

УДК:625.7/.8:338

Діденко В.В.

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Анотація.** Розглядається комп'ютерна програма імітаційної моделі аналізу вартості життєвого циклу автомобільних доріг. Описуються вихідні дані моделі та вихідні форми результатів моделювання вартості.

**Ключові слова:** модель, життєвий цикл, аналіз, імітаційне моделювання, програма, моделювання.

**Постановка проблеми.** Ще не достатньо розвинуті методи прийняття оптимальних рішень щодо витрат по фазам життєвого циклу дороги. Задані, сталі величини для розрахунку не завжди дають оптимальне бачення багатьох даних у майбутньому (через 20, 30, 40 років).

Модель аналізу вартості життєвого циклу автомобільних доріг може бути корисною для оцінки майбутніх витрат, а також надасть можливість порівняти детерміновані та стохастичні результати розрахунків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі аналізу вартості життєвого циклу інфраструктурних об'єктів, до яких відносяться автомобільні дороги в світі приділяється велика увага [1 – 4]. Показано, що головним напрямком удосконалення моделей аналізу вартості життєвого циклу є врахування невизначеності, яка властива довгостроковим проектам, та вихідним даним. Імітаційне моделювання дозволяє максимально наблизити модель до реальних умов.

**Постановка завдання.** Розглянути програмне забезпечення для аналізу вартості життєвого циклу автомобільних доріг, описати основні дані та можливості такого програмного забезпечення.

## Виклад основного матеріалу.

Програма для аналізу вартості життєвого циклу автомобільних доріг працює в двох режимах – детермінованому та імітаційному.

Відомо, що існує два різних методи для обчислення витрат життєвого циклу: детермінований та ймовірнісний.

В детермінованому методі кожній вхідній змінній присвоюється стале, дискретне значення. Результати детермінованого аналізу можуть бути покращені за допомогою аналізу чутливості до змін вхідних даних [1].

Ймовірнісний метод враховує невизначеність та мінливість вхідних змінних. Він дозволяє одночасне обчислення різних припущень для багатьох змінних через визначення розподілу ймовірностей кожної. В загальному випадку під імітацією розуміють процес проведення експериментів з математичними моделями складних систем реального світу. Тобто, імітація – це комп'ютерний експеримент, який проводиться з моделлю системи, а не з самою системою. Виходячи з цього, було розроблено програму, яка реалізує обидва методи. Оцінюється вартість дорожнього одягу нежорсткого типу.

Вартість життєвого циклу дорожнього одягу в пропонованій моделі включає початкові витрати на проектування і будівництво (реконструкцію), вартість трьох можливих капітальних ремонтів, поточних ремонтів та утримання.

Головна форма програми наведена на рис. 1.

