, Львів, Україна. тел. +38(067) 771-77-59, ел. пошта grevtsov@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2925-4293

^{4*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 506 56 89, ел. пошта: maria14032012@gmail.com, ORCID 0009-0001-7983-1119

^{5*} Каф. «Транспортний сервіс та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 493 61 55, ел. пошта kir.ramirov@gmail.com, ORCID 0009-0005-4803-6883

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ПОТУЖНОСТІ ВАГОНОПОТОКІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ СТАНЦІЇ В ПЕРІОД ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Вирішити задачу удосконалення системи організації вагонопотоків в поїзда при сучасному рівні інформаційного забезпечення неможливо без створення інформаційно-управляючої системи, яка буде інтегрувати у єдиний інформаційно-обчислювальний простір найбільш важливих оптимізаційних задач, що охоплюють всі рівні управління процесом вантажних перевезень на залізничному транспорті, таких як розрахунок маршрутизації вагонопотоків з навантажених і порожніх вагонів, розрахунок плану формування вантажних поїздів на полігоні опорних технічних станцій, розрахунок плану формування місцевих поїздів в районах місцевої роботи та побудова коригованих оперативних планів роботи станцій.

Агресія російської федерації проти України докорінно змінила систему роботи залізничного транспорту України. Обсяги перевезення вантажів залізничним транспортом під час проведення військових дій на сході України зменшилися у 2022 році на 37 %, однак вже у 2023 році почалося зростання перевезення деяких видів вантажів, зокрема, зернових вантажів, мінеральних будівельних матеріалів, небезпечних наливних вантажів, військової техніки. Перевезення вантажів залізницями України, особливо в період військових дій, здійснюються не рівномірно на протязі тривалого періоду часу і мають коливання потужності вагонопотоків. Оновлені напрямки їх слідування, які залежать від технічного стану залізничної інфраструктури на даний період, приводять для зміни напрямку слідування вагонопотоків і, як слідство, організації їх в поїзда за планом формування на технічних станціях.

Проведеними дослідженнями встановлено, що потужності вагонопотоків є випадковими величинами, тому доцільно для їх описання використовувати методи математичної статистики, а для прогнозування роботи з ними - методи моделювання. Ті вагонопотоки, які прибувають на сортувальну станцію більш за все попадають під геометричний закон розподілу випадкові величини в залежності від потужності напрямку прибуття, що оказує значний вплив на параметр накопичення по станції.

Колівання потужності вагонопотоків досить значні і залежать від достатньо великої кількості факторів. Для оперативного планування роботи сортувальної станції потрібно брати характеристики поточного стану або вибірки даних за короткі періоди (декада, тиждень), тобто слід постійно аналізувати дані з АСК ВП УЗ – Є, тому, дослідження потужності вагонопотоків по технічній станції в період зміни їх напрямків є актуальною задачею і може використовуватися для корегування відправницької маршрутизації і плану формування одногрупних та групових вантажних поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, план формування, параметр накопичення, закон розподілення

Вступ

Збройна агресія російської федерації докорінно змінила систему роботи залізничного транспорту України. Виведення з ладу ряду технічних та вантажних станцій на мережі залізниць України, а в деяких випадках і цілих залізничних напрямків, привело до того, що виникла необхідність кардинально змінювати структуру і напрямки слідування вантажних потоків. В

теперішній час основний напрямок руху вагонопотоків в порти Одеського регіону та сухопутні переходи на західному кордоні країни [1]. Перевезення вантажів під час військових дій являється собою складне завдання, пов'язане з пропуском вагонопотоків через технічні станції, які знаходяться під обстрілами, скорочення потужності тягових електричних підстанцій, а іноді, і відсутності напруги, що унеможливило рух поїздів

на електричній тязі та низьку пропускну спроможність прикордонних переходів на заході України. Все це актуалізує необхідність дослідження ринку вантажних перевезень в частині ідентифікації зміни обсягів та структури вагонопотоків під час військового стану.

Метою даної роботи є визначення розмірів коливання вагонопотоків за призначенням на сортувальній станції та їх вплив на план формування поїздів.

Об'єктом дослідження є вагонопотік, які прибувають та відправляються з сортувальній станції.

Предметом дослідження є процес зміни потужності вагонопотоків та їх вплив на план формування поїздів по сортувальній станції.

Практична значимість статті полягає у рекомендаціях по корегуванню плану формування вантажних поїздів по сортувальній станції.

