

Є. В. НАГОРНИЙ (Харківський національний автомобільно-дорожній університет),
А. М. ОКОРОКОВ (Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОПИТУ НА ПОСЛУГИ ТРАНСПОРТНО-ВАНТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ

Розглядається питання та послідовність розробки моделі формування попиту на послуги транспортного вантажного комплексу (ТВК).

Ключові слова: імітаційне моделювання, модель попиту, транспортний вантажний комплекс, модель, клас, випадкова величина.

Рассматривается алгоритм и последовательность разработки модели формирования спроса на услуги транспортного грузового комплекса (ТГК).

Ключевые слова: имитационное моделирование, модель спроса, транспортный грузовой комплекс, модель, класс, случайная величина.

An algorithm and the sequence of development of the model of the demand for the services of the transport of the cargo complex (TFC) content.

Key words: simulation, demand model, the transport cargo complex, model, class, random variable.

Вступ

Процес обслуговування клієнтури в транспортних вузлах є складним технологічним процесом, що характеризується наявністю великої кількості взаємопов'язаних операцій на різних ділянках вузла. При цьому кожна технологічна операція окрім детермінованих показників характеризується сукупністю параметрів, які мають випадкову природу. Тому процес управління роботою ТВК в цілому є процесом управління великою стохастичною системою.

Основним і найбільш відповідним підходом до управління логістичними системами є прийняття рішень на підставі результатів імітаційного моделювання даних систем для відповідно спланованих і сформованих наборів вихідних даних [1].

Актуальність і коректність такого підходу обґрунтовується з однієї сторони практичною неможливістю натурних обстежень процесу функціонування об'єкту управління для відповідних значень керованих факторів через значну тривалість самого процесу, велику вартість технологічних операцій, і як наслідок – невіправдано велику вартість самих досліджень. Тобто прийняття рішень щодо стану об'єкта управління на базі результатів статистичного моделювання є неможливим в першу чергу через значну вартість (а часто – неможливість) збору вихідних даних для аналізу. З іншої сторони математичне моделювання таких складних технологічних систем, якою є ТВК, не до-

зволяє врахувати всі особливості окремих операцій обробки вантажної маси і взаємодії елементів логістичної системи. Математичні моделі при тому потребують суттєвої апроксимації реальних технологічних процесів, що значно збільшує похибку результату функціонування об'єкту управління, і як наслідок – призводять до прийняття неоптимальних рішень.

Мета і постановка задачі

Метою даної статті є висвітлення процесу створення моделі формування попиту на послуги ТВК та прогнозування за її допомогою обсягу попиту на транспортну продукцію

Для розробки моделі оптимального управління роботою ТВК необхідне вирішення наступних задач:

- розробити модель формування попиту на послуги ТВК та прогнозування попиту на транспортну продукцію;
- визначити цільову функцію процесу обслуговування клієнтури в ТВК для сучасних умов функціонування підприємств на ринку транспортних послуг;
- розробити об'єктну модель взаємодії елементів ТВК як складної логістичної системи.

Рішення поставленої задачі

Елементарною одиницею попиту на послуги ТВК є обслуговування вагону, що надійшов у складі поїзду. Для даної елементарної одиниці розглядаються наступні чисельні і якісні харак-

теристики, що характеризують попит:

- вантажність вагону;
- завантаженість вагону (порожній або з вантажем);
- тип вагону (корелює з видом вантажу, що в ньому міститься);
- власник вантажу.

Урахування інших характеристик елементарної одиниці попиту (кількість колісних пар, власна маса, осьове навантаження та інше) дозволяє більш детально розглянути процес формування попиту на послуги ТВК. В цілому це потребує виділення в подальшому більшої кількості груп елементарних одиниць, що формують попит, але запропонований принцип моделювання залишається незмінним.

Визначимо елементарну одиницю попиту w на послуги ТВК як сукупність виділених характеристик:

$$w = \{q; \gamma; \kappa; FO\}, \quad (1)$$

де q – вантажність вагону, т;

γ – коефіцієнт використання вантажності вагону;

κ – код типу вагону;

FO – власник вантажу (вагону).

Пропонується ввести наступне кодування типів вагону:

- 1 – критий вагон,
- 2 – піввагон (відкритий),
- 3 – вагон-платформа;
- 4 – вагон-цистерна;
- 5 – фітингова платформа;
- 6 – хопер (бункерний вагон).

Характеристика τ є важливою складовою для формування моделі технологічного процесу обробки подачі вагонів в ТВК. Оскільки одна подача може містити вагони різних типів, для обробки яких використовуються різні технічні засоби, то технологія обробки включатиме операцію попереднього сортування.

