

В. В. МАЛАШКІН, Р. В. ВЕРНИГОРА, М. І. БЕРЕЗОВИЙ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РЕГЕНЕРАТИВНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ЕРГАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

В статті розглянуті основні принципи методу регенеративного аналізу та наведено результати дослідження його ефективності при ергатичному моделюванні залізничних станцій. Використання регенеративного аналізу в ергатичних моделях станцій дозволяє суттєво скоротити тривалість процесу моделювання.

Ключові слова: залізнична станція, ергатичне моделювання, регенеративний аналіз.

В статье рассмотрены основные принципы метода регенеративного анализа, а также приведены результаты исследования его эффективности при эргатическом моделировании железнодорожных станций. Использование метода регенеративного анализа в эргатических моделях станций позволит существенно сократить продолжительность процесса моделирования.

Ключевые слова: железнодорожная станция, эргатическое моделирование, регенеративный анализ.

The article describes the main principles of the method of regenerative analysis. Proposed the use of a regenerative method of analysis in terms ergatic simulation of railway stations, which would reduce the simulation period, and its efficiency is investigated.

Key words: train station, ergatic simulation, regenerative analysis.

Вступ

Ефективним засобом аналізу та оцінки показників функціонування залізничних станцій, їх техніко-технологічних і техніко-економічних параметрів є імітаційне моделювання станційних процесів на ЕОМ [1-4]. Цей метод широко використовується у наукових дослідженнях і може забезпечити моделювання технологічних процесів станцій з будь-яким ступенем деталізації. Однією з основних проблем, що виникають при створенні моделей залізничних станцій, є адекватне відтворення функцій системи оперативного керування, основною ланкою якої є людина-диспетчер (ЛД). Очевидно, що без адекватного моделювання управлінської діяльності ЛД одержання достовірної кількісної та якісної оцінки показників функціонування станцій неможливе.

Слід зазначити, що проблемі розробки методики імітаційного моделювання залізничних станцій, що враховує вплив людського фактора, присвячена значна кількість робіт [5-8].

Так, в роботах [5, 6] автори пропонують методику моделювання діяльності ЛД за допомогою певних алгоритмів. Разом з тим, аналіз роботи оперативно-диспетчерського персоналу показує, що ЛД у процесі своєї роботи зазвичай вирішує одночасно декілька різних задач, що часто вимагають взаємовиключних рішень. То-

му побудова подібних алгоритмів, що враховують усе різноманіття управлінської діяльності диспетчера, є досить складним завданням, а в деяких випадках взагалі є неможливим. Цього недоліку позбавлений підхід до моделювання залізничних станцій, запропонований в [7, 8]. Авторами цих робіт розроблено концепцію ергатичних моделей, в яких особа, що виконує моделювання, бере безпосередню участь у процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера.

Постановка задачі

При моделюванні систем випадкової природи важливою задачею є правильна оцінка отриманих результатів. Зокрема, необхідні такі методи оцінювання, які дозволяють досліднику робити обґрунтовані статистичні висновки про модель за результатами моделювання. Ці методи повинні також забезпечувати можливість встановлення взаємозв'язку між тривалістю моделювання і рівнем точності отриманих оцінок. Одним з ефективних сучасних математичних методів, що використовується для оцінки точності результатів імітаційного моделювання, є метод регенеративного аналізу [9-11].

При ергатичному моделюванні за участю людини-диспетчера суттєво збільшується тривалість виконання експериментів; при цьому досить гостро постає питання про скорочення

обсягів моделювання при збереженні достовірності отриманих результатів. У цьому зв'язку була поставлена задача оцінити ефективність використання методу регенеративного аналізу при ергатичному моделюванні роботи залізничних станцій.

Основний зміст

При моделюванні роботи залізничної станції визначається деякий критерій ефективності її функціонування $E\{W\}$ (наприклад, середній простій поїздів на станції). За період моделювання в системі може бути оброблено N вимог (поїздів), тоді вибіркоче середнє значення величини W визначається як

$$W = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_N}{N}, \quad (1)$$

Відомо, що вибіркоче середнє W прагне до істинного значення $E\{W\}$ з імовірністю $P=1$ при $N \rightarrow \infty$. Однак, Такий підхід потребує виконання значних обсягів моделювання і є неприйнятним при отриманні кількісної оцінки параметрів залізничних за допомогою їх ергатичних моделей. Окрім того, вибіркоче значення W суттєво залежить від конкретного набору початкових умов моделювання і, відповідно, є

зміщеною оцінкою для істинного значення $E\{W\}$, оскільки на початку моделювання система, як правило, не має ні однієї вимоги. У цьому зв'язку для визначення достовірного значення критерію $E\{W\}$ доцільно використання методу регенеративного аналізу, суть якого полягає у наступному.

