

Шпиг А.Ю., канд. техн. наук

ВПЛИВ ГРАНИЧНОГО РІВНЯ ВТРУЧАННЯ У ВІДНОВЛЕННІ СТАНУ ЕЛЕМЕНТУ ДОРОГИ НА ВАРТІСТЬ РЕМОНТІВ

Анотація. У даній роботі розглянуто моделі деградації елементів автомобільних доріг за експлуатаційним станом та метод оптимізації вартості заходів з ремонту та утримання. Запропоновано та досліджено використання показника рівня втручання для визначення мінімальної вартості ремонтів за допомогою розробленої комп'ютерної програми.

Ключові слова: стан автомобільних доріг, елементи автомобільних доріг, деградація, рівень втручання, стратегія ремонтів.

Annotation. The model's of degradation roads elements using operational condition and method of cost optimization measures in repair and maintenance are reviewed in this paper. Proposed and investigated using the intervention level index to determine the minimum cost of repairs using the developed computer program.

Keywords: state roads, highways elements, degradation, intervention level, strategy repairs.

Аннотация. В данной работе рассмотрены модели деградации элементов автомобильных дорог по эксплуатационному состоянию и метод оптимизации стоимости мероприятий по ремонту и содержанию. Предложены и исследованы использование показателя уровня вмешательства для определения минимальной стоимости ремонтов с помощью разработанной компьютерной программы.

Ключевые слова: состояние автомобильных дорог, элементы автомобильных дорог, деградация, уровень вмешательства, стратегия ремонтов.

Постановка проблеми

Стан автомобільних доріг значною мірою впливає на соціально-економічний розвиток України. Недостатня експлуатаційна якість доріг, яка обумовлена неперервними процесами деградації їх елементів під впливом

транспортних навантажень, зовнішнього середовища та внутрішніх властивостей, призводить до зниження експлуатаційних швидкостей транспортних засобів та збільшення частки транспортної складової у собівартості продукції, негативно впливає на безпеку та комфортність руху. Відновлення експлуатаційних якостей елементів автомобільних доріг шляхом виконання робіт з ремонтів та утримання протидіє процесам деградації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Надійність елементів споруди з часом зменшується під впливом накопичення дефектів. Вирішення цієї проблеми полягає в побудові моделі прогнозування ступеню деградації стану елемента в залежності від часу. Вирішенню цієї задачі в Україні присвячені роботи А.І. Лантух-Ляценка [1, 2, 3], за кордоном Liu Chunlu [4] та інших.

Постановка завдання.

Важливою проблемою в експлуатації автомобільних доріг є оцінка стану елементів автомобільних доріг та їх утримання. В умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі ця проблема є досить актуальною. Для вирішення цієї задачі необхідно дослідити вплив рівня втручання у відновленні стану елемента дороги на вартість ремонтів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Роботи з утримання доріг пов'язані з оглядом складових частин і ділянок дороги та усуненням несправностей, що виникли. Ремонт і утримання автомобільних доріг – це регулярне періодичне обслуговування. Залежно від виду робіт з утримання доріг часовий проміжок (час відгуку) між їх виконаннями може становити від декількох днів до декількох років. Найбільш частими плановими роботами по утриманню автомобільних доріг є обслуговування узбіч, дорожніх водовідводів і елементів облаштування автодороги, а саме: очищення узбіч і водовідводів від сміття і рослинності, стеження за технічним станом елементів облаштування дороги. Обслуговування елементів облаштування доріг є важливою складовою в утриманні автомобільних доріг, і повинно виконуватися регулярно для підтримки безпеки на дорогах.

Деградація елементів доріг спричиняється зовнішніми і внутрішніми факторами, наприклад, навантаженнями від транспортних засобів, погодними і ґрунтово-гідрологічними умовами, природними катастрофами (землетрус, повінь), техногенним і антропогенним впливами, старінням матеріалів тощо.

Процес деградації за своєю природою – стохастичний і в багатьох випадках – невизначений.

Проявом деградації елементів доріг є їх пошкодження (дефекти) – руйнування і деформації, а також втрата функціональних властивостей.

Пошкодження елементів доріг можна розділити на два типи [5]:

1) раптове пошкодження, яке виникає без накопичення під дією зовнішньої причини (пошкодження бар'єру безпеки в результаті наїзду транспортного засобу, розмив земляного полотна і дорожнього одягу в результаті повені тощо);

2) кумулятивне пошкодження – поступове незворотне