

УДК 656.2

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНИХ ВАГОНОПОТОКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Турпак С. М.

IMPROVEMENT OF SIMULATION TECHNIQUE OF THE INPUT CAR TRAFFIC VOLUMES OF METALLURGICAL ENTERPRISES

Turpak S.

Досліджені вхідні потоки металургійних підприємств та розглянуті випадки, в яких емпіричні розподіли випадкової величини інтервалів між послідовним надходженням составів поїздів не відповідають відомим теоретичним законам розподілу. Розроблено метод імітаційного моделювання вхідних вагонопотоків металургійних підприємств, який дозволяє більш ефективно планувати роботу транспорту. Виконаний статистичний аналіз показав відповідність отриманих результатів моделювання фактичним даним. Визначені параметри транспортної системи, при яких доцільно використовувати розроблений метод та обґрунтована можливість його застосування в реальних умовах.

Ключові слова: логістика, імітаційне моделювання, транспортна система, металургійне підприємство.

Вступ. В дійсний час спостерігається швидке удосконалення та широке розповсюдження сучасних програмних засобів імітаційного моделювання, які використовуються в різних сферах діяльності, зокрема, для підвищення ефективності роботи транспортних систем [1, 2]. Різні транспортні системи за певними процесами та елементами є схожими між собою, а за деякими – мають суттєві відмінності.

Дослідження щодо використання імітаційного моделювання в складних транспортних системах знаходяться у фазі накопичення досвіду та вироблення достатньо простого, універсального та ефективного підходу до його використання з метою удосконалення роботи цих систем.

Залізничний транспорт металургійного підприємства виконує головну роль в переміщенні вантажів в його межах та утворює складну систему, яка складається з великої кількості підсистем і елементів, пов'язаних між собою безліччю функціональних зв'язків.

Постановка проблеми. Для вирішення задач транспорту в дійсний час широко використовується логістичний підхід. Логістичний ланцюг розділяєть-

ся на мікрологістичні локальні частини, які, в свою чергу, також можуть бути піддані подальшому розділенню.

Дослідження мікрологістичних систем металургійних підприємств починається з аналізу вхідних транспортних потоків, більшість яких приходить на залізничний транспорт.

Чим більш відповідними реальному стану будуть відобразатись процеси надходження вантажів в імітаційній моделі, тим більш адекватною може бути вся модель та більш цінними будуть результати її використання.

Існуючий підхід до моделювання вхідних потоків не враховує значних змін, які відбулися останніми роками в системі організації передавання вагонів зі станції примикання та їх обліку, які, головним чином, були обумовлені переходом на ринкові умови господарювання та розвитком інформаційних технологій.

У певних випадках закони розподілу випадкових величин інтервалів між послідовним надходженням составів поїздів на металургійне підприємство не відповідають відомим теоретичним розподілам, а моделювання за табличним методом має суттєві недоліки (у разі необхідності аналізу системи на моделі при запланованих змінах обсягів постачань невідомо, як саме зміниться таблична функція розподілу).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, транспортним потокам в мікрологістичній системі залізничного транспорту металургійних підприємств (ЗТМП) притаманний ймовірнісний характер [2, 3]. Навіть при рівномірному відправленні постачальниками составів з сировиною, вони прибувають до одержувача через випадкові інтервали часу [3]. Такий самий характер мають інтервали між послідовним відправленням составів з металургійного підприємства.

Багатьма дослідниками транспорту припускається можливість розглядання вхідних та вихідних потоків як простіші потоки та застосування для їх досліджень методів імітаційного моделювання та теорії масового обслуговування [2 - 5].

Мета. Метою роботи є дослідження вхідних потоків металургійного підприємства та розробка методу імітаційного моделювання при невідповідності розподілу випадкових величин інтервалів між послідовним надходженням составів поїздів відомим теоретичним розподілом.