Дослідження роботи імітаційних моделей різних типів показують, що значення W_1, W_2, \dots, W_N значно корелюють між собою [11], тому їх розбивають на k циклів, у вигляді

$$(Y_k, \alpha_k), \quad (2)$$

де Y_k – сума значень W_i у k -му циклі;

α_k – кількість вимог у k -му циклі.

Кожен цикл k починається при однакових умовах моделювання (наприклад, в системі немає ні однієї заявки) і система в ці моменти «відновлюється» (регенерує). Таким чином, будуть отримані k незалежних розподілень.

Для прикладу, на рис. 1, наведено фрагмент процесу обслуговування декількох вимог в системі за час T . Отриману вибірку результатів моделювання розбито на 3 цикли, причому кожний черговий цикл починається у той момент, коли в системі немає ні однієї вимоги.

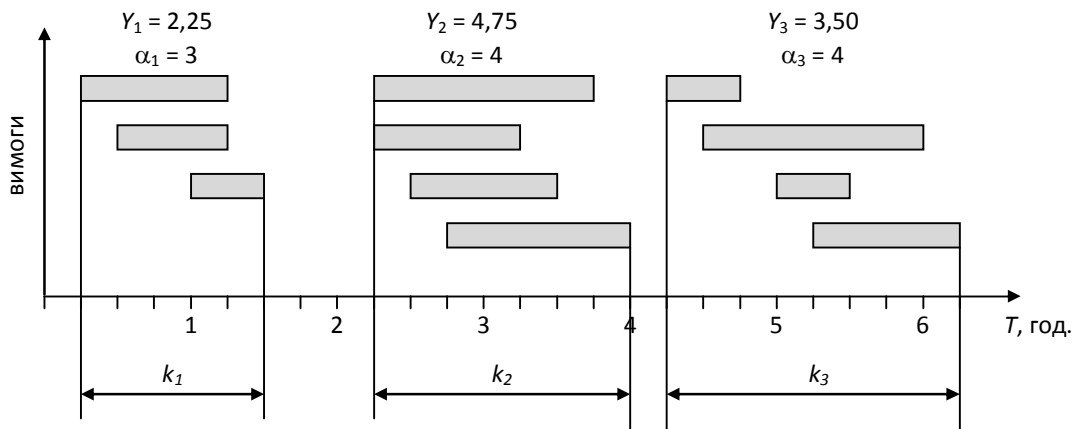


Рис. 1. Формування циклів регенерації системи

Таким чином, якщо N – загальне число вимог, які оброблені на n циклах, то

$$\frac{W_1 + W_2 + \dots + W_N}{N} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}. \quad (3)$$

Праву частину даного виразу можна записати у вигляді

$$\frac{(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) / n}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) / n}. \quad (4)$$

Так як кожна множина параметрів

$\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ і $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ складається з незалежних та однаково розподілених випадкових величин, то в силу закону великих чисел з ймовірністю $P=1$ чисельник в (4) при $n \rightarrow \infty$ прагне до значення $E\{Y_1\}$, а знаменник – до $E\{\alpha_1\}$. Необхідно також відзначити, що $N \geq n$ і, відповідно, $N \rightarrow \infty$ при $n \rightarrow \infty$. Звідси, $E\{W\} = E\{Y_1\} / E\{\alpha_1\}$.

