
МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 658.012.1:624.01

Л. П. БОДНАР*

* ДП «ДерждорНДІ», пр. Перемоги, 57, м. Київ, Україна, 03113, тел./факс +38 (044) 206 98 82, ел. пошта laragor@ukr.net

ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ В ОПТИМІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЙ РЕМОНТІВ МОСТІВ

Мета. Науковий пошук моделі оптимізації життєвого циклу елементів автодорожніх мостів. **Методика.** Теоретичне вишукування. **Результати.** Розроблено генетичну модель оптимізації життєвого циклу. **Наукова новизна.** Вперше пропонується новітня генетична модель оптимізації в управлінні життєвим циклом моста. **Практична значимість.** Модель реалізовано в АЕСУМ для стратегічного планування експлуатації залізобетонних елементів автодорожніх мостів.

Ключові слова: оптимізація стратегії ремонтів мостів; генетичний алгоритм; автодорожні мости

Проблема

Стаття присвячується пошуку алгоритмів оптимізації витрат на ремонт автодорожніх мостів. Ставиться задача мінімізувати фінансування експлуатаційних витрат і максимізувати залишковий ресурс споруди. Ця задача є центральною в розробці теоретичних засад системи експлуатації транспортних споруд в країнах Європи та в США, складовою більш загальної проблеми, що формулюється в англомовній літературі як Система управління життєвим циклом (Service Life Management System (SLMS)).

Незважаючи на безумовну актуальність проблеми оптимізації стратегії ремонтних втручань, її дослідження практично не ведеться ні в Україні ні в Росії. Нам відомі тільки декілька публікацій українського науковця – професора А. С. Дехтяря [7, 8, 9]. Центральною науковою ідеєю, покладених в основу таких досліджень, є формулювання моделей оцінки впливу вчасно виконаних ремонтних робіт на експлуатаційний стан і залишковий ресурс споруди в цілому. Найбільш делікатним питанням цієї проблеми є оцінка вартості ремонтно-відновлювальних робіт в функції часу [2, 3, 4].

Зрозуміло, що ці питання тісно зв'язані зі стратегією експлуатації – як попередньої, так і перспективної. Якщо створити систему експлуатації мостів так, аби можна було автоматично відшукувати оптимальний сценарій, то, як свідчить зарубіжний досвід [11, 12, 13, 14, 15], дов-

говічність, надійність і залишковий ресурс споруди можна суттєво збільшити.

В розвинених країнах світу вже більш як 30 років застосовують сучасні інформаційні технології (ІТ) в плануванні ремонтних заходів з утримання і відновлення роботоспроможності елементів транспортних споруд. Частіш за все, це спеціальні програмні комплекси орієнтовані на аналіз та планування ремонтних робіт і інтегровані в систему управління транспортними спорудами.

Утримання моста в цілому є дорогим захід, витрати на експлуатацію різко зростають при запізненнях ремонтів [9]. Домінуюча ідея управління ремонтами полягає в тому:

А. Щоби в умовах обмеженого фінансування раціональним чином розподілити кошти на ремонти між спорудами дорожньої мережі.

Б. Планувати виконання ремонтних робіт в науково обгрунтовані строки.

В. Відповідати на запитання «Які втрати понесе система експлуатації перенесенням ремонту на більш пізні строки?».

Проблема, в першу чергу, економічна. Розвиток та інтеграція економіки України в світові і європейські структури, вимагає нових підходів у керуванні транспортними спорудами. Пошук оптимальних стратегій експлуатації, які б формувалися на основі сучасних методів математичного моделювання завжди буде підтримуватися державою, має стати основним важелем розвитку сучасної дорожньої мережі.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Науково обґрунтована методологія оцінки впливу ремонтних робіт на експлуатаційний стан споруди в цілому має стати інструментом підтримання роботоспроможності споруди, важливою складовою управління довговічністю і подовження її ресурсу.