Постановка проблеми. Початок війни на території України зменшив кількість вантажовідправників та вантажоодержувачів, а також скоротив самі обсяги відправок вагонів. У зв'язку з блокуванням портів у 2022-23 роках суттєво змінився напрямок вагонопотоків з портів Одеського регіону у напрямку сухопутних переходів на заході країни. Процес перевезення вантажів маршрутними поїздами суттєво не вплинув на технологію перевізного процесу, але зміни потужності дрібних партій вагонопотоків приводять до необхідності корегування плану формування вантажних поїздів (ПФП) по технічним станціям.

В існуючих умовах впровадження військового стану постає невідкладною задачею удосконалення підходу до ефективної організації вагонопотоків шляхом корегування існуючого плану формування вантажних поїздів.

Виклад основного матеріалу

Залізнична сортувальна станція, яка розглядається, являє собою складну стохастичну систему, що складається з багатьох підсистем (парна та непарна сортувальні системи, сортувальна гірка, парки з коліями, витяжки формування та інші технічні пристрої) [2, 3].

Пропонується [4] створити нову автоматизовану систему організації вагонопотоків, основою якої стане автоматизована система розрахунку ПФП, яка буде у повній мірі використовувати сучасні досягнення у галузях інформаційних технологій, обчислювальних систем і математики. Застосування сучасних інформаційних технологій обумовлено необхідністю якомога більш точного збору і обробки інформації про

обсяги вагонопотоків для формування вихідних даних задачі розрахунку ПФП.

В свою чергу, система «залізнична сортувальна станція» є підсистемою загальної мережі залізниць України.

Доцільно розглядати систему «залізнична сортувальна станція» як систему масового обслуговування. Вхідним потоком даної системи масового обслуговування (СМО) є потік поїздів, що прибувають на станцію. Пристроями обслуговування є такі технічні пристрої, як парк приймання, сортувальна гірка, сортувальний парк, парк відправлення, транзитний парк, маневровий локомотив, бригади працівників пункту технічного і комерційного огляду, поїзні локомотиви та локомотивні бригади. Вихідним потоком є потік поїздів, який відправляється зі станції.

В даній СМО набір технічних пристроїв є постійним, вхідний потік і технологія обробки заявок - змінними [5]. Вхідний потік змінюється за рахунок роботи інших елементів системи «загальна мережа залізниць». Час обслуговування заявок змінюється таким чином, щоб мінімізувати обсяги роботи елементів СМО і мінімізувати затримки в черзі заявок. Вхідний потік змінюється за рахунок випадкових процесів, які відбуваються в загальній мережі залізниць (переважно нерівномірності перевезень), зміна часу обслуговування заявок і ПФП є реакцією на зміну вхідного потоку і відбувається за рахунок оперативних рішень керівного складу станції та залізниці.

Загальна мережа залізниць є мережею з багатьма різної потужності вагонопотоками. В наявності є джерела (відправники) N_s і стоки (отримувачі) N'_s . s -й – вагонопотік, який повинен йти з джерела N_s потоком до отримувача N'_s . Нехай x_{ij}^s – це s -й вагонопотік по дузі (дільниці) A_{ij} з певною пропускну спроможністю b_{ij} (потік вважається позитивним, якщо він йде по дузі A_{ij} від вузла N_i до вузла N_j , якщо він йде від вузла N_i до вузла N_j – то вважається від'ємним), $f(s, s')$ – величина s -го потоку з N_s в N'_s . Одна з задач, що виникає при аналізі вагонопотоків має наступний вид [6]:

Максимізувати:

$$\sum_{i=1}^q f(s, s'), \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\sum_i x_{ij}^s = \begin{cases} -f(s, s'), & \text{якщо } j=s, \\ 0, & \text{якщо } j=s, s', \\ f(s, s'), & \text{якщо } j=s', \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^q |x_{ij}^s| \leq b_{ij} \quad (\text{для всіх } i, j) \quad (3)$$

Станції є вузлами даної мережі N_i і мають певну пропускну спроможність b_i , тому має місце наступне обмеження:

$$\sum_{s=1}^q |x_{ij}^s| \leq b_i \quad (\text{для всіх } i) \quad (4)$$

Враховуючи те, що в даному дослідженні планується вирішити проблему зміни в потужності вагонопотоків, пов'язану з військовими діями на території України, що в свою чергу приводить до зміни напрямку їх слідування в поїздах і подальшому корегуванню існуючого ПФП [7] за допомогою імітаційного моделювання [8].