Результати досліджень. Вихідні дані, які обираються для аналізу можуть бути декількох типів. По-перше, це безпосередньо моменти фактичного відправлення, прибуття поїздів. Ця інформація, на перший погляд, найбільш відповідає вимогам досліджень. Але, оскільки для підприємства ця інформація практично не має комерційної цінності, вона менш якісно контролюється при її введенні в бази даних. Тут можуть спостерігатись грубі помилки оператора, виявлення та виправлення яких є досить трудомістким процесом.

Безумовно, більш якісну інформацію представляє другий тип даних – комерційні дані часу початку та закінчення використання вагонів, які контролюються двома сторонами – залізницею та власником колії (або власником колії та контрагентом). Ця інформація використовується для статистичної звітності підприємств, розрахунку різних показників та ін.

Але ця інформація може спотворювати реальні дані. Наприклад, на деяких підприємствах фактичне прибуття поїзду може випереджати початок його комерційного зарахування на відповідальний простій внаслідок договірних домовленостей про мінімальний інтервал передачі поїздів. Тобто при не дотриманні цього інтервалу та прийманні поїзду раніше нормативного терміну, він зараховується не за фактичним, а за розрахунковим часом. Внаслідок цього дослідник іноді отримує довгі ряди даних фантасично стабільного надходження поїздів через рівні інтервали часу. Це є суттєвим недоліком застосування комерційної інформації про рух поїздів. Але є і позитивний момент від використання такої інформації. Так, при затриманні процесу відправлення поїзду з вини приймальної сторони, він буде зарахований на той момент часу, коли підприємство реально мало можливість його передати, хоча фактично це відбулось пізніше.

Ще одне питання стосується підприємств, які обслуговуються власником під'їзної колії та не мають власного виходу на колії залізниць. Які дані обирати для опрацювання з метою використання методів оптимізації транспортних процесів, з'ясувати не просто. На перший погляд, необхідно використовувати дані обміну поїздами з власником під'їзної колії. Але підприємство зацікавлене в найскорішому просуванні своїх вантажів і за своїми межами, та має деякі важелі впливу на цей процес. Це можуть бути, наприклад, договірні положення щодо розмірів та інтервалів руху між підприємства-

ми, обмеження тривалості знаходження вагонів у власника під'їзної колії.

Отримані дані щодо інтервалів послідовного надходження составів поїзді зі станції примикання за певний період часу (добу, тиждень, місяць або рік) представляють генеральну сукупність.

Цю сукупність можна аналізувати цілком, або виділити з неї вибірку 50 – 100 значень [2, 6]. Вважаючи випадкову величину безперервною, весь діапазон даних розбивається на інтервали, та підраховується кількість значень, які потрапили до кожного з цих інтервалів. Отримуємо емпіричний розподіл випадкової величини та порівнюємо його з відомими теоретичними законами розподілу випадкової величини (нормальним, експоненціальним, гамма-розподілом, логнормальним, рівномірним та ін.).

Як зазначають дослідники транспорту металургійних підприємств, розподіл надходження составів зі станції примикання, частіше за все, підпорядковується експоненціальному або гамма- розподілу [2,3].

Використовуючи цей досвід, необхідно відмітити нюанси генерації випадкових чисел за даними теоретичними розподілами.

По-перше, неприпустимо використовувати отримані значення інтервалів понад максимально можливі в реальних умовах. Алгоритм моделювання повинен відкидати такі значення та генерувати нові до тих пір, поки вони не опиняться у межах встановленого дослідником діапазону.

По-друге, значення у всякому не можуть бути меншими за нормативний час руху поїздів зі станції примикання до вхідної промислової станції (для одного перегону, який не розділений на блок-ділянки). Якщо дослідник виконує аналіз узгоджених з залізницею комерційних даних часу початку використання вагонів, то інтервал надходження составів не може перевищувати мінімальний інтервал передачі поїздів, який зазначається у договорі на експлуатацію під'їзної колії. Внаслідок цієї обставини, отримані при генерації випадкові числа, значення яких менше встановленого інтервалу, також повинні бути відкинуті.