Таким чином, задача достовірної оцінки $E\{W\}$ зводиться до оцінки відношення $E\{Y_1\} / E\{\alpha_1\}$. При цьому дане відношення оці-

нюються по незалежним і однаково розподіленим парам $(Y_1, \alpha_1), \dots, (Y_n, \alpha_n)$ за допомогою побудови довірчого інтервалу

$$I = \frac{\bar{Y}}{\bar{\alpha}} \pm \frac{\Phi^{-1}\left(1 - \frac{\delta}{2}\right) \cdot \sqrt{D_{\alpha, Y}}}{\bar{\alpha} \sqrt{k}}, \quad (5)$$

де $\bar{Y}, \bar{\alpha}$ – відповідно, середні значення параметрів Y_k і α_k ;

Φ^{-1} – функція стандартизованого нормального розподілення;

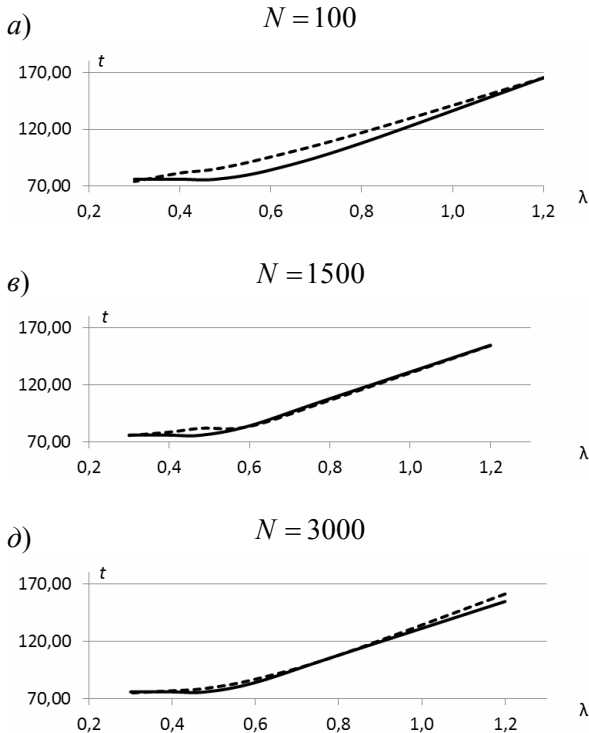
δ – параметр, який залежить від рівня довіри ξ у відсотках і складає $\delta = 1 - 0,01 \cdot \xi$;

$D_{Y, \alpha}$ – вибіркова дисперсія значень Y_k і α_k ;

k – кількість циклів регенерації.

Оцінка ефективності методу регенеративного аналізу при моделюванні залізничних станцій виконана з використанням імітаційної моделі станції, запропонованої в роботі [12]. В даній моделі станція розглядається як система масового обслуговування (СМО), а технологічний процес її роботи формалізовано на основі методів сітьового планування та управління [13]. Така модель дозволяє виконувати моделювання роботи станцій за передбаченим технологічним процесом без необхідності втручання людини в конфліктних ситуаціях.

Імітаційна модель, структура якої наведена



в [12], реалізована співробітниками Гірково-випробувальної лабораторії ДНУЗТу у вигляді програмного комплексу для ЕОМ «Програмний комплекс для моделювання технологічних процесів транспортних об'єктів на базі сітьових графіків» (свідоцтво про державну реєстрацію авторських прав на твір № 32786). З метою прискорення процедури формалізації певного технологічного процесу роботи залізничної станції розроблено відповідний програмний редактор, який дозволяє в інтерактивному режимі формувати мережевий графік комплексу технологічних операцій.

За допомогою імітаційної моделі виконано серію експериментів; при цьому варіювалися наступні вихідні дані:

- вхідний потік вимог λ , вимог/год;
- кількість оброблених вимог N .

В якості критерію ефективності функціонування системи прийнято показник t – тривалість знаходження вимоги в СМО. Аналогічна серія експериментів була виконана з використанням традиційного підходу до моделювання. Результати експериментів наведені на рис. 2.

Абсолютне відхилення значень показника t , які були отримані різними методами моделювання (традиційним та з використанням регенеративного аналізу) наведено в табл. 1.