Також необхідно виконати дослідження СМО роботи «залізнична сортувальна станція» з метою отримання показників, які будуть використовуватися в якості вихідних даних для моделювання. Досліджуватимуться параметри зміни потужності вагонопотоків, які пов'язані з проведеннями військових дій на території нашої країни та параметрів накопичення вагонопотоків свого формування сортувальною станцією. Дані для дослідження отримані з АСК ВП УЗ-Є за 2018 рік роботи сортувальної станції та за 2023 рік роботи тієї ж станції.

За даними АСК ВП УЗ-Є були отримані кореспонденції вагонопотоків, які надходять на «залізничну сортувальну станцію» та відправляються з неї. Отримані дані кореспонденцій вагонопотоків оброблені за допомогою статистичних методів обробки даних з використанням програмного забезпечення «Statistica», що призначена для статистичної обробки даних.

Параметри СМО (середньодобове надходження і відправлення вагонопотоків та параметру накопичення) є випадковими величинами, тому їх обробка буде виконуватися за допомогою методів математичної статистики.

Параметр накопичення показує, скільки вагоно-годин необхідно використати на один вагон для того, щоб зібрати поїзд [6]:

$$B = ct \quad (5)$$

де B – вагоно-години простою вагонів в сортувальному парку за добу;

c – параметр накопичення, год.;

t – середній склад поїзда, ваг.

Для розрахунку параметру накопичення по кожному призначенні сортувальної станції було проведено статистичну обробку часу між початком формування і закінченням розформування кожного накопичувального складу поїзда [9]. Дані про операції з формуванням поїздів були прийняті з бази даних АСК ВП УЗ-Є.

Обсяги вагонопотоків є дискретними цілочисельними випадковими величинами. Параметр накопичення є неперервною випадковою величиною.

Найбільш повною, вичерпною характеристикою випадкової величини є закон розподілу, який представляє собою функцію, що дозволяє визначити ймовірність того, що випадкова величина X приймає певне значення x_i або потрапляє в певний інтервал.

Дослідженнями встановлено, що найбільш поширеним законом розподілу дискретних випадкових величин, які є параметрами роботи об'єктів залізничного транспорту, є закон розподілу Пуассона, а найбільш поширеними законами розподілу неперервних випадкових величин є нормальний і логарифмічно нормальний закони розподілу.

Для визначення законів розподілення випадкових величин формальних методів не існує. На практиці для цього, зазвичай, користуються евристичними методами. Тому висунемо гіпотези, що випадкова величина «потужність вагонопотоків» розподілена за законом Пуассона, а випадкова величина «параметр накопичення» - за нормальним або логарифмічно нормальним законом розподілу і надалі будемо перевіряти висунуті гіпотези на адекватність.

Статистична обробка кількості вагонів, які прибувають в парну систему на «залізничну сортувальну станцію», показує, що вони надходять досить нерівномірними. При середньому значенні потужності струменів 494 вагонів за добу, які прибувають у парну систему, коливання складають 60 % в бік зменшення та 143 % в бік збільшення. Гістограму розподілу кількості вагонів, які прибувають у парну систему, наведено на рис. 1.

Аналізуючи гістограму приходимо до висновку, що дана випадкова величина візуально може мати розподіл Пуассона або геометричний розподіл. Перевірку даної гіпотези проведено методом порівняння закону розподілення даної випадкової величини з нормальним та логарифмічно нормальним законами розподілення з використанням критерію згоди (критерія Пірсона [10]).

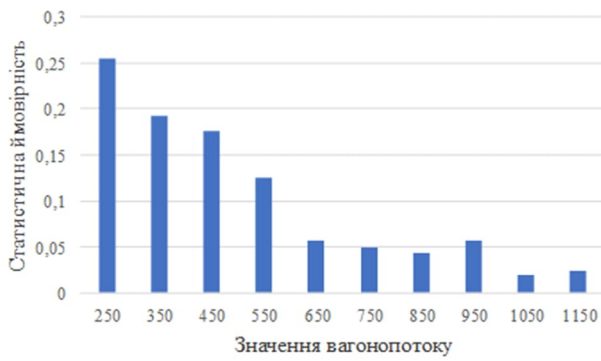


Рис. 1. Гістограма розподілення середньодобового вагонопотоку, що надходить на сортувальну станцію з парного напрямку

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 11,36$. Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про розподіл Пуассона не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Статистична обробка кількості вагонів, які прибувають у непарну систему на «залізничну сортувальну станцію», показує, що вони надходять досить нерівномірними. При середньому значенні потужності струменів 748 вагонів за добу, які прибувають у непарну систему, коливання складають 47 % в бік зменшення та 127% в бік збільшення. Гістограму розподілу кількості вагонів, які прибувають у непарну систему, наведено на рис. 2.