По-третє, внаслідок дотримання мінімального інтервалу передачі поїздів, в статистичних даних накопичується значна кількість дискретних значень, які відповідають розміру цього інтервалу. Сутність даної проблеми наглядно демонструється на рисунку 1.

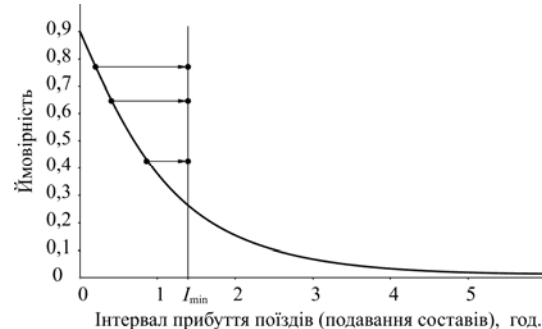


Рис. 1. Розподіл ймовірного розміру інтервалів прибуття поїздів (подавання составів)

Мінімальний інтервал I_{\min} прибуття поїздів або подавання составів до вантажних фронтів, пристроїв розігрівання та ін. може суттєво обмежити можливість інтерпретації емпіричного розподілу теоретичним.

У таблиці 1 наведено головні характеристики цих вибірок.

Таблиця 1

Головні характеристики вибірок					
Рік	Кількість значень	Математичне очікування	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
2006	100	2,704	0,672	0,82	0,303
2007	100	2,552	0,272	0,521	0,204
2008	100	2,455	0,915	0,957	0,39
2009	100	3,024	2,372	1,54	0,509
2010	100	2,878	1,702	1,304	0,453
2011	100	2,804	1,922	1,386	0,494
2012	100	2,966	2,312	1,521	0,513
2013	100	2,673	1,516	1,231	0,461
2014	100	2,662	1,072	1,035	0,389

Далі виконаємо апроксимацію статистичних даних теоретичною функцією, яка полягає у підборі імовірнісного теоретичного закону розподілу випадкової величини, який найбільш точно описує емпіричний розподіл.

Розрахунок входних параметрів моделювання системи ЗТМП передбачає визначення виду імовірного закону, якому підпорядковується випадкова величина та перевірку адекватності цього закону експериментальним даним. Вибір теоретичного закону розподілу здійснюється у відповідності з видом гістограм статистичного розподілу і перевіряється за критеріями згоди.

Кількість інтервалів для групування статистичних даних розраховуємо за допомогою формули Стреджеса [6]:

$$k = 1 + 3,222 \lg(n), \tag{1}$$

де n – кількість спостережень.

При побудові статистичного ряду неперервної випадкової величини діапазон спостережень розбивають на інтервали, величина яких визначається за формулою [6]:

$$I = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}. \tag{2}$$

Попередній вибір теоретичного закону розподілу здійснюється візуально шляхом порівняння зовнішнього виду експериментальної гістограми з графіками відомих теоретичних законів розподілу.

На основі розрахунків за формулами (1) та (2) побудовано гістограми емпіричного та експоненці-

ального розподілу за тими ж параметрами, які наведені на рис. 2 – 4.

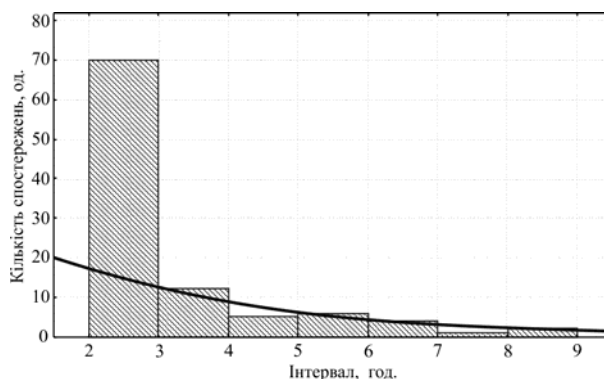


Рис. 2. Гістограма емпіричного розподілу надходження поїздів на комбінат «Запоріжсталь» у 2012 році