Елемент FO може бути описаний як назва вантажовласника або його код, при необхідності в модель може бути введена сукупність індивідуальних параметрів, що характеризують підприємство-власника вантажу.

Сукупність вагонів формує вантажний поїзд. Характеристиками поїзду як одиниці попиту є кількість вагонів та інтервал його прибуття до ТВК. Формально вантажний поїзд є наступною сукупністю:

$$T = \{\cup_{i=1}^{N_w} w_i; \zeta\}, \quad (2)$$

де T – вантажний поїзд;

N_w – кількість вагонів в поїзді;

ζ – інтервал прибуття поїзду до ТВК, год.

Для випадку, коли розглядається попит на переробку вантажів конкретного виду для певного клієнта, що перевозяться в вагонах одного типу, вантажний поїзд можна описати за допомогою лише пари елементів:

$$T = \{N_w; \zeta\}, \quad (3)$$

Використовуючи запропонований апарат дефініції при розгляді попиту на послуги ТВК на протязі деякого періоду часу, можна стверджувати, що обсяг попиту є сумою випадкових величин кількості вагонів N_w в складі вантажних поїздів, які надходять до ТВК з деяким випадковим інтервалом ζ . Формально дане твердження можна записати наступним чином:

$$Q_w = \sum_{i=1}^{N_T} \tilde{N}_{wi}, \quad (4)$$

де Q_w – попит на послуги ТВК, вагони/період;

N_T – кількість вантажних поїздів, що надійшли до ТВК протягом періоду часу, що розглядається, поїзди/період;

\tilde{N}_{wi} – випадкова величина кількості вагонів у складі вантажного поїзду, вагони/поїзд.

Оскільки інтервал надходження вантажних поїздів до ТВК є випадковим, то кількість поїздів N_T теж є величиною стохастичною. Математичне очікування кількості вантажних поїздів μ_N можна оцінити із співвідношення:

$$\mu_N = \frac{T_m}{\mu_\zeta}, \quad (5)$$

де T_m – тривалість періоду, протягом якого розглядається процес надходження поїздів до ТВК (період моделювання), год.;

μ_ζ – математичне очікування інтервалу надходження вантажних поїздів до ТВК, год.

Для оцінки попиту на послуги ТВК в тоннах вантажу Q_t , переробку якого необхідно забезпечити, на підставі (4) отримуємо наступний вираз:

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\tilde{N}_T} \sum_{j=1}^{\tilde{N}_{wi}} q_{ij} \gamma_{ij}, \quad (6)$$

де q_{ij} – вантажність j -ого вагону у складі i -ого поїзду, т;

γ_{ij} – коефіцієнт використання вантажності j -ого вагону у складі i -ого поїзду.

Для імітаційного моделювання процесу формування попиту на базі описаної формальної моделі (1)-(6) створено наступні класи:

– клас *Waggon* – дозволяє змоделювати об'єкт типу «вагон»; містить у відповідності до (1) чотири основні властивості: вантажність, коефіцієнт використання вантажності, тип вагону і посилання на об'єкт, що моделює власника вантажу;

– клас *Train* – дозволяє змоделювати об'єкт типу «вантажний поїзд»; містить згідно з (2) масив *waggons* (в програмній реалізації на Java – перелік типу *ArrayList* або *Vector*) елементів типу *Waggon*, а також поле, що містить значення інтервалу надходження поїзду до ТВК відносно поїзду попереднього;

– клас *Owner* – дозволяє отримати програмну модель власника вантажу; в запропонованій програмній реалізації містить єдине поле – назву вантажовласника;

– клас *TransportDemand* – використовується власне для моделювання попиту на послуги ТВК; основними полями класу є величини інтервалу надходження поїздів і кількості вагонів у складі поїзду типу *Stochastic* та величина періоду моделювання; внутрішнім полем класу є перелік *trains*, що містить посилання на змодельовані об'єкти типу *Train*, які відображають вантажні поїзди, обслуговувані у ТВК протягом періоду моделювання; розрахунковими методами класу є *getWValue()*, що повертає значення попиту в вагонах, і *getTValue()*, що повертає значення попиту в тоннах обробленого вантажу;

– клас *Stochastic* – є допоміжною конструкцією, що надає інструменти для моделювання випадкових величин з різними законами розподілу.

Розроблений клас *Stochastic* містить поля, що відображають інформацію про параметри випадкової величини – параметр розташування, масштабу і форми. В запропонованій програмній реалізації класу підтримується генерація випадкових величин, розподілених за рівномірним, нормальним, експонентним, логнормальним та гамма-розподілом.