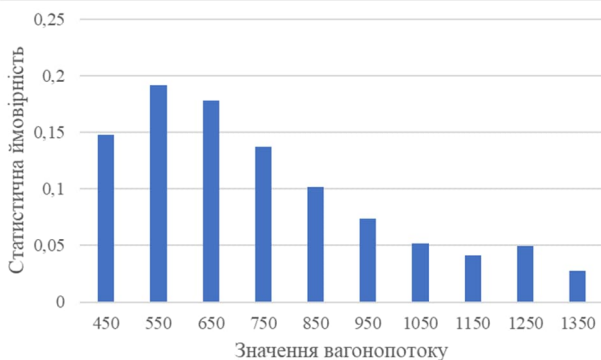


Рис. 2. Гістограма розподілення середньодобового вагонопотоку, що надходить на сортувальну станцію з непарного напрямку

Аналізуючи гістограму приходимо до висновку, що дана випадкова величина візуально може мати розподіл Пуассона або геометричний розподіл. Перевірку даної гіпотези проведено методом порівняння закону розподілення даної випадкової величини з нормальним та логарифмічно нормальним законами розподілення з використанням критерію згоди (критерія Пірсона).

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 11,78$. Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про розподіл Пуассона не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Статистична обробка кількості вагонів, які відправляються з парної системи «залізничної сортувальної станції», показує, що вони відправляються досить нерівномірними. При середньому значенні потужності струменів 464 вагона за добу, які відправляються у непарному напрямку, коливання складають 100 % в бік зменшення та 57 % в бік збільшення. Гістограму розподілу кількості вагонів, які відправляються з парної системи наведено на рис. 3.

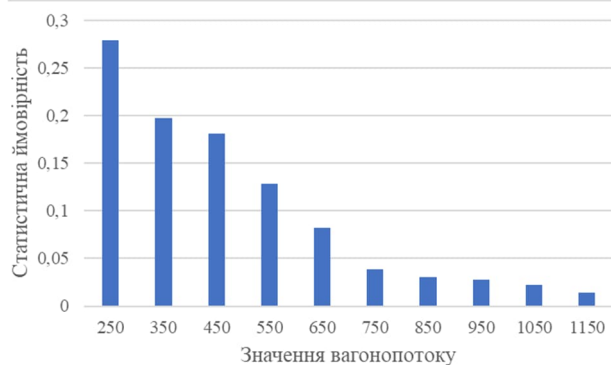


Рис. 3. Гістограма розподілення середньодобового вагонопотоку, який відправляється з сортувальної станції в парному напрямку

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 10,55$. Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і

точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про розподіл Пуассона не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Статистична обробка кількості вагонів, які відправляються з непарної системи «залізничної сортувальної станції», показує, що вони відправляються досить нерівномірними. При середньому значенні потужності струменів 779 вагона за добу, які відправляються з непарного напрямку, коливання складають 49 % в бік зменшення та 80 % в бік збільшення. Гістограму розподілу кількості вагонів, які відправляються з парної системи наведено на рис. 4.

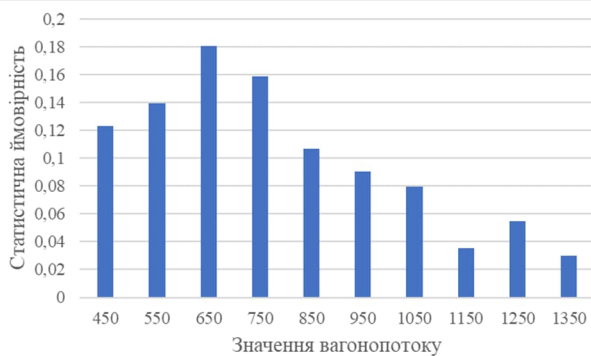


Рис. 4. Гістограма розподілення середньодобового вагонопотоку, який відправляється з сортувальної станції в непарному напрямку

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 10,33$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про розподіл Пуассона не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Параметр накопичення в парній сортувальній системі є нерівномірним. При середньому значенні параметру накопичення 5,1 год., коливання складають 80 % в бік зменшення та 116 % в бік збільшення. Гістограму розподілу

параметру накопичення в парній сортувальній системі наведено на рис. 5.