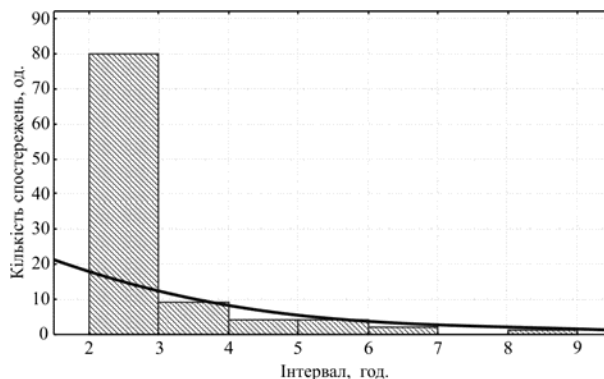


Рис. 3. Гістограма емпіричного розподілу надходження поїздів на комбінат «Запоріжсталь» у 2013 році

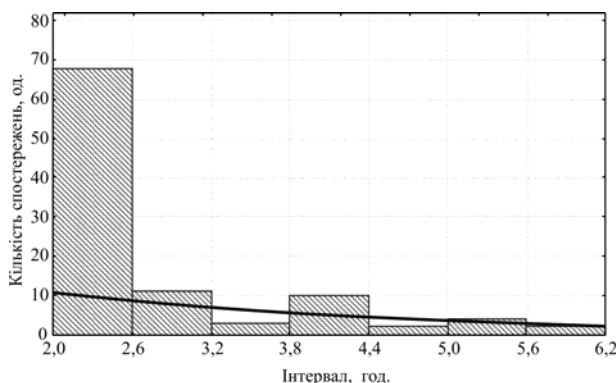


Рис. 4. Гістограма емпіричного розподілу надходження поїздів на комбінат «Запоріжсталь» у 2014 році

Вже на етапі візуального аналізу гістограм очевидна відсутність підпорядкованості емпіричних розподілів теоретичному експоненціальному розподілу.

Розглянемо вибірки даних о надходженні поїздів на комбінат «Запоріжсталь» за період 2006 – 2014 роки, розмір значень яких зменшено на величину мінімального інтервалу. Гістограми емпіричного та експоненціального розподілу для даних за 2012, 2013 та 2014 рік наведено на рис. 5 – 7.

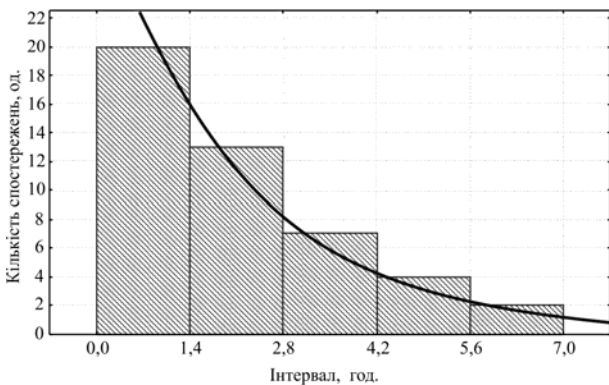


Рис. 5. Гістограма емпіричного розподілу інтервалів надходження поїздів, розмір значень яких зменшено на величину мінімального інтервалу, за 2012 рік

