

Петрович В.В., канд. техн. наук, Соколов О.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЇ РЕМОНТУ ТА УТРИМАННЯ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

Анотація. Наведені теоретичні передумови побудови моделі оптимізації програми ремонту та утримання водопропускних труб на мережі автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, водпропускна труба, оптимізація, програма ремонту.

Аннотация. Приведены теоретические предпосылки построения модели оптимизации программы ремонта и содержания водопропускных труб на сети автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, водпропускная труба, оптимизация, программа ремонта.

Annotation. The theoretical background model construction optimization program of repair and maintenance of culverts on the road network.

Key words: road, culvert, optimization, repair program.

Визначення проблеми

Несвоєчасне при недостатньому фінансуванні виконання робіт з утримання і ремонтів водопропускних труб на автомобільних дорогах обумовлює втрату трубами проектних функціональних можливостей і деградації їх експлуатаційного стану. Незадовільний експлуатаційний стан труб спричиняє погіршення властивостей земляного полотна і дорожнього одягу. Якщо питання проектування водопропускних труб досить детально розглядаються в науковій і нормативній літературі, то планування їх експлуатації ще потребує розробки математичних моделей, які б враховували поточний стан труб і процес їх деградації, а також вплив тих чи інших робіт на приведення стану труб до нормативного значення.

Основна частина

Для оцінки експлуатаційного стану водопропускних труб необхідно використовувати класифікацію їх експлуатаційних станів, наведену в [1]. Поточний експлуатаційний стан труби в залежності від її пошкоджень може бути віднесений до: 1 - справного, 2 - обмежено справного, 3 - працездатного, 4 - обмежено працездатного і 5 - непрацездатного стану. Крім того, поточному експлуатаційному стану відповідає певне значення рейтингу, що визначається за 100-бальною безрозмірною шкалою. За допомогою цієї шкали можна побудувати таблицю 1 – ступеню деградації труби. Така класифікація створює основу для побудови моделі деградації труб.

Для формалізації методу розв'язання задачі оптимізації стратегії ремонтів труб потрібно класифікувати можливі ремонтні заходи за ступенем їх впливу на стан труб. Доцільно виділити чотири укрупнених видів ремонту та утримання труб (експлуатаційних заходів) згідно [2, 3, 4]: експлуатаційне утримання; поточний дрібний ремонт; поточний середній ремонт; капітальний ремонт.

За основу оптимізаційного алгоритму можна використати підхід, запропонований в роботі [5].

Таблиця 1 - Деградація експлуатаційного стану труби

Стан	Ступінь деградації (D)	Назва експлуатаційного стану
Стан 5	0.60 ~ 1.00	Непрацездатний
Стан 4	0.40 ~ 0.60	Обмежено працездатний
Стан 3	0.20 ~ 0.40	Працездатний
Стан 2	0.05 ~ 0.20	Обмежено справний
Стан 1	0.00 ~ 0.05	Справний

Модель деградації труби:

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

де $D(t)$ - ступінь деградації наприкінці року t ;

$D(0)$ - ступінь деградації на початок планового періоду. Для рівнів деградації 1 – 5 значення $D(0)$ приймається по середині інтервалу рівня деградації;

μ - фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу (1.0 для залізобетону, 1.1 для металу);

$R(A_j, Tr_j)$ - річна швидкість деградації в рік j ;

A_j - вік труби в рік j - кількість років від спорудження або заміни до року j ;

Tr_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 .

Для визначення швидкості річної деградації труби $R(A_j, Tr_j)$ можна скористатись моделями, розробленими проф. А.І. Лантух-Лященко для елементів мостів [6,7,8,9].

Перехід елемента з одного експлуатаційного стану в інший описується як процес Пуассона з дискретними станами і безперервним часом. Це окремий випадок марковського випадкового процесу, що дає можливість описати модель деградації елемента нелінійним рівнянням - експоненціальною функцією часу t :

$$P_t = 1 - p_t(t, \lambda), \quad (2)$$

де $p_t(t, \lambda)$ – щільність розподілення процесу Пуассона – експоненціальна функція, яка залежить від параметра $a = t \lambda$. При $k = 5$ (кількість експлуатаційних станів) рівняння (1) записується у вигляді:

$$P_t = 1 - 0,0083 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

де P_i – надійність елемента в i -му експлуатаційному стані;

λ - параметр, інтенсивність відмов;

e – постійна, $e = 2,718$;

t – час.

З практичних міркувань, наступного моделювання криву P_t для кожного значення λ доцільно апроксимувати ламаною лінією і побудувати таблицю 2 (дані умовні).

Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації може бути прийнятий, як наведено в таблиці 3 [5].