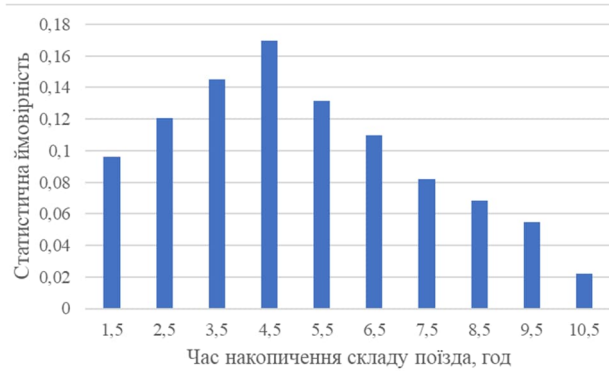


Рис. 5. Гістограма розподілення параметру накопичення на сортувальній станції у парному напрямку

Аналізуючи гістограму, прийнято, що дана випадкова величина візуально може мати нормальний, логарифмічно-нормальний або гамма-розподіл. Перевірку даної гіпотези проведено методом порівняння закону розподілення даної випадкової величини з нормальним та логарифмічно-нормальним законами розподілення з використанням критерію згоди (критерія Пірсона).

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 11,60$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про нормальний і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Параметр накопичення в непарній сортувальній системі є нерівномірним. При середньому значенні параметру накопичення 5,0 год., коливання складають 80 % в бік зменшення та 120 % в бік збільшення. Гістограму розподілу параметру накопичення в непарній сортувальній системі наведено на рис. 6.

Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 11,26$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10].

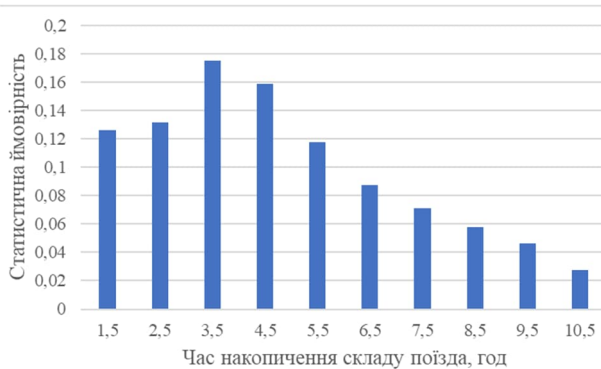


Рис. 6. Гістограма розподілення параметру накопичення на сортувальній станції у непарному напрямку

З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має геометричний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про нормальний і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Для побудови математичної моделі пропуску вагонопотоків через сортувальну станцію проведено аналіз роботи по формуванню наскрізних поїздів. В якості прикладу далі наведені розрахунки параметрів даних випадкових величин для деяких призначень різної потужності.

Параметр накопичення вагонів на станцію К є досить нерівномірними. При середньому значенні 6,2 год., коливання складають 73 % в бік зменшення та 75 % в бік збільшення. Гістограму розподілу параметру накопичення на станцію К наведено на рис. 7.

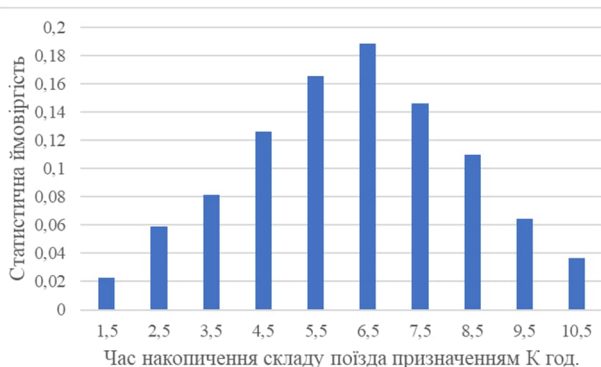


Рис. 7. Гістограма розподілення параметру накопичення складу поїзда призначенням на станцію К

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 5,70$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для

прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має нормальний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про гамма розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Параметр накопичення вагонів на станцію О є досить нерівномірними. При середньому значенні 6,58 год., коливання складають 73 % в бік зменшення та 57 % в бік збільшення. Гістограму розподілу параметру накопичення на станцію О наведено на рис. 8.

