

УДК 658.012.1:624.01:624.21

Канін О.П., канд. техн. наук, Халай Т.О., канд. техн. наук, Боднар Л.П.

ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ СТРАТЕГІЙ РЕМОНТІВ МОСТІВ

Анотація. Розглянутий підхід до оптимізації довгострокових стратегій утримання і ремонтів мостів на основі даних Аналітичної експертної системи управління мостами з використанням спеціально розробленого генетичного алгоритму пошуку оптимальних значень керованих змінних – можливих ремонтно-відновлювальних заходів. Визначена цільова функція і обмеження моделі, розглянуті специфічні особливості запропонованого алгоритму.

Ключові слова: оптимізація стратегії ремонтів мостів, генетичний алгоритм.

Аннотация. Рассмотрен подход к оптимизации долгосрочных стратегий удержания и ремонтов мостов на основе данных Аналитической экспертной системы управления мостами с использованием специально разработанного генетического алгоритма поиска оптимальных значений управляемых переменных – возможных ремонтно-восстановительных мероприятий. Определена целевая функция и ограничения модели, рассмотрены специфические особенности предлагаемого генетического алгоритма.

Ключевые слова: оптимизация стратегии ремонтов мостов, генетический алгоритм.

Annotation. An approach to optimize long-term strategies for maintenance and repairs of bridges based on Analytical expert control system of bridges using a specially designed genetic algorithm for finding the optimal values of controlled variables – possible repair and restoration measures. Determined objective function and constraints model discussed specifics of the proposed genetic algorithm.

Keywords: optimization of bridges repair strategy, genetic algorithms.

Постановка проблеми. Від стану мостів на автомобільних дорогах залежить сама можливість та ефективність використання доріг. Згідно з ДСТУ [1], експлуатаційні стани моста включають 5 категорій (табл. 1). За даними Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) за 2012 р. розподілення обстежених мостів на автомобільних дорогах загального користування (Укравтодор) за їх станами наведено на рис. 1а, а частка обстежених мостів на рис. 1б. Приблизно четверта частина обстежених мостів вимагає капітального ремонту і невідомо яка частина серед не обстежених.