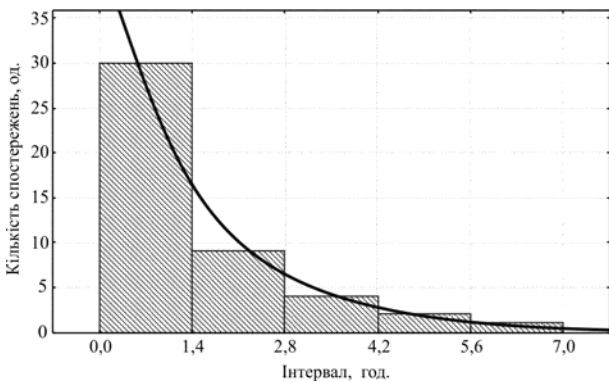


Рис. 6. Гістограма емпіричного розподілу інтервалів надходження поїздів, розмір значень яких зменшено на величину мінімального інтервалу, за 2013 рік

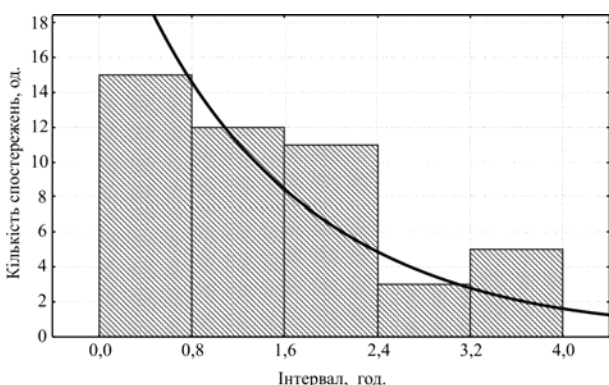


Рис. 7. Гістограма емпіричного розподілу інтервалів надходження поїздів, розмір значень яких зменшено на величину мінімального інтервалу, за 2014 рік

Візуальний аналіз гістограм свідчить про можливість підпорядкованості емпіричних розподілів теоретичному експоненціальному закону.

Для перевірки відповідності теоретичної кривої експериментальним даним скористайтесь критеріями згоди, найбільш відомими з яких є критерій χ^2 Пірсона та Колмогорова-Смірнова. Розрахунки, виконані за допомогою програми Statistica, свідчать

про високу ймовірність відповідності теоретичного закону емпіричним розподілам за 2012 – 2014 роки.

Це означає, що експоненціальний теоретичний розподіл можна використовувати при побудові моделей роботи мікрологістичних систем ЗТМП: розігрувати частину значень мінімальних інтервалів за ймовірністю їх появи, а частину інтервалів, які перевищують мінімальний – генерувати за експоненціальним законом.

Але ця методика не пристосована для умов зміни обсягів надходження вантажів на адресу підприємства, а, відповідно, і кількості поїздів. Оскільки не відомо, як зміниться у цьому випадку ймовірність прибуття составів через мінімальні інтервали і яким чином змінювати параметр моделювання за експоненціальним розподілом.

З метою отримання більш точних результатів моделювання, та відповідно, більш ефективного використання моделей ЗТМП, пропонується використовувати розроблений метод моделювання інтервалів передачі составів, реалізацію якого виконано на базі комбінату «Запоріжсталь».

Сутність методу полягає в моделюванні інтервалів передавання составів шляхом генерації їх за експоненціальним законом розподілу у певному діапазоні, всі значення якого не перевищують значення мінімального інтервалу.

На першому етапі здійснюється збір даних щодо інтервалів передавання составів та їх значення зменшуються на величину мінімального інтервалу.

На другому етапі виконується статистичний аналіз отриманої вибірки даних, будується гістограма розподілу її значень, яка перевіряється на відповідність експоненціальному розподілу шляхом візуального аналізу та за критеріями згоди.

Третій та наступні етапи виконуються у разі обґрунтованої можливості апроксимації емпіричного розподілу теоретичним. За даними, зібраними на першому етапі визначається ймовірність передавання составів за мінімальним інтервалом $P(m)$. Для цього значення визначається відповідний діапазон інтегральної функції $F(x)$ експоненціального розподілу випадкової величини.