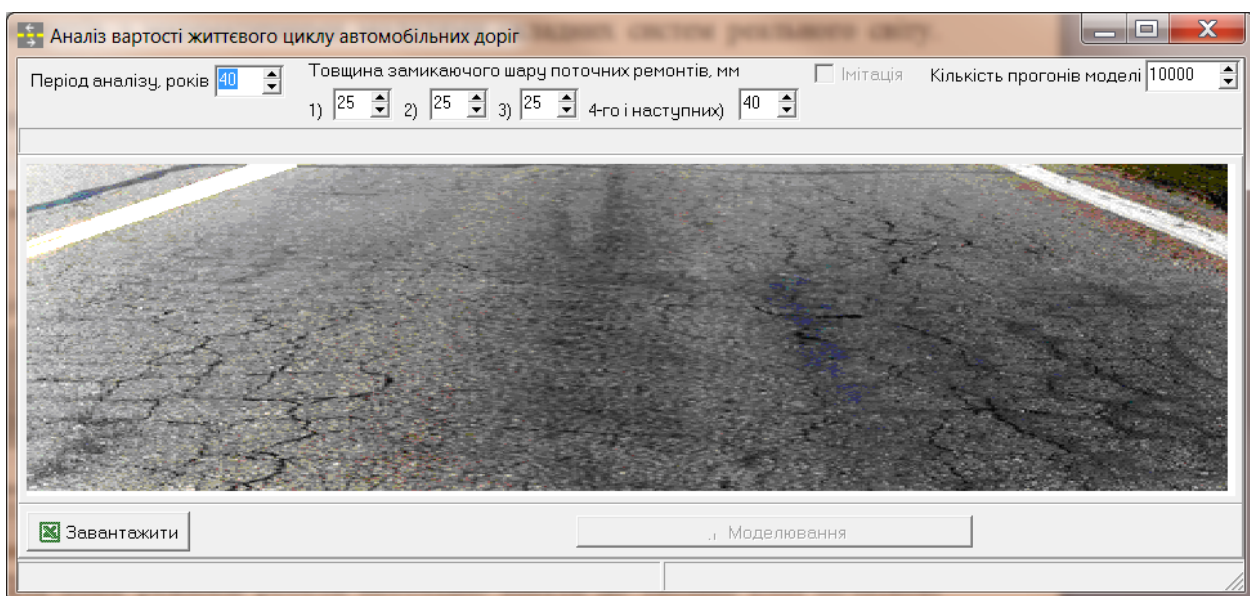


Рис. 1. Головна форма програми

Аналітик має можливість задавати: горизонт аналізу; вибирати товщину шарів поточного ремонту покриття (перші три – поверхнева обробка, а якщо потрібно більше поточних ремонтів, то – перекриття шаром асфальтобетону); задавати режим моделювання (детермінований чи імітація); кількість повторювань обчислень (прогонів моделі). Кнопка «Завантаження» здійснює завантаження вихідних даних моделі, які зберігаються в таблиці Excel і мають спеціальну структуру. Ці дані зчитуються програмою.

Для обох режимів роботи необхідно внести до шаблону (таблиці Excel) початкові дані:

- довжину ділянки в км та категорію дороги;
- кількість смуг руху та ширину проїжджої частини;
- конструкцію дорожнього одягу після будівництва (реконструкції) в нульовий рік з заданими шарами дорожнього одягу, їх модулями пружності та товщиною;
- конструкції дорожнього одягу після 1-го, 2-го та 3-го капітальних ремонтів з відповідними параметрами;
- інтенсивність та склад руху;
- параметри для прогнозування рівності покриття;
- показники для розрахунку вартості ремонтів, утримання та визначення транспортних витрат.

Для характеристики вхідних змінних використано шаблон, приклад якого наведено на рис. 2.

ВИХІДНІ ДАНІ ПРО СЕРЕДНЬОРІЧНУ ДОБОВУ ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ В 0-Й РІК										
Групи транспортних засобів	Значення	Інтервал змін		Гістограма						Імітувати
		мінімум	максимум	p1	p2	p3	p4	p5	Сума	
Lg: Легкі вантажні	500	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Cg: truc: Середні вантажні	400	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Tg: Важкі вантажні	100	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Ac: Автобуси середні	60	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
At: Автобуси важкі	22	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Pc: Причепи середні	250	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Pt: Причепи важкі	150	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
Tr: Тролейбуси	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
La: Легкові	2700	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0
q: К оеф. Приросту інтенсивності руху	4,0	1,0	7,0	0,05	0,10	0,75	0,10	0,00	1,00	1

Рис. 2. Вихідні дані про дорожній рух

Розподіл ймовірності задано гістограмою з п'яти інтервалів. Змінні моделюються як випадкові величини тільки тоді, коли в графі «Імітувати» проставлено 1 (обведено колом), інакше для моделювання вживається одне значення. Інтервали гістограми розраховуються виходячи шляхом ділення різниці максимального і мінімального значень на п'ять рівних частин. В прикладі на рис. 2 моделюватися як випадкова величина буде коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Важливою частиною програми є модель деградації дорожнього одягу, в якості якої прийняті залежності, що використовуються в Системі управління станом покриття (СУСП) [5].

Період в роках, який залишився до капітального ремонту дорожнього одягу нежорсткого виду, обчислюється за формулою [6]:

$$T_{кр} = 1 + u \times \log_{10}(K_{змф} / K_{змд}) / (0,0035 / m + n \times \log_{10}(q)), \quad (1)$$

де  $u$  - коефіцієнт, що враховує вплив дорожньо-кліматичної зони;

$K_{змф}$  - фактичний коефіцієнт запасу міцності;

$K_{змд}$  - допустимий коефіцієнт запасу міцності;

$m$  - коефіцієнт, що враховує погіршення властивостей в'язучого;

$n$  - коефіцієнт, що враховує процеси втоми покриття;

$q$  - коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Прогнозний період в роках, який залишився до відновлення рівності покриття дорожнього одягу нежорсткого виду, визначається шляхом розв'язання відносно  $t$  рівняння [49]:

$$S_0 + \alpha \cdot t \cdot e^{ct} = S_{дон}, \quad (2)$$

де  $S_0$  - показник рівності в рік вимірювання, см/км;

$\alpha$  - коефіцієнт, який залежить від дорожньо-кліматичної зони, фактичного коефіцієнта запасу міцності, типу місцевості за умовами зволоження, числа смуг руху, приведеної товщини верхніх зв'язних шарів, приведеної інтенсивності руху, показника структурної міцності несучого шару, ширини смуги руху, коефіцієнту неоднорідності міцності дорожнього одягу;

$t$  – час, років;

$S_{don}$  - допустимий показник рівності проїзної частини доріг;

$$c = 0,02 + 0,0035 \times (q - 1) \times 100. \quad (3)$$

В якості оцінки вартості життєвого циклу прийнято теперішню (приведену до 0-го року) сумарну вартість дорожньо-транспортних витрат, яка розраховується методом дисконтування.