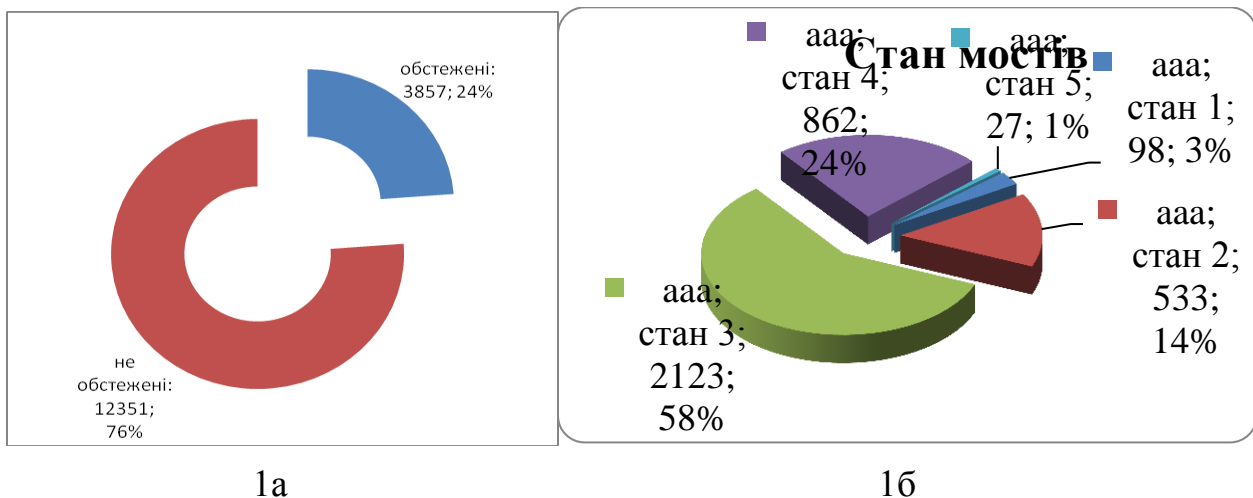


Рисунок 1 – Розподілення мостів за експлуатаційними станами

Незадовільний технічний стан автодорожніх мостів спричиняє значні соціальні і матеріальні збитки в економіці України, потребує збільшення асигнувань на їх ремонт і реконструкцію. Привертає увагу факт накопичення обсягів ремонтних робіт, які не були виконані в минулі роки. Кількість мостів, які потребують ремонту або реконструкції, останні роки постійно збільшується.

Розробка стратегії ремонтів мостів являє собою складну наукову задачу, ефективно розв'язання якої потребує подальших наукових досліджень. В першу

чергу, це стосується створення адекватних реальним умовам моделей прогнозування стану мостів і мінімізації вартості їх ремонтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алгоритми оптимізації стратегій ремонтів автодорожніх мостів розглядалися, наприклад, в роботах [2, 3, 4]. Ці моделі, як правило, складаються з двох головних модулів – модулю деградації елементів моста і модулю оптимізації стратегії ремонтів за одним [2] або багатьма [3] (переважно двома) критеріями, причому в останньому випадку частіш за все знаходиться оптимальне за Парето рішення [3] за критерієм стану моста і витрат на ремонти.

Обґрунтування оптимальної стратегії ремонтів елементів мостів являє собою NP – складну комбінаторну задачу, яка може бути розв’язана наближеними методами – часто пропонуються так звані генетичні алгоритми (ГА) пошуку оптимальних рішень [3, 4], а, іноді, методи нелінійного програмування [4]. Проте, останні потребують визначення градієнтів, тобто накладають досить жорсткі обмеження на формулювання задачі, тому, на нашу думку, вони менш перспективні для розв’язання задачі.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в розробці моделі оптимізації стратегії ремонтів мостів на мережевому рівні на основі використання генетичного алгоритму спеціального виду.

Виклад основного матеріалу. Для формалізації методу розв’язання задачі оптимізації стратегії ремонтів мостів, в першу чергу, потрібно класифікувати можливі ремонтні заходи за ступенем їх впливу на стан конструктивних елементи мостів. Доцільно [2] виділити чотири укрупнених видів ремонту та утримання мостів (експлуатаційних заходів): утримання, поточний дрібний, поточний середній і капітальний ремонти. Стратегія розробляється на період T років. Приймається, що кожного року обов’язково виконується один з перелічених заходів. Застосування виду заходу вибирається в залежності від рейтингу стану елементу моста, трансформованого у показник ступеню деградації (табл. 1).

Таблиця 1 – Деградація експлуатаційного стану

Стан	Рейтинг, балів	Ступінь деградації (D)	Назва стану	Можливий захід
5	39 – 0	0.60 ~ 1.00	Непрацездатний	ПС, КР
4	59 – 40	0.40 ~ 0.60	Обмеж. працездатний	ЕУ, ПД, ПС, КР
3	79 – 60	0.20 ~ 0.40	Працездатний	ЕУ, ПД, ПС
2	94 – 80	0.05 ~ 0.20	Обмеж. справний	ЕУ, ПД
1	100 - 95	0.00 ~ 0.05	Справний	ЕУ

В таблиці 1 прийняті такі скорочення: ЕУ – експлуатаційне утримання (0); ПД – поточний дрібний ремонт (1); ПС – поточний середній ремонт (2); капітальний ремонт (3).

Оптимізація вартості експлуатаційних заходів на стратегічний період часу T виконується за методом штрафів. Відповідно, цільова функція – функція пристосованості [2]:

$$Z = C \times \left[1 + \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}(A_t)}{D_{\max}(A_t)} + p_2 \times \frac{C - B}{B} \right], \quad (1)$$

де $D(i,t)$ – ступінь деградації i -го моста наприкінці року t ;

$D_{\max}(A_t)$ – максимально допустимий рівень деградації в залежності від віку моста, A_t ;

B – бюджет ремонту та утримання мостів;

p_1, p_2 – коефіцієнт значимості ступеню деградації та виконання бюджету ,
 $p_1 = p_2 = 1,0$.