Інтегральна функція експоненціального розподілу [6]:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Ймовірність настання події $P(x)$ в інтервалі від a до b :

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a). \quad (4)$$

Згідно (3) $F(a) = 1 - e^{-\lambda a}$, $F(b) = 1 - e^{-\lambda b}$, тому вираз (4) можна записати наступним чином:

$$P(a < x < b) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}. \quad (5)$$

Ймовірність отримання значень мінімального інтервалу передачі составів $P(m)$ еквівалентна ймовірності генерації випадкових значень за експонен-

ціальним розподілом $P(a < x < b)$. З урахуванням (5), отримаємо умову

$$P(m) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}. \tag{6}$$

Приймаємо $a = 0$ – початком координатної осі, тоді вираз (6) запишемо у вигляді

$$P(m) = 1 - e^{-\lambda b}, \tag{7}$$

звідки

$$b = -\frac{\ln(1 - P(m))}{\lambda}. \tag{8}$$

Формула для моделювання випадкової величини за експоненціальним розподілом [6]:

$$x_i = -\frac{1}{\lambda} \ln \xi_i. \tag{9}$$

Інтервали передачі составів визначаються за наступною системою рівнянь:

$$I_i = \begin{cases} x_{\min}, & \text{якщо } 0 \leq x_i \leq b, \\ x_i, & \text{якщо } x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \end{cases} \tag{10}$$

де x_{\min} – мінімальний інтервал передачі составів;
 x_{\max} – максимальний розмір інтервалу передачі составів за даними спостережень.

Інтервал I_i невизначений для всіх $x_i > x_{\max}$ та $b < x_i \leq x_{\min}$.

У випадку $b \approx x_{\min}$ інтервали передачі составів $I_i = x_i$ для всіх $x_i < x_{\max}$.

Розроблений метод не доцільно застосовувати у випадку $b \gg x_{\min}$, який виникає при великих значеннях $P(m)$, зазвичай, понад 0,7 – 0,9. У такому разі доцільно використовувати моделювання за табличним розподілом.

Для визначення точності запропонованого методу, виконаємо розрахунки за формулами (7 – 10) для реальних значень передачі составів за даними ВАТ «Запоріжсталь» в період 2012 – 2014 роки.

Розраховані значення параметрів моделювання наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Аналіз результатів моделювання інтервалів передачі составів

Параметр	2012 рік		2013 рік		2014 рік	
	Фактичні дані	Модель	Фактичні дані	Модель	Фактичні дані	Модель
Кількість значень	100	100	100	100	100	100
Математичне очікування	3,08	2,966	2,77	2,673	2,592	2,662
Дисперсія	2,915	2,312	1,968	1,516	0,927	1,072
Стандартне відхилення	1,707	1,521	1,403	1,231	0,963	1,035
Коефіцієнт варіації	0,554	0,513	0,506	0,461	0,372	0,389

На гістограмах рис. 8 – 10 приведені фактичні та відповідні їм розподіли результатів моделювання по даним за 2012 – 2014 роки.