Розробка стратегії ремонтів мостів являє собою складну наукову задачу, ефективне розв'язання якої потребує залучення сучасних новітніх методів ІТ, в першу чергу, швидкодіючих алгоритмів математичної оптимізації. Один з них – генетичний алгоритм моделі оптимізації стратегії ремонтів мостів і застосовується в представленій роботі.

Мета

Центральна мета дослідження полягає у науковому пошуку моделі оптимізації життєвого циклу елементів автодорожніх мостів на основі використання генетичного алгоритму спеціального виду (ГА), що дасть можливість керувати залишковим ресурсом транспортних споруд.

Ця мета досягається виконанням таких завдань:

- розробка моделі деградації елементів моста;
- розробка моделі вартості експлуатаційних заходів на мережевому рівні;
- оптимізація життєвого циклу елементів моста за методом ГА.

Модель деградації елементів моста

Модель деградації елементів моста необхідна для того, щоб зв'язати експлуатаційні витрати з залишковим ресурсом споруди. Прийнята в системі експлуатації автодорожніх мостів нелінійна крива деградації [10] в цій роботі апроксимується ламаною лінією з ділянками, які мають постійні річні швидкості деградації:

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

де $D(t)$ – ступінь деградації наприкінці року t ; $D(0)$ – ступінь деградації на початок планового періоду; μ – фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу; $R(A_j, Tr_j)$ – річна швидкість деградації в рік j ; A_j – вік моста в рік j – кількість років від спорудження або заміни

до року j ; Tr_j – коефіцієнт інтенсивності 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 .

Залежність між швидкістю деградації $R(A_j, Tr_j)$, віком моста A_j та коефіцієнтом інтенсивності руху по мосту Tr_j прийнята такою, як показано в табл. 1.

Таблиця 1

Приріст рівня річної деградації в залежності від віку моста

Tr_j	Вік моста, років				
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	> 40
< 1,0	0,000	0,020	0,025	0,030	0,035
1,0 – 1,1	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
1,0 – 1,2	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045
> 1,2	0,025	0,035	0,040	0,045	0,050

Мережева модель вартості життєвого циклу споруди

В рамках моделі розглядається дві постановки задачі вибору оптимального комплексу ремонтно-відновлювальних заходів на мережевому рівні:

- в стратегічній перспективі на плановий період;
- на поточний рік.

Цільова функція для першої задачі:

$$Z = C \times \left[1 + p_1 \times \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}(A_i)}{D_{\max}(A_i)} + p_2 \times \frac{C-B}{B} \right], \quad (2)$$

де $D_{\max}(A_i)$ – максимально допустимий рівень деградації в залежності від віку моста (табл. 1); 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 :

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(1+r)^t \prod_{i=1}^{t-1} I_p(i) \prod_{i=1}^{t-1} I_m(i) c_m(i,t) L(i) W(i) \right], \quad (3)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

де N – кількість мостів; T – період часу, на який планується експлуатація; r – дисконтний коефіцієнт, приймається за банківською відсотковою ставкою; I_p – індекс цін; I_{in} – індекс інфляції; $c_m(i, t)$ – одинична вартість експлуатаційного заходу m , що застосовується до моста i в рік t , $m = 1, 2, 3, 4$; $L(i)$ та $W(i)$ – довжина та ширина моста відповідно.

Обмеженнями в цій оптимізаційній задачі виступають:

– фіксоване значення бюджету ремонту та утримання мостів B , тобто умова обмежених фінансових ресурсів;

– максимально допустимий рівень деградації $D_{\max}(A_t)$, встановлений чинними нормами системи експлуатації автодорожніх мостів [10].

Цільова функція другої задачі має вид:

$$Z = C \times \left[1 + p_1 \times \sum_{i=1}^N \frac{D(t) D_{\max}(A_t)}{D_{\max}(A_t)} + p_2 \times \frac{CB}{B} \right], \quad (4)$$

де $D(t)$ – ступінь деградації i -го моста наприкінці поточного року. Інші позначення співпадають з наведеними в функції (2).