Генерацію випадкових величин реалізовано у відповідних внутрішніх методах класу відповідно до залежностей щодо зв'язку між стохастичними розподілами, наведеними в [2].

Рівномірний закон характеризується параметрами розташування та форми. Випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі від 0 до 1, генерується за допомогою методу *nextDouble()* класу *Random* з пакету *java.util.random* інструментів *Java*. При цьому приведення отриманої реалізації випадкової величини до реалізації величини з параметрами

розташування a і форми b здійснюється на підставі співвідношення (метод *getRect()*):

$$R(a, b) = a + bR_{01}, \quad (7)$$

де $R(a, b)$ – рівномірно розподілена випадкова величина з параметром розташування a і параметром форми b ;

R_{01} – випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі від 0 до 1.

Нормально розподілена випадкова величина N_{01} з нульовим математичним очікуванням і середнім квадратичним відхиленням в 1 генерується на підставі наступного зв'язку з рівномірним розподілом:

$$N_{01} = -6 + \sum_{i=1}^{12} R_{01i}, \quad (8)$$

Випадкова величина $N(\mu, \sigma)$, розподілена з нормальним законом з параметром розташування μ і параметром масштабу σ , приводиться з N_{01} на підставі співвідношення (метод *getNorm()*):

$$N(\mu, \sigma) = \mu + \sigma N_{01}, \quad (9)$$

Значення експонентно розподіленої випадкової величини з параметром масштабу b генерується на підставі значення випадкової величини з рівномірним розподілом в інтервалі від 0 до 1 відповідно до співвідношення (метод *getExpon()*):

$$E(b) = -b \cdot \ln R_{01}, \quad (10)$$

де $E(b)$ – значення випадкової величини, розподіленої за експонентним законом з математичним очікуванням, рівним b .

Логнормально розподілена випадкова величина в класі *Stochastic* генерується за допомогою методу *getLognorm()* на підставі значення нормально розподіленої випадкової величини з нульовим математичним очікуванням і одиничним середньоквадратичним відхиленням:

$$L(m, \hat{\sigma}) = m \cdot \exp(\hat{\sigma} \cdot N_{01}), \quad (11)$$

де $L(m, \hat{\sigma})$ – значення логнормально розподіленої випадкової величини з параметром масштабу m і параметром форми $\hat{\sigma}$.

Значення випадкової величини, розподіленої за гамма-законом, обчислюється на підставі зв'язку із рівномірним розподілом на підставі наступного співвідношення (*getGamma()*):

$$\gamma(b, c) = -b \cdot \ln \prod_{i=1}^c R_{01i}, \quad (12)$$

де $\gamma(b, c)$ – гамма-розподілена випадкова ве-

личина з параметром масштабу b і параметром форми c .

Методами, що безпосередньо повертають значення випадкової величини попиту на послуги ТВК, є методи $getWValue()$ і $getTValue()$ класу $TransportDemand$. Алгоритми даних методів представлені на рис. 1 і 2 відповідно.

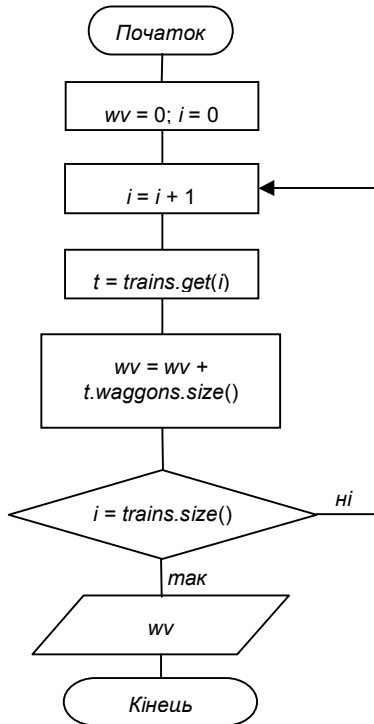


Рис. 1. Алгоритм методу $getWValue()$

Змінна wv використовується в алгоритмі, наведеному на рис. 1, в якості суматора кількості вагонів для всіх поїздів, що надійшли до ТВК протягом періоду моделювання. Алгоритм послідовно перебирає всі елементи колекції $trains$, що містить посилання на об'єкти, які відображають вантажні поїзди. В циклі з лічильником i відбувається зчитування поточного i -ого елемента колекції в змінну t типу $Train$. Змінна типу $Train$ містить перелік $waggons$, в циклі до суматора wv додається розмір даного переліку, який повертає метод $size()$. Умовою виходу з циклу є виконання рівності змінної i розміру колекції $trains$. Значенням, що повертає метод $getWValue()$ є значення змінної wv після виходу з циклу.