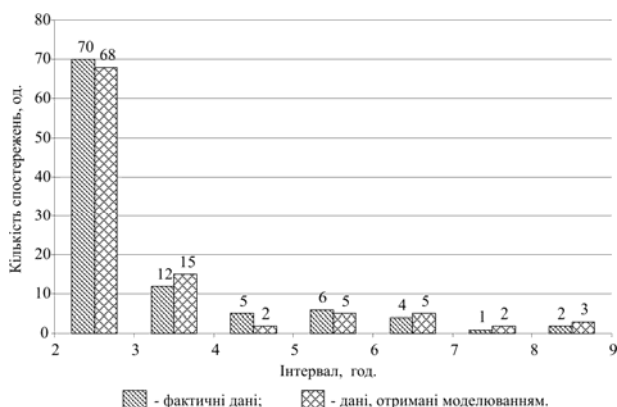


Рис. 8. Аналіз розподілу результатів моделювання по даним за 2012 рік

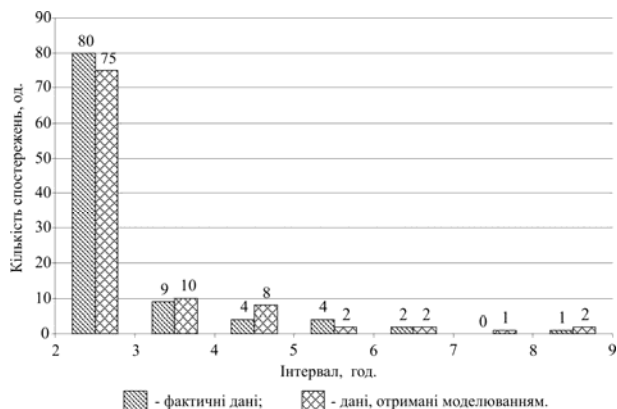


Рис. 9. Аналіз розподілу результатів моделювання по даним за 2013 рік

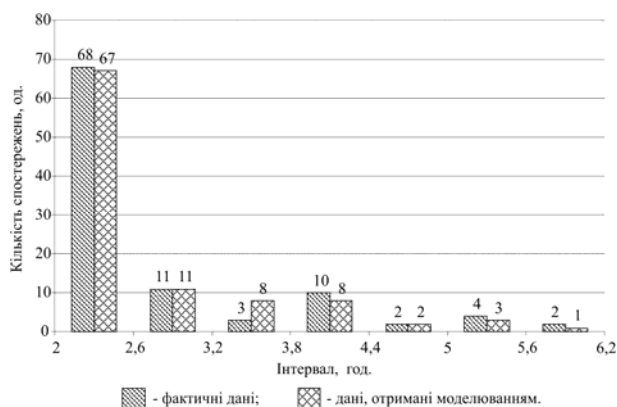


Рис. 10. Аналіз розподілу результатів моделювання по даним за 2014 рік

Крім порівняльного аналізу вибірок на гістограмах рис. 8 – 10 була виконана перевірка вибірок на однорідність [6]. За результатами розрахунків можна зробити висновок щодо однорідності фактичних та отриманих внаслідок моделювання вибірок.

Таким чином, запропонований метод моделювання інтервалів передачі составів може успішно використовуватись в умовах металургійних підприємств.

Практична реалізація може виконуватись при моделюванні процесу надходження составів на під'їзну колію, або для інших процесів:

- подавання составів до вантажних фронтів або пунктів очищення вагонів від залишків вантажу;
- подавання составів до пристроїв відновлення сипкості вантажів (пристрої розморожування, буро-фрезерні установки та ін.);
- виходу составів з вантажних пунктів та ін.

Висновки. Розроблено метод моделювання інтервалів передачі составів на металургійне підприємство, який дозволяє отримати більш точні результати. Це, в свою чергу, дозволяє більш ефективно здійснювати планування та управління перевезеннями при використанні моделей залізничного транспорту металургійних підприємств.

Розроблений метод полягає в моделюванні інтервалів передавання составів шляхом генерації їх за експоненціальним законом розподілу у певному діапазоні, всі значення якого не перевищують значення мінімального інтервалу. Визначені параметри транспортної системи, при яких доцільно використовувати даний метод.

Виконаний аналіз показав достатню відповідність результатів моделювання фактичним даним. Відносна похибка складає близько 10% випадків зміщень інтервалів при повній відповідності середнього значення, що відповідає точності досліджень при підборі відомих теоретичних законів розподілу для емпіричних розподілів.

Визначені умови, в яких доцільно використовувати розроблений метод та обґрунтовано можливість використання його в реальних умовах.