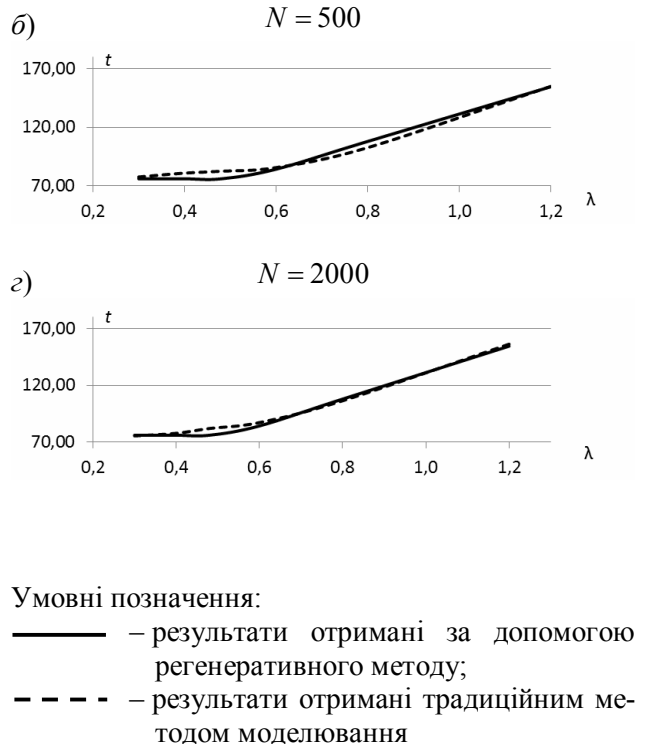


Рис. 2. Розподіл значення показника t

Таблиця 1

Відхилення (у відсотках) значень показника t , отриманих різними методами моделювання

λ , ви- мог/год	Загальна кількість вимог N , що були обслужені в СМО				
	100	500	1000	2000	3000
1,2	0	0	0	1	4
0,8	8	5	1	1	0
0,6	12	2	1	3	3
0,5	11	8	7	7	4
0,4	7	6	3	2	1
0,3	3	2	0	1	1

Аналіз результатів показав, що при значному періоді моделювання (при $N = 3000$) розбіжність значень показника t не перевищує 5 %.

Висновки

Таким чином, як показали результати досліджень, використання методу регенеративного аналізу при функціональному ергатичному моделюванні станцій є доцільним і ефективним. При цьому за рахунок визначення періоду регенерації системи, суттєво скорочується період моделювання, необхідний для встановлення достовірної оцінки значення критерію ефективності системи. Так, експерименти з ергатичною моделлю залізничної станції показали, що такий підхід дозволяє скоротити період моделювання на 30 %, не порушуючи достовірності отриманих результатів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровський, В. И. Техничко-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровський, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 6. – С. 30-42.
2. Нагорный, Е. В. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция – прилегающие участки» с помощью сетей Петри [Текст] / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98-103.
3. Яновський, П. О. Методика визначення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях в умовах функціонування автоматичної системи моделювання та аналізу експлуатаційної роботи залізниць [Текст] / П. О. Яновський // Залізнич. транспорт України. – 2008. – № 2. – С. 25-28.
4. VirtuOS® – Simulieren von Bahnbetrieb / König Helmut // ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2001. 50. – № 1-2, – С. 44-47.

5. Сапунов, Н. А. Об оценке количества информации в системе управления сортировочной станцией [Текст] / Н. А. Сапунов // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 364. – Л.: ЛИИЖТ, 1973. – С. 80 – 91.

6. Кокурин, И. М. Методика количественной оценки деятельности человека-оператора железнодорожных автоматизированных систем управления [Текст] / И. М. Кокурин // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 404. – Л.: ЛИИЖТ, 1977. – С. 73 – 83.

7. Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології», Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80-86.

8. Бобровский В. И. Эргатические модели сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – № 5. – С. 7-11.

9. Иглхарт, Д. Л. Регенеративное моделирование сетей массового обслуживания [Текст] / Д. Л. Иглхарт, Д. С. Шедлер: Пер. с англ.– М.: Радио и связь, 1984. – 136 с.

10. Калашников, В. В. Организация исследования сложных систем на базе агрегативного подхода к моделированию [Текст] / В. В. Калашников // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1982. – № 2. – С. 92-108.

11. Крэйи, М. Введение в регенеративный метод анализа моделей [Текст] : [пер. с англ.] / М. Крэйи, О. Лемуан; под ред. В. В. Калашникова. // – М.: Наука, 1982. – 104 с.

12. Бобровский, В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20 / В. И. Бобровский. – ДНУЗТ, 2002. – 36 с.

13. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: «Советское радио». – 1972. – 552 с.

Надійшла до редколегії 09.10.2013.

Прийнята до друку 11.10.2013.