В результаті детермінованого розрахунку будується графік зміни рівності покриття і виконання поточних і капітальних ремонтів (показано вертикальними лініями), наведений на рис. 3.

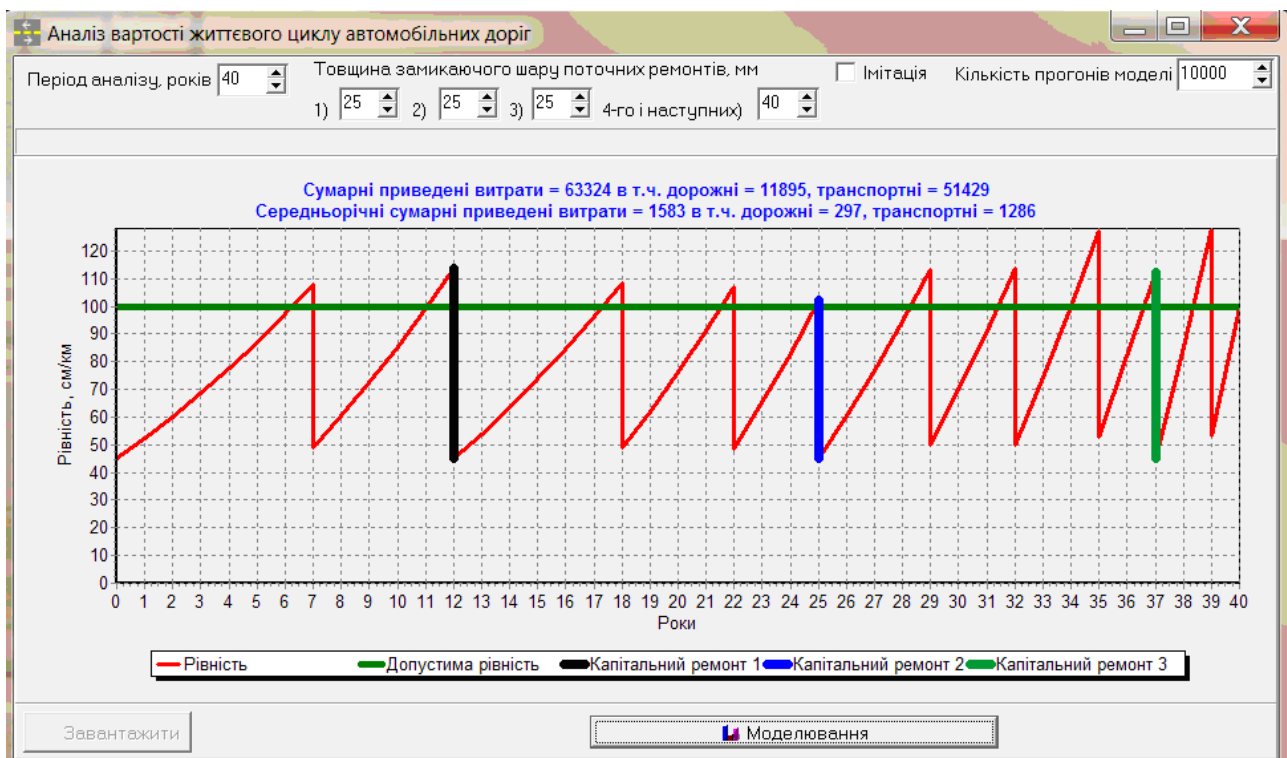


Рис. 3. Графік рівності для детермінованого режиму програми

Імітація здійснюється таким чином. З вихідних даних вибирається змінна з відміткою «Імітувати» рівною 1, за допомогою вбудованої функції – генератора випадкових чисел отримується рівномірно розподілене в інтервалі від нуля до одиниці випадкове число, по гістограмі (рис. 2) визначається номер інтервалу гістограми, а в ньому за допомогою другого випадкового числа визначається конкретне значення вхідної змінної. Процес повторюється для інших вхідних

змінних з відміткою «Імітувати» рівною 1. Змінні, які не мають такої позначки, враховуються одним числом.

В результаті імітаційного моделювання на виході моделі отримуємо оцінку закону розподілу вартості, наприклад, таку, яка наведена на рис. 4.

На рисунку 5 кожен рядок показує новий результат моделювання для інших вихідних даних.

Для імітаційного моделювання розраховуються такі параметри: середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  та коефіцієнт варіації  $K_v$ .