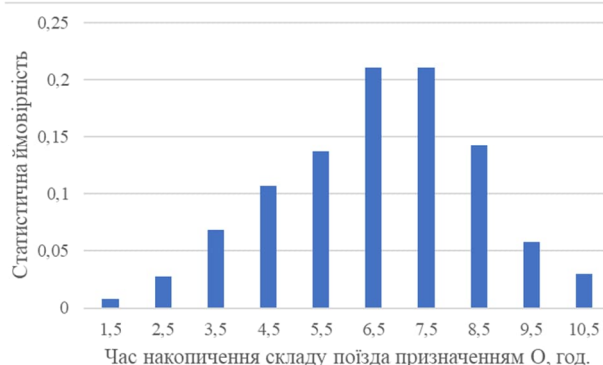


Рис. 8. Гістограма розподілення параметру накопичення складу поїзда призначенням на станцію О

Аналізуючи гістограму, прийнято, що дана випадкова величина візуально може мати нормальний, логарифмічно-нормальний або гамма-розподіл

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 8,02$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має нормальний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про гамма розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Параметр накопичення вагонів на станцію Д є досить нерівномірними. При середньому значенні 5,3 год., коливання складають 79 % в бік

зменшення та 91 % в бік збільшення. Гістограма розподілу параметру накопичення на станцію Д наведено на рис. 9.

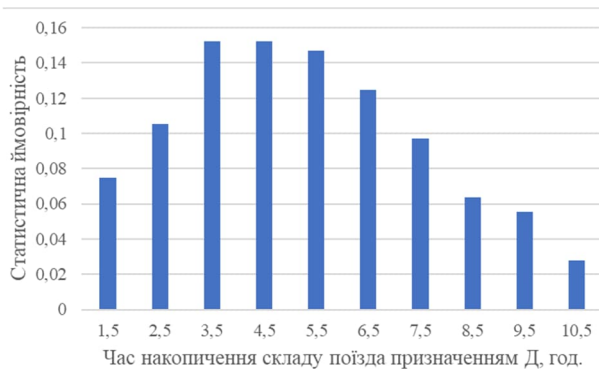


Рис. 9. Гістограма розподілення параметру накопичення складу поїзду призначенням на станцію Д

Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 11,91$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина «параметр накопичення» має гамма-розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про нормальний розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Також особливу увагу необхідно віднести на розподіл економії вагоно-годин, які віднесені на один вагон від пропуску його через технічну станцію без переробки призначенням на станцію К має середнє значення 4,5 год., коливання складають 67 % в бік зменшення та 123 % в бік збільшення. Гістограму розподілу економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію К наведено на рис. 10.

Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 10,47$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10].

З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію К має нормальний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про гамма-розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали,

що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

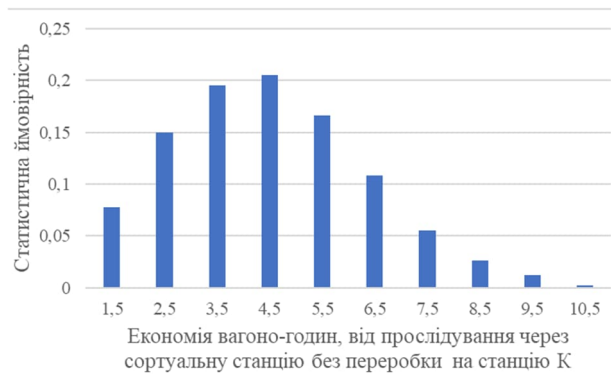


Рис. 10. Гістограма розподілення економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію К

Економія вагоно-годин від пропуску вагонопотоку через дану сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію О має середнє значення 5,07 год., коливання складають 62 % в бік зменшення та 113 % в бік збільшення. Гістограму розподілу економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію О наведено на рис. 11.

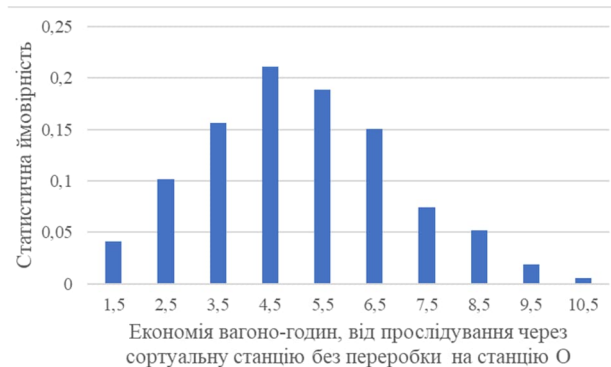


Рис. 11. Гістограма розподілення економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію О

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремий ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 5,56$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію О має нормальний

розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про гамма-розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

Економія вагоно-годин від пропуску вагонопотоку через дану сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію Д має середнє значення 3,85 год., коливання складають 69 % в бік зменшення та 172 % в бік збільшення. Гістограму розподілу економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію Д наведено на рис. 12.