Алгоритм методу $getTValue()$, що повертає обсяг попиту на послуги ТВК в тоннах вантажу, є аналогічним алгоритму, представленою на рис. 1. Даний алгоритм містить додатковий внутрішній цикл з лічильником j , в якому здійснюється перебір вагонів, що входять до складу i -ого потягу. В змінну-суматор tv додається значення додатку вантажності $w.q$ і коефіцієнта

використання вантажності $w.gamma$ для j -ого вагону. Критеріями виходу з циклів, як і в алгоритмі попередньо розглянутого методу, є рівність змінної-лічильника кількості елементів відповідної колекції. В результаті виконання описаних ітерацій змінна tv міститиме змодельоване значення випадкової величини попиту на послуги ТВК в тоннах вантажу, що має бути обробленим.

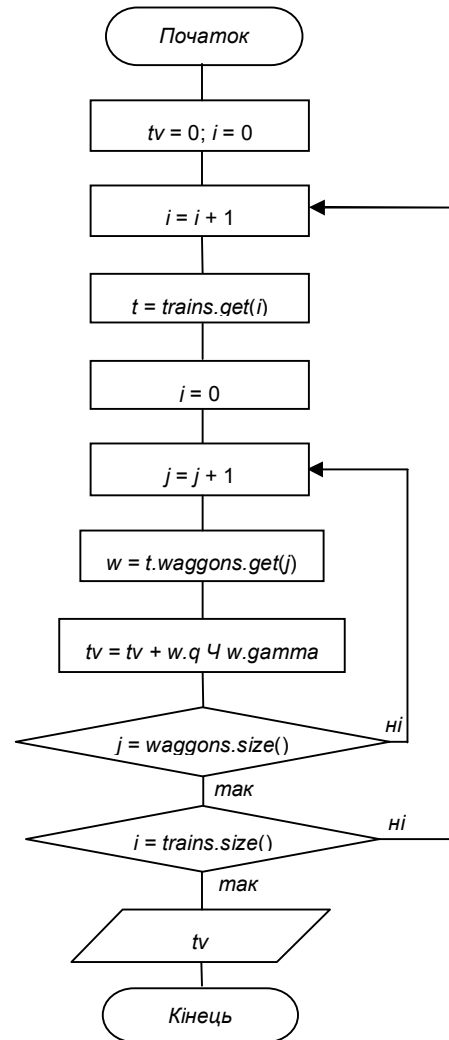


Рис. 2. Алгоритм методу $getTValue()$

Згідно з результатами статистичних досліджень, проведених для вантажної станції Дніпропетровськ-Вантажний, інтервал прибуття поїздів на під'їзні колії є випадковою величиною, розподіленою експонентно або нормально, а кількість вагонів в подачі – розподіленою нормально або логнормально. Із використанням описаних алгоритмів визначення попиту на послуги ТВК проведено імітаційний експеримент з визначення закономірностей формування попиту та послуги ТВК для наступних комбінацій розподілів інтервалу прибуття поїздів і кількості

вагонів в передачах:

- інтервал – нормальний, кількість вагонів – нормальний;
- інтервал – нормальний, кількість вагонів – логнормальний;
- інтервал – експонентний, кількість вагонів – нормальний;
- інтервал – експонентний, кількість вагонів – логнормальний.

В якості чисельних значень параметрів випадкових величин прийняті значення математичного очікування інтервалу прибуття вантажних поїздів на рівні 2 год., а кількості вагонів в подачі – на рівні 40 одиниць (значення, що знаходяться в діапазоні найбільш імовірних для сукупності відповідних випадкових величин, отриманих в результаті статистичних досліджень по станції Дніпропетровськ-Вантажний). Для визначення параметру масштабу нормального закону розподілу і параметру форми логнормального розподілу прийнято значення коефіцієнта варіації (співвідношення середньоквадратичного відхилення і математичного очікування) на рівні 0,13 для кількості вагонів і на рівні 0,25 для інтервалу прибуття. Кількість опитів в серії прийнято рівним 400 у відповідності із таблицею достатньо великих чисел Чебишева (більшим, ніж 384, що відповідає рівню довірчої ймовірності в 95 %) [3].