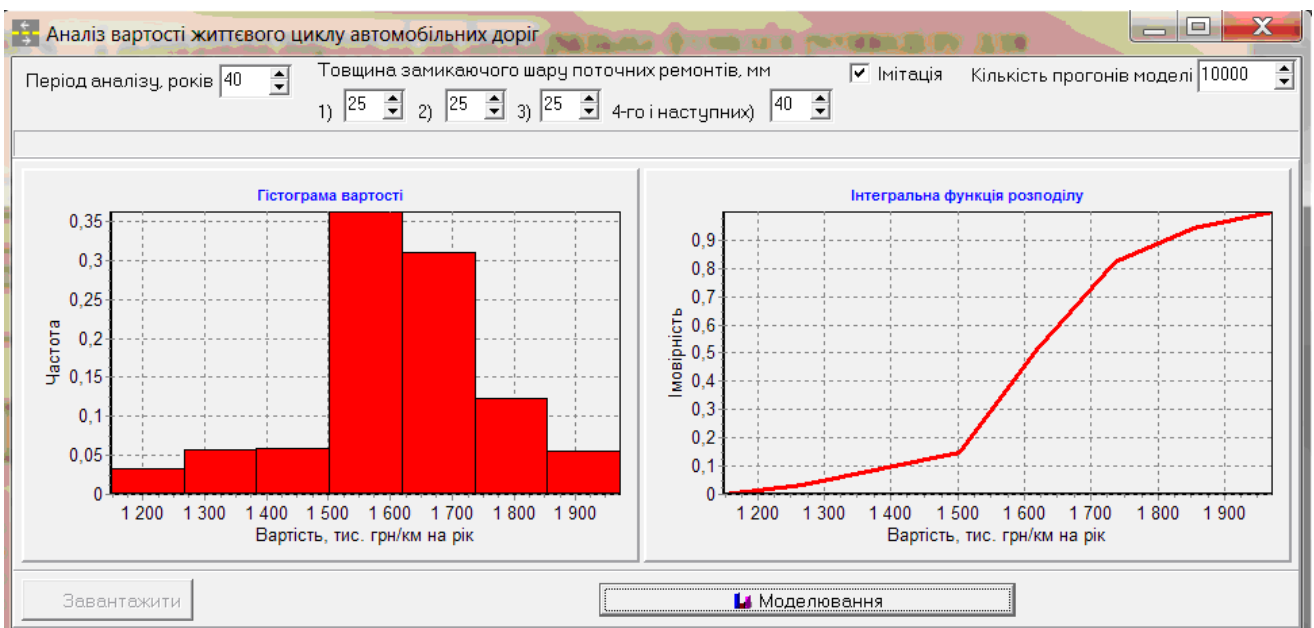


Рис. 4. Гістограма та інтегральна функція розподілу ймовірності вартості

Результати моделювання									
Тривалість горизонту моделювання, років					40				
Вид розрахунку =>					Імітація				
Кількість прогонів імітаційної моделі					10000				
Поточні ремонти				Витрати, тис. грн/рік			Статистичні параметри		
1-й, см	2-й, см	3-й, см	4-й, см	Дорожні	Транспортні	Всього	$\sigma$	$K_v$	
2,5	2,5	2,5	4,0	305	1305	1610	150	9	
1,5	2,0	2,5	4,0	302	1309	1611	154	10	
1,5	1,5	2,0	3,0	301	1311	1612	155	10	

Рис. 5. Вихідні результати для імітаційного режиму програми

## Висновок

Розроблена програма дозволяє шляхом імітації визначити теперішню вартість життєвого циклу автомобільної дороги та наглядно відобразити їх. Шляхом комп'ютерного експерименту та маніпулювання значеннями та їх розподілом ймовірності вхідних змінних аналітик може визначити раціональну стратегією проведення ремонтних заходів.

## Література

1. Life-Cycle Cost Analysis Primer. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Asset Management, August 2002. – 25 p.
2. NCHRP REPORT 483, Bridge Life-Cycle Cost Analysis. Part II. NCHRP 12-43 Bridge Life-cycle Cost Analysis Guidance Manual / Hugh Hawk // Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003. – 100 p.
3. Evaluation of Life Cycle Cost. Analysis Methodologies / Senthil Kumaran Durairaj, S.K. Ong, A.Y.C. Nee and R.B.H. Tan // Corporate Environmental Strategy, Vol. 9, No. 1, 2002. – P. 30-39.
4. Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation. /Arthur Chan<sup>1</sup>; Gregory Keoleian<sup>2</sup>; and Eric Gabler // JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING ASCE / JUNE 2008. – P. 236 – 245.
5. Кизима С.С. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип.62. – Київ: НТУ, 2001.
6. Кизима С.С. Основи експлуатації автомобільних доріг / С.С. Кизима. – К.: МОН України / НТУ, 2002. – 234 с.