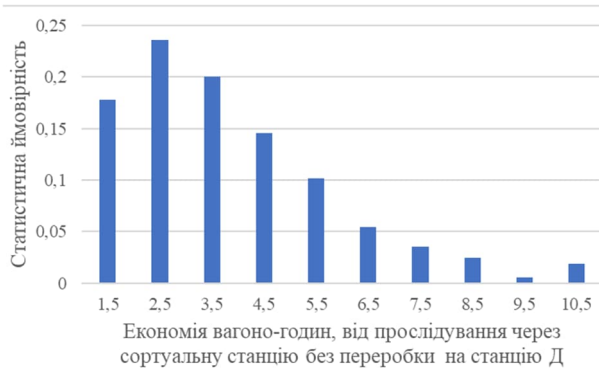


Рис. 12. Гістограма розподілення економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію Д

Розрахуємо теоретичні ймовірності попадання випадкової величини в окремих ряд статистичного ряду і підрахуємо критерій Пірсона. Проведеними розрахунками встановлено, що $\chi^2 = 10,03$ Табличне значення $\chi^2_{\text{табл}}$ для прийнятих кількості розрядів статистичного ряду і точності розрахунків: $\chi^2_{\text{табл}} = 12,04$ [10]. З отриманих даних видно, що $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, отже гіпотеза, що випадкова величина економії вагоно-годин, що віднесена на один вагон, від пропуску його через сортувальну станцію без переробки призначенням на станцію Д має нормальний розподіл, не суперечить дослідним даним. Також встановлено, що гіпотеза про гамма-розподіл і логарифмічно-нормальний розподіл не підтвердилася, так як розрахунки показали, що для даної гіпотези $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$.

При різних відхиленнях абсолютних значень вагонопотоків відносні коливання середньодобових їх значень не залежать від потужності струменів, що розглядаються. Окрім того, при збільшенні періоду спостережень відхилення зростають.

Емпірично встановлено, що існує велика кількість факторів, які впливають на нерівномірність надходження вагонопотоків на станції:

- велика кількість вантажовідправників и вантажоодержувачів;
- нерівномірність пред'явлення вантажів до перевезень;
- оснащення вантажних фронтів, станцій навантаження;
- наявність на станціях маневрових засобів;
- велика відстань перевезень;
- велика тривалість процесу транспортування від навантаження до вивантаження;
- поїзна обстановка та ін.

Встановити вплив кожного із вказаних факторів на величину коливань не можливо. Для того, щоб уникнути значної неточності в розрахунках при оперативному плануванні, необхідно скоротити період спостереження до декади або тижня.

Висновки та практична значимість статті

У зв'язку з проведенням бойових дій на сході країни у 2022 році зменшилася кількість вантажовідправників та потужності вагонопотоків. Збільшення обсягів перевезень у 2023 році традиційно стали мінеральні будматеріали (+64 %) в порівнянні з 2022 роком, кам'яне вугілля (+15,2 %) в порівнянні з 2022 роком, залізна та марганцева руда (+38,5 %) в порівнянні з 2022 роком та зернові вантажі 9+56 %) в порівнянні з 2022 роком [11].

Потужності вагонопотоків є випадковими величинами, тому доцільно для їх описання використовувати методи математичної статистики, а для прогнозування роботи з ними - методи моделювання. Коливання потужності вагонопотоків досить значні і залежать від достатньо великої кількості факторів. Для оперативного планування роботи сортувальної станції потрібно брати характеристики поточного стану або вибірки даних за короткі періоди (декада, тиждень), тобто слід постійно аналізувати дані з АСК ВП УЗ - Є. Вибірки даних за тривалі періоди для оперативного планування застосовувати не слід, так як вплив нерівномірностей не дозволяє виконувати планування на основі таких даних з достатньою точністю.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вернигора Р. В., Папахов О. Ю., Логвінова Н. О. Математична модель перевезення сировини та готової продукції підприємств гірничо-металургійного комплексу за залізничними напрямками з паралельними ходами. *Науковий Вісник НГУ*. 2013. № 3 (135). С. 93–102.