Повна вартість експлуатаційних заходів, що планується на період часу T :

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(1+r)^{-t} \prod_{t=1}^T (1+i_{in}(t)) \times c_m(i,t) \times L(i) \times W(i) \right], \quad (2)$$

де N – кількість мостів;

T – період часу, на який планується експлуатація;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який доцільно приймати за банківською відсотковою ставкою;

i_{in} – темп інфляції;

$c_m(i,t)$ – одинична вартість експлуатаційного заходу m на 1 м^2 площі i -го моста, що застосовується до моста i в рік t , $m = 0, 1, 2, 3$;

$L(i)$ та $W(i)$ – довжина та ширина моста відповідно.

Модель деградації моста (крива деградації) апроксимується ламаною лінією з ділянками, які мають постійні річні швидкості деградації:

$$D(t) = D(0) + \sum_{j=1}^t \mu \times R(A_j, k_j) - \sum_{j=1}^t I_m(j), \quad (3)$$

де $D(0)$ – ступінь деградації на початок планового періоду. Значення $D(0)$ приймається посередині інтервалу ступеню деградації (табл. 1);

μ – фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу (1.0 для залізобетону, 1.1 для металу [2]);

$R(A_j, k_j)$ – річна швидкість деградації в рік j ;

A_j – вік моста в рік j – кількість років від року спорудження або реконструкції до року j ;

k_j – коефіцієнт руху в рік j – співвідношення прогнозованої на рік j максимальної інтенсивності руху і проектної інтенсивності руху;

$I_m(j)$ – вплив заходу m на рівень деградації в рік j (зниження ступеню деградації).

Таким чином, ступінь деградації моста також залежить від експлуатаційного заходу m , а стратегія експлуатації одного моста складається з послідовності у часі річних експлуатаційних заходів (утримання і ремонтів) $m = \overline{0,3}$. Значення функції пристосованості (1) визначається цією стратегією. Допустимі перестановки вектору m містять в собі таку (або такі), яка забезпечує мінімальне значення функції пристосованості (1). Отже, цільова функція – це сума вартості ремонту та утримання мостів і вартості штрафних санкцій. В свою чергу, $D_{\max}(A_t)$ і B – обмеження моделі оптимізації. Пошук оптимальної стратегії можна здійснити за допомогою ГА.

Ідея ГА запозичена у живої природи і використовує в своїй основі теорію еволюції Дарвіна. Алгоритм полягає в організації еволюційного процесу, кінцевою метою якого є отримання оптимального рішення в складній комбінаторній задачі. Вперше подібний алгоритм був запропонований в 1975

році Джоном Холландом (John Holland) в Мічиганському університеті. Сутність ГА полягає у: формуванні початкової («батьківської») множини (популяції) рішень – хромосом, які складаються з генів – керованих параметрів задачі, значення яких визначають значення функції пристосування (1), і оцінці кожного рішення; формуванні з «батьківської» популяції рішень-хромосом нової популяції «нащадків» виконанням з заданою імовірністю операторів кросоверу («схрещування») або інверсії та мутації і оцінці кожного нового рішення; перевірці умов зупину алгоритму.

Рішення-хромосома має структуру, наведену в табл. 2. Врахування особливостей застосованого ГА, що пов'язані з обмеженнями допустимої послідовності заходів, визначили достатність опису гену цілим числом з алфавіту $\{0, 1, 2, 3\}$ і зумовили відсутність необхідності кодування гену рядком бітів.