Таблиця 2 - Приріст рівня річної деградації в залежності від віку труби

Коефіцієнт інтенсивності руху	Вік труби, років				
	0 – T ₁	T ₁ - T ₂	T ₂ - T ₃	T ₃ - T ₄	> T ₄
< 1.0	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅
1.0 – 1.1	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₂₄	R ₂₅
1.0 - 1.2	R ₃₁	R ₃₂	R ₃₃	R ₃₄	R ₃₅
> 1.2	R ₄₁	R ₄₂	R ₄₃	R ₄₄	R ₄₅

Таблиця 3 - Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації

Ремонтні заходи	Ступінь деградації	Вплив
Експлуатаційне утримання	0.00~0.80	0.01
Поточний дрібний ремонт	0.05~0.80	0.05
Поточний середній ремонт	0.40~1.00	0.40
Капітальний ремонт	0.60~1.00	0.90

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

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(1+r)^{-t} \times \prod_{t=1}^{t=T} I_p(t) \times \prod_{t=1}^{t=T} I_{iii}(t) \times c_m(i,t) \times L(i) \times k(i) \right], \quad (4)$$

де N – кількість труб;

T – період часу, на який планується експлуатація;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який доцільно приймати за банківською відсотковою ставкою, наприклад 0.16;

I_p – індекс цін;

I_{in} – індекс інфляції;

$c_m(i, t)$ – одинична вартість експлуатаційного заходу m , що застосовується до труби i в рік t , $m = 1, 2, 3, 4$;

$L(i)$ – довжина труби;

$k(i)$ – коефіцієнт, який враховує розмір отвору труби.

Оптимізацію вартості ремонтних заходів на період часу T років можна здійснити за методом штрафів. Функція цілі:

$$Z = C \cdot \left[1 + p_1 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{max}(A_t)}{D_{max}(A_t)} + p_2 \cdot \frac{C - B}{B} \right], \quad (5)$$

де $D_{max}(A_t)$ - максимально допустимий рівень деградації в залежності від віку труби. Ці значення формують таблицю 4;

B – бюджет ремонту та утримання труб;

p_1, p_2 – коефіцієнт значимості ступеню деградації та виконання бюджету.

Таблиця 4 – Максимально допустимий ступінь деградації $D_{\max}(A_t)$

D_{\max} для стану	Вік труби A_j , років				
	$0 - T_1$	$T_1 - T_2$	$T_2 - T_3$	$T_3 - T_4$	$> T_4$
1	$D_{\max11}$	$D_{\max12}$	$D_{\max13}$	$D_{\max14}$	$D_{\max15}$
2	$D_{\max21}$	$D_{\max22}$	$D_{\max23}$	$D_{\max24}$	$D_{\max25}$
3	$D_{\max31}$	$D_{\max32}$	$D_{\max33}$	$D_{\max34}$	$D_{\max35}$
4	$D_{\max41}$	$D_{\max42}$	$D_{\max43}$	$D_{\max44}$	$D_{\max45}$
5	$D_{\max51}$	$D_{\max52}$	$D_{\max53}$	$D_{\max54}$	$D_{\max55}$

Прийнята цільова функція – це сума вартості ремонту та утримання труб і вартості штрафних санкцій. В свою чергу, $D_{\max}(A_t)$ і B – обмеження моделі оптимізації. Таким чином, $1 + p_1 \times \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}(A_t)}{D_{\max}(A_t)} + p_2 \times \frac{C - B}{B}$ - це штрафна функція. Значення штрафної функції дорівнює нулю, коли обмеження виконуються.

Додаткові обмеження в моделі полягають в тому, що: а) капітальний ремонт елементів моста не допускається, якщо він знаходиться в першому або другому експлуатаційному стані; б) поточний середній ремонт не допускається для першого експлуатаційного стану.

Оптимізація поставленої задачі може бути здійснена з застосуванням генетичного алгоритму [10]. Ідея генетичних алгоритмів 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. Він отримав назву «репродуктивний план Холланда» і ліг в основу практично всіх варіантів генетичних алгоритмів. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою конкурентоздатність при вирішенні багатьох складних комбінаторних задач і особливо в практичному використанні, де математичні моделі мають складну структуру і застосування стандартних методів типу гілок і границь, динамічного або лінійного програмування вкрай утруднено.

Висновки

Оптимізація програми ремонтів водопропускних труб повинна здійснюватись на основі моделі прогнозування їх майбутнього експлуатаційного стану, який залежить, з одного боку, від процесу деградації труб, а, з іншого боку, від процесу відновлення стану шляхом виконання ремонтів та утримання труб.

Розробка моделі деградації потребує подальших досліджень з використанням даних обстежень труб, які повинні накопичуватись в базі даних, подібної до баз даних СУСП та АЕСУМ.

На основі накопичених даних повинні бути також обґрунтовані усереднені показники вартості робіт з ремонтів та утримання труб.

В якості методу оптимізації доцільно використати генетичні алгоритми.

Література

2. Труби дорожні. Обстеження та оцінювання технічного стану: ДСТУ Б В.2.3-24:2009. – К.: Мінрегіонбуд України. - 2010. – 30 с.
1. Класифікація робіт з ремонтів автомобільних доріг загального користування: ВБН Г.1-218-182:2006. – Київ, 2006.
2. Класифікація робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування: ВБН Г.1-218-530:2006. – Київ, 2006.
3. Методика визначення обсягу фінансування будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг. 2012. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z1734-12/conv/print1352576796120202>
4. 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>
5. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип.57. – 1999 – С.183 – 188.
6. Лантух-Лященко А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації / А.І. Лантух-Лященко // Вісник Транспортної Академії України. – Київ, 1999. – № 3. – С. 59 – 63.
7. Лантух-Лященко А.І. Визначення часу переходу елементів споруди із одного дискретного стану в інший / А.І. Лантух-Лященко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів, Вип.12. – К., 2001 – С. 397 – 402.
8. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів: ДСТУ-Н Б.В.2.3 – 23: 2009. - К.: Мінрегіонбуд України. - 2009. – 62 с.
9. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Под ред. Тарасевича Ю.Ю. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.