2. Нагорний Є. В., Альошинський Є. С. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу «Сортувальна станція-прилеглі ділянки». *Зб. наук. праць ХарДАЗТ*. 2000. № 42. С. 51–57.

3. Нагорний Е. В., Алешинский Е. С. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция-прилегающие участки» с помощью сетей. *Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте*. 2000. № 2. С. 98–103.

4. Удосконалення технології організації вагонопотоків шляхом формування автоматизованої системи розрахунку і забезпечення виконання плану формування поїздів / С. В. Панченко та ін. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Дала*. 2017. № 3 (233). С. 136–142.

5. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посіб. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2018. 141 с.

6. Лаврухін О. В., Митрофанова О. В. Удосконалення автоматизованої технології оперативного планування роботи залізничної станції. *Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. № 144. С. 35–39.

7. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України. ЦД-0053. Наказ

Укрзалізниці від 29.12.2004 №1028 – ЦЗ. Київ : ТОВ «Швид. рух», 2005. 100 с.

8. Папахов А. Ю., Логвинова Н. А. Математическая модель расчета плана формирования однопутных сквозных поездов с использованием теории множеств. *Електрифікація транспорту : Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2016. № 11. С. 93–99

9. Папахов О. Ю., Огороков А. М., Логвинов О. М. Інформаційне забезпечення організації вагонопотоків в умовах функціонування АСК ВП УЗ. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*. 2008. № 22. С. 154–157.

10. Перегуда О. В., Капустян О. В., Курилко О. Б. Статистична обробка даних : навч. посіб. Київ : Електрон. вид., 2022. 103 с.

11. Укрзалізниця наростила обсяги перевезення вантажів. *Rail.insider – інформаційно-аналітичне видання про залізницю в Україні*. URL: <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczya-narostyla-obsyagy-perevezennya-vantazhiv-na-138-userpni/> (дата звернення: 28.06.2024).

Надійшла до редколегії 02.03.2024.

Прийнята до друку 20.05.2024.

O. PAKHOV, N. BARKALOVA, S. GREVTSOV, M. SERHIENKO, R. KIRICHOK

RESEARCH OF CHANGES IN THE POWER OF CAR FLOW AT THE SHUTTING STATION DURING THE PERIOD OF MILITARY ACTIONS

It is impossible to solve the problem of improving the system of organizing car flows in trains at the current level of information support without creating an information and management system that will integrate into a single information and computing space the most important optimization tasks covering all levels of managing the process of freight transportation on railway transport, such as such as the calculation of the routing of car flows from loaded and empty cars, the calculation of the plan for the formation of freight trains at the training ground of the main technical stations, the calculation of the plan for the formation of local trains in the areas of local work, and the construction of adjusted operational plans for the operation of stations.

The aggression of the Russian Federation against Ukraine fundamentally changed the system of railway transport of Ukraine. The volume of cargo transportation by rail transport during military operations in the east of Ukraine decreased by 37% in 2022, but already in 2023, an increase in the transportation of some types of cargo began, in particular, grain cargo, mineral construction materials, dangerous bulk cargoes, military equipment. Transportation of goods by railways of Ukraine, especially during military operations, is not carried out evenly over a long period of time and has fluctuations in the capacity of car flows. The updated directions of their tracking, which depend on the technical condition of the railway infrastructure for the current period, lead to a change in the direction of tracking of car flows and, as a consequence, their organization into trains according to the formation plan at technical stations.

The conducted studies established that the capacities of car flows are random values, therefore it is advisable to use mathematical statistics methods for their description, and modeling methods for forecasting work with them. Those car flows that arrive at the sorting station most of all fall under the geometric law of distribution of a random variable depending on the power of the direction of arrival, which has a significant impact on the accumulation parameter at the station.

Fluctuations in the capacity of car flows are quite significant and depend on a sufficiently large number of factors. For the operational planning of the work of sorting stations, it is necessary to take the characteristics of the current state or a sample of data for short periods (a decade, a week), that is, it is necessary to constantly analyze the data from the ASK of the VP UZ - there is, therefore, a study of the capacity of car flows in the technical station during the period of changing their directions is an actual task and can be used to adjust the dispatcher routing and the plan for the formation of single-group and group freight trains.

Keywords: train flow, formation plan, accumulation parameter, distribution law