Приймаючи до уваги той факт, що обстеження моста могло виконуватись в час $t_0 < t$ ступінь деградації $D(t-1)$ обчислюється за формулою:

$$D(t-1) = D(0) + \sum_{j=1}^{t-1} \mu \times R(A_j, Tr_j), \quad (5)$$

де $D(t-1)$ – ступінь деградації на початок поточного року t . Інші позначення співпадають з наведеними в формулі (1).

Річна швидкість деградації визначається за алгоритмом обчислення залишкового ресурсу елементу моста, наведеною в ДСТУ-Н [10].

Повна вартість експлуатаційних заходів, що планується на поточний рік:

$$C = \sum_{i=1}^N [c_m(i) \times L(i) \times W(i)], \quad (6)$$

де N – кількість мостів; $c_m(i)$ – одинична вартість експлуатаційного заходу m , що застосо-

вується до моста i , $m = 1, 2, 3, 4$; $L(i)$ та $W(i)$ – довжина та ширина моста відповідно.

Також і в цьому випадку обмеженнями оптимізаційної задачі є: фіксоване значення бюджету ремонту та утримання мостів B та максимально допустимий рівень деградації $D_{\max}(A_t)$.

Алгоритм оптимізації

В процесі дослідження було з'ясовано, що класичні алгоритми оптимізації за методами лінійного і нелінійного програмування є неефективними при пошуку оптимальної стратегії виконання ремонтних робіт в АЕСУМ. Тому в цьому дослідженні ми звернулись до новітніх ІТ – генетичних алгоритмів (ГА) [1, 5, 6]. Застосування ГА в задачах оптимізації сьогодні вже добре апробовано в роботах зарубіжних дослідників [13, 14].

Ідея генетичних алгоритмів запозичена у живої природи і використовує в своїй основі теорію еволюції Дарвіна. Алгоритм полягає в організації еволюційного процесу, який реалізує механізми селекції і репродукції для пошуку оптимального розв'язку складної багатопараметричної задачі.

Сьогодні генетичні алгоритми довели свою конкурентоздатність для розв'язку багатьох задач, де математичні моделі мають складну структуру і застосування класичних методів лінійного або нелінійного програмування в автоматизованій системі утруднено, не завжди знаходиться абсолютний мінімум, потребується багато часу для розв'язку.

Математична сутність ГА полягає в процедурі випадкового формування кодованих у вигляді бітових стрічок рішень (в термінології ГА – «хромосом») та їх перебору («популяцій») в пошуках такої, що задовольняє умовам оптимізаційної задачі. Тобто алгоритм оперує з набором «популяцій» – розв'язків задачі. Найбільш пристосовані отримують шанс «схрещуватись» і давати «нащадків».

Перевірка задоволення умовам виконується за допомогою, так званої, *функції пристосованості*, яка формується з функції цілі та її обмежень (2, 4).

Широке розповсюдження ГА в задачах оптимізації обумовлено низкою переваг:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

– генетичні алгоритми не працюють безпосередньо з самими параметрами оптимізації, а тільки з множиною їх дискретних кодів у вигляді бітових стрічок кінцевої довжини;

– здійснюють пошук одночасно починаючи не з однієї точки а з певної множини, що належить оптимізаційній задачі. Це означає, що за ГА оцінюється одночасно значна кількість альтернатив;

– ГА використовують тільки цільову функцію, без її похідних;

– алгоритми ГА побудовані на ймовірнісних, а не детерміністичних правилах вибору альтернатив.

Стандартний генетичний алгоритм починає свою роботу з формування початкової популяції – кінцевого набору допустимих розв'язків задачі:

$$I_j = (x_1, x_2, \dots, x_m)_j, \quad (7)$$

Ці рішення можуть бути обрані випадковим чином. Вибір початкової популяції не має значення для збіжності процесу, проте формування «хорошої» початкової популяції (наприклад з безлічі локальних оптимумів) може помітно скоротити час досягнення глобального оптимуму [6].

На кожному кроці еволюції за допомогою імовірнісного оператора «селекції» вибираються два розв'язки, батьки i_1, i_2 . Оператор «схрещування» (кросовер) за рішеннями i_1, i_2 будувє нове рішення i' , яке потім піддається невеликим випадковим модифікаціям, які в термінології ГА прийнято називати «мутаціями». Далі розв'язок додається в популяцію, а рішення з найбільшим значенням цільової функції видаляється з популяції.