Л і т е р а т у р а

1. Толуев, Ю. И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. – №2 (25), 2008, – С. 53-63.
2. Турпак, С. М. Методи та моделі управління вагонопотоками на металургійних підприємствах / С. М. Турпак. – Херсон : Грин' Д.С., 2014. – 146 с.
3. Лабадин, С. И. Организация перевозок и управление железнодорожным транспортом металлургических заводов / С. И. Лабадин, М. И. Шмудевич. – М: Металлургия, 1978. – 264 с.
4. Харин, Ю.С. Основы имитационного и статистического моделирования / Ю. С. Харин, В. И. Малюгин, В. П. Кирлица и др. – Минск: «Дизайн ПРО», 1997. – 288 с.
5. Лифшиц, А.Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания / А. Л. Лифшиц, Э. А. Мальц. – М.: Сов. радио, 1978. – 247 с.
6. Лашеніх, О. А. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем: навчальний посібник / О. А. Лашеніх, О. Ф. Кузькін, С.В. Грицай. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 420 с.

R e f e r e n c e s

1. Toluev, Ju. I. Imitacionnoe modelirovanie logisticheskikh setej // Logistika i upravlenie serijami postavok. – №2 (25), 2008, – S. 53-63.

2. Turpak, S. M. Metodi ta modeli upravlinnja vagonopotokami na metalurgijnih pidpriemstvah / S. M. Turpak. – Herson : Grin' D.S., 2014. – 146 s.
3. Labadin, S. I. Organizacija perevozok i upravlenie zheleznodorozhnym transportom metallurgicheskikh zavodov / S. I. Labadin, M. I. Shmulevich. – M: Metallurgija, 1978. – 264 s.
4. Harin, Ju.S. Osnovy imitacionnogo i statisticheskogo modelirovanija / Ju. S. Harin, V. I. Maljugin, V. P. Kirlica i dr. – Minsk: «Dizajn PRO», 1997. – 288 s.
5. Lifshic, A.L. Statisticheskoe modelirovanie sistem massovogo obsluzhivaniya / A. L. Lifshic, Je. A. Mal'c. – M.: Sov. radio, 1978. – 247 s.
6. Lashhenih, O. A. Imovirnisni i statistiko-eksperimental'ni metodi analizu transportnih sistem: navchal'nij posibnik / O. A. Lashhenih, O. F. Kuz'kin, S.V. Gricaj. – Zaporizhzhja: ZNTU, 2011. – 420 s.

Турпак С. Н. Совершенствование метода имитационного моделирования входных вагонопотоков металлургических предприятий.

Исследованы входные потоки металлургических предприятий и рассмотрены случаи, в которых эмпирические распределения случайной величины интервалов между последовательным поступлением составов поездов не соответствуют известным теоретическим законам распределения. Разработан метод имитационного моделирования входных вагонопотоков металлургических предприятий, который позволяет более эффективно планировать работу транспорта. Выполненный статистический анализ показал соответствие полученных результатов моделирования фактическим данным. Определены параметры транспортной системы, при которых целесообразно использовать разработанный метод, обоснована возможность его применения в реальных условиях.

Ключевые слова: логистика, имитационное моделирование, транспортная система, металлургическое предприятие.

Turpak S. M. Improvement of simulation technique of the input car traffic volumes of metallurgical enterprises.

Input car traffic volumes of metallurgical enterprises were investigated and cases when the empirical distributions of the random variable intervals between successive arrivals of the train do not correspond to known theoretical distribution laws were considered. It was developed simulation technique of the input car traffic volumes of metallurgical enterprises, which allows better planning of transport operation. Performed statistical analysis showed correspondence between simulation results and actual data. Specific parameters of the transport system at which it is advisable to use the developed technique, the possibility of its application in the real conditions is grounded.

Keywords: logistics, simulation, transport system, metallurgical enterprise.

Турпак С. Н. – к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій ЗНТУ, м. Запоріжжя, Україна, e-mail: turpak@mail.ru.

Рецензент: д.т.н., проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

Стаття подана 04.03.15