Гістограми розподілу випадкових величин попиту, отримані при статистичній обробці результатів експерименту для експонентного розподілу інтервалу і нормального розподілу кількості вагонів представлені на рис. 3 і 4.

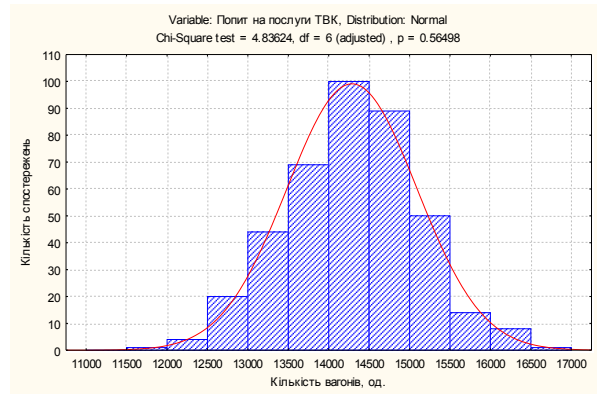


Рис. 3. Розподіл попиту на послуги ТВК (одиниці виміру – вагони)

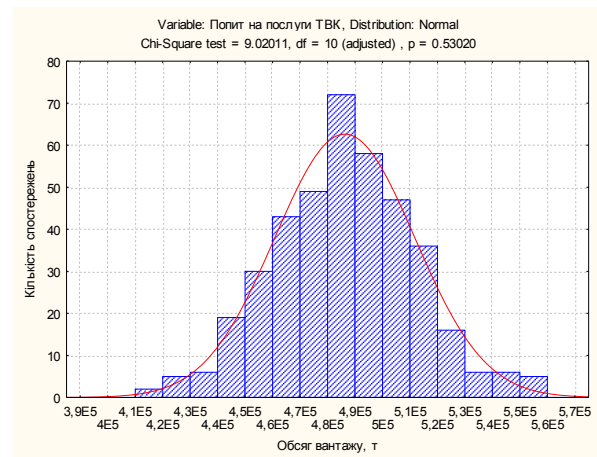


Рис. 4. Розподіл попиту на послуги ТВК (одиниці виміру – тонни вантажу)

Інші результати імітаційного експерименту представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати імітаційного експерименту з визначення закономірностей формування попиту на послуги ТВК

Показник	Серія опитів			
	1	2	3	4
Розподіл інтервалу прибуття поїздів	нормальний	нормальний	експонентний	експонентний
Розподіл кількості вагонів в передачі	нормальний	логнормальний	нормальний	логнормальний
Розподіл величини попиту (в вагонах)	нормальний	нормальний	нормальний	нормальний
Критерій Пірсона розрахунковий	4,32	7,04	4,84	3,06
Критерій Пірсона табличний	5,99	15,51	12,59	11,07
Вірогідність узгодження	0,12	0,53	0,56	0,69
Розподіл величини попиту (в тоннах вантажу)	нормальний	нормальний	нормальний	нормальний
Критерій Пірсона розрахунковий	3,96	0,53	9,02	3,79
Критерій Пірсона табличний	11,07	9,49	18,31	11,07
Вірогідність узгодження	0,56	0,97	0,53	0,58

Висновки

Результати експерименту показали, що попит на послуги ТВК є нормально розподіленою випадковою величиною, не залежно від законів розподілу інтервалу надходження поїздів і кількості вагонів в подачі. Даний результат погоджується з теоретичним обґрунтуванням нормальності випадкової величини попиту відповідно до теореми Ляпунова: випадкова величина, що є сумою великої кількості інших незалежних одна від одної випадкових величин, має нормальний розподіл [4].

Прогнозування обсягу попиту на послуги ТВК оцінюється на підставі імітаційного моделювання процесу надходження вантажних поїздів до станцій комплексу як сума попиту на послуги окремих станцій. Крім того, для кожної станції сумарний попит може розглядатися як сукупність поїздів по окремим під'їзним лініям

(якщо відповідні лінії обслуговують певних клієнтів). Кількісні значення прогнозу програмно отримуються за допомогою методів *getWValue()* і *getTValue()*.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аверилл, М. Лоу. Имитационное моделирование [Текст] / М. Лоу Аверилл, В. Дэвид Кельтон – СПб: Питер, 2004. – 848 с.
2. Хастингс, Н. Справочник по статистическим распределениям [Текст] / Н. Хастингс, Дж. Пикок – М.: Статистика, 1980. – 95 с.
3. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский – М.: Наука, 1971. – 576 с.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель – М.: Наука, 1969. – 575 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2012.

Прийнята до друку 26.10.2012.