Принципова схема генетичного алгоритму наведена на рис. 1.



Рис. 1. Принципова схема генетичного алгоритму

Отже, процедура ГА є ітераційною, на кожному кроці якої отримується кодований розв'язок (популяція), що наближається до оптимального. Критерієм зупинки процесу є стабілізація значень розв'язку. В силу того, що операторами процедури є бітові стрічки, алгоритм має досить високу швидкість дії.

В рамках дослідження нами було розроблено спеціальний швидкодіючий ГА пристосований для роботи з базою даних АЕСУМ. Вперше для оптимізації стратегії ремонтів застосовано метод випадкового пошуку оптимального значення цільової функції, Розроблений генетичний алгоритм відрізняється від класичного тим, що в ньому враховуються особливості допустимої послідовності виконання різних робіт з ремонтів мостів, які залежать від ступеню деградації моста і вже призначених на попередніх кроках (в минулі роки) робіт.

Програмний модуль ГА ретельно досліджено і включено до складу АЕСУМ як новітній практичний інструмент системи управління ремонтами та утриманням мостів.

Використання розробленого алгоритму в рамках АЕСУМ показало його адекватність поставленим задачам та високу ефективність пошуку оптимального розв'язку. Пошук оптимального значення витрат виконується за короткий час, має стійку збіжність.

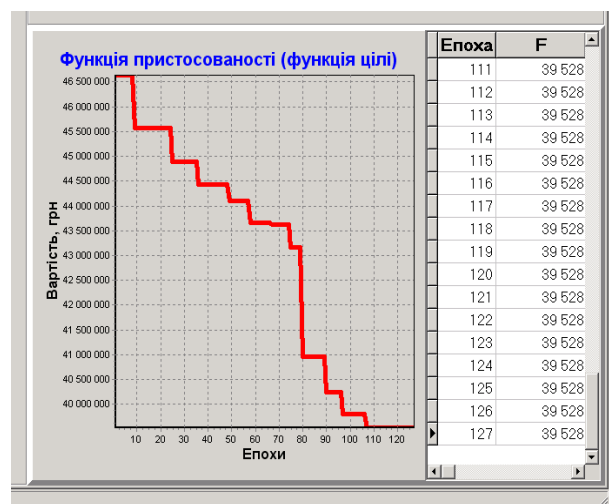


Рис. 2. Вікно оптимізації в АЕСУМ

На рис. 2 наведена графічна інтерпретація процесу пошуку оптимуму в програмному ком-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

плексі АЕСУМ. Можна бачити, як відбувається процес оптимізації і кількість циклів для досягнення стійкого значення.

Висновки

Цим дослідженням доведена ефективність застосування генетичних алгоритмів в моделях оптимізації життєвого циклу елементів автодорожніх мостів.

Розроблена процедура ГА є унікальною. Вона реалізує пошук глобального оптимуму в складній задачі системи експлуатації представленою моделлю деградації елементів моста в функції часу, моделлю вартості ремонтно-відновлювальних заходів.

Окремо слід підкреслити, що розроблена модель життєвого циклу елементів автодорожніх мостів і її програмна реалізація за методом ГА є мережевого рівня і оптимізує виконання ремонтних робіт в рамках певної дорожньої мережі, певного регіону.