Таблиця 2 – Кодова структура стратегії ремонту сукупності мостів

Міст №	$i - 1$			i				$i + 1$	
Заходи	...	m_{T-1}	m_T	$m_1=3$	$m_2=0$...	$m_{T-1}=1$	$m_T=2$...
	...			ген	ген	...	ген	ген	...
Хромосома – рішення									

Застосування генетичного алгоритму для оптимізації ремонтів та утримання мостів має свої особливості, які, перш за все, відносяться до звуження вибору можливих дій в залежності від стану і ступеню деградації мостів [2]:

- початкова популяція стратегій генерується у відповідності зі ступенем деградації мостів;
- кожного року виконується тільки один вид робіт з чотирьох (утримання, поточний дрібний ремонт, поточний середній ремонт, капітальний ремонт);
- капітальний і поточний середній ремонт не приймаються, якщо міст знаходиться в 4 або 5 експлуатаційному стані і запланована його реконструкція або заміна новим;
- капітальний ремонт елементів моста не приймається, якщо він знаходиться в 1, 2 або 3 експлуатаційному стані;

- поточний середній ремонт не приймається для 1 експлуатаційного стану;
- потрібно враховувати ефект від ремонтно-відновлювальних дій в минулому році при виборі таких дій в поточному році. В класичному ГА такий зв'язок відсутній;
- якщо ступінь деградації менший, ніж щорічні темпи деградації в рік у зв'язку з впливом утримання, то як ступінь зносу використовується щорічні темпи деградації.

Узагальнена структура генетичного алгоритму може бути представлена наступним чином:

Блок 1. Ініціалізація початкової популяції P^0 чисельністю v .

- 1.1. Встановити номер поточного покоління $t: = 0$.
- 1.2. Згенерувати випадковим чином хромосомний набір довжини L .
- 1.3. Оцінити кожен рядок з набору функцією пристосованості.

Блок 2. Створення нащадків.

- 2.1. Вибрати випадковим чином з поточної популяції P^t згідно зі схемою схрещування кодування двох батьків.
- 2.2. Згенерувати за допомогою оператора кросоверу для обраної пари з імовірністю p_c одне або декілька кодувань нащадків, які успадковують генетичні властивості батьків.
- 2.3. Оцінити нащадків за допомогою функції пристосованості.
- 2.4. Повторювати всі операції з п. 2.1 доти, поки не буде розглянуто задане число пар N_c .

Блок 3. Створення мутантів з властивостями, відмінними від властивостей батьків.

- 3.1. Вибрати випадковим чином з числа нащадків і/або батьків кодування, що успадковує генетичні властивості одного або обох батьків.
- 3.2. Згенерувати оператором мутації з ймовірністю p_m мутанта, що забезпечує мінливість генетичних властивостей батьків.
- 3.3. Оцінити кодування мутанта за допомогою функції пристосованості.

3.4. Повторювати всі операції з п. 3.1 доти, поки не буде отримано задане число мутантів N_m .

Блок 4. Заміна поточної популяції P^t новою популяцією P^{t+1}

4.1. Вибрати стратегію формування популяції P^{t+1} .

4.2. Сформувати з батьків і/або нащадків їх репродукційну множину.

4.3. Скопіювати за допомогою оператора селекції з репродукційної множини кодування, що реалізують стратегію формування популяції P^{t+1} .

Блок 5. Умова виходу з ітераційного циклу.

Змінити номер поточного покоління $t := t + 1$ і повторити всі операції з п.2, якщо умова закінчення генетичного пошуку не виконана (наприклад, еволюція популяції P^t не вважається закінченою, якщо вона не вичерпала свій життєвий цикл T , тобто якщо $t < T$).

Алгоритм реалізовано у вигляді програмного модулю, який буде включено в АЕСУМ. За основу прийняте програмне рішення, запропоноване в роботі [6], яке було удосконалене шляхом врахування наведених вище обмежень. Результат розрахунків наведено на рис. 2.

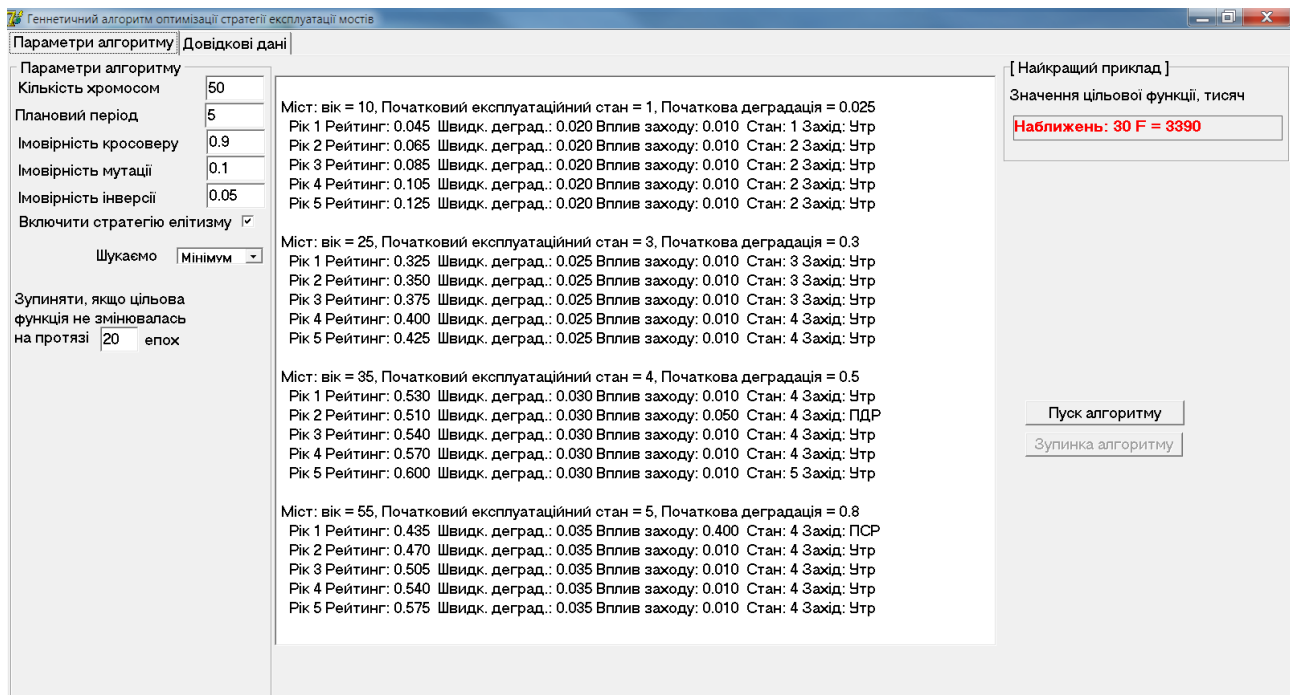


Рисунок 2 – Результати оптимізації для тестового прикладу

Висновок

Тестування розробленого алгоритму на відповідній комп'ютерній програмі показало його адекватність поставленій задачі та високу ефективність пошуку субоптимального рішення. Запропонований алгоритм може бути використаний для розв'язання багатьох задач управління станом мостів та інших елементів доріг.

Література

1. ДСТУ-Н Б.В.2.3 – 23: 2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К., 2009. – 62 с.
2. Liu Chunlu., Hammad Amin, Iton Yoshito. Cost optimization of Bridge Decks Using Genetic Algorithm. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://users.encs.concordia.ca/~hammad/papers/J11.pdf>
3. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcous, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005), pp. 129-142.
4. Дингес Э.В. Методы оптимального планирования ремонта мостовых сооружений в условиях недостаточного финансирования / Э.В. Дингес, Е.В. Лукин Новости в дорожном деле. Научно-технический информационный сборник, выпуск 4. М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам», 2007. – С. 1-24.
5. Батищев Д.И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. / Д.И. Батищев, Е.А. Неймарк, Н.В. Старостин Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии, компьютерное моделирование в прикладной математике». – Нижний Новгород, 2007. – 85 с.
6. Генетические алгоритмы – математический аппарат / Стариков А. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.basegroup.ru/library/optimization/ga_math/