Ця робота була виконана під керівництвом доктора технічних наук, професора Лантуха-Лященко А. І. та канд. техн. наук, професора Каніна А. П. Висловлюю їм мою щирю подяку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батищев, Д. И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации [Текст] / 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.
2. Боднар, Л. П. Модель обґрунтування стратегії ремонтів мостів [Текст] / Л. П. Боднар, О. П. Канін, Т. О. Халай // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. – Київ : НТУ, 2012. – Випуск 26. – С. 47-52.
3. Боднар, Л. П. Теоретичні засади управління довговічністю автодорожніх мостів [Текст] / Л. П. Боднар // Автошляховик України – Київ, 2014. – № 4. – С. 37-40.
4. Боднар, Л. П. Управління утриманням елементів залізобетонних мостів на основі моделей нечіткої логіки [Текст] / Л. П. Боднар // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 39-42.
5. Стариков, А. Генетические алгоритмы – математический аппарат / А. Стариков – Режим доступа: http://www.basegroup.ru/library/optimization/ga_math/
6. Генетические алгоритмы. Режим доступа: http://www.math.nsc.ru/AP/benchmarks/UFLP/uflp_ga.html
7. Дехтяр, А. С. Оптимальні терміни й об'єми ремонтів залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // 36. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Львів, 2001. – Вип. 3. – С. 83-86.
8. Дехтяр, А. С. Планування експлуатації залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // 36. Наукових праць V Наукового міжнародного симпозиуму «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій». – Львів, 2002. – № 5. – С. 162-168.
9. Дехтяр, А. С. Оптимальна експлуатація залізобетонних мостів [Текст] / А. С. Дехтяр // Системні методи керування, технології та організації виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. – 2001. – Вип. 12. – С. 385-392.
10. Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – Введено вперше; надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, – 49 с.
11. Hearn, G Condition Data and Bridge Management System // Structural engineering international. – 1998, v.3, N8. – pp. 216 – 221.
12. Lauridsen, J. Creating a bridge management system / J. Lauridsen, J. Bjerrun, N. H. Andersen, B. Lassen // Structural engineering international. – 1998, v.3, N8. – pp. 216-221.
13. Liu Chunlu., Hammad Amin, ItonYoshito. Cost optimization of Bridge Decks Using Genetic Algorithm. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://users.encs.concordia.ca/~hammad/papers/J11.pdf>
14. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcou, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005), pp. 129-142.
15. Vesikari, E. 2004. Statistical Condition Management and Financial Optimisation in Lifetime Management of Structures. Part 1: Markov Chain Based Life Cycle Cost (LCC) Analysis. Part 2: Reference Structure Models for Prediction of Degradation. LIFECON Deliverable D2.2 Режим доступа: <http://www.vtt.fi/rte/strat/projects/lifecon/>

Л. П. БОДНАРЬ*

* ГП «ГосдорНИИ», пр. Победы, 57, г. Киев, Украина, 03113, тел./факс +38 (044) 206 98 82, эл. почта laragor@ukr.net

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИЙ РЕМОНТОВ МОСТОВ

Цель. Научный поиск модели оптимизации жизненного цикла элементов автодорожных мостов. **Методика.** Теоретическое исследование. **Результаты.** Разработана генетическая модель оптимизации жизненного цикла. **Научная новизна.** Впервые предлагается новая генетическая модель оптимизации в управлении жизненным циклом моста. **Практическая значимость.** Модель реализовано в АЕСУМ для стратегического планирования эксплуатации железобетонных элементов автодорожных мостов.

Ключевые слова: оптимизация стратегии ремонтов мостов; генетический алгоритм; автодорожные мосты

L. BODNAR*

* State Enterprise «DerzhdorNDI», Pobeda ave., 57, Kiev, Ukraine, 03113, tel./fax +38 (044) 206 98 82, e-mail laragor@ukr.net

GENETIC ALGORITHMS IN OPTIMIZATION OF A STRATEGY BRIDGES REPAIR

Purpose. Scientific research of the model life cycle optimization of the road bridges. **Methodology.** Theoretical study. **Findings.** Developed genetic optimization model of the life cycle. **Originality.** For the first time proposes a new genetic model of optimization in the management of the life cycle of the bridge. **Practical value.** The model is implemented in AESUM for strategic planning operation of concrete elements of road bridges.

Keywords: optimization of strategic planning operation; genetic algorithm; road bridges

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. І. Лантухом-Ляценко (Україна), д.т.н., проф. О. С. Распоповим (Україна).

Надійшла до редколегії 28.08.2014.

Прийнята до друку 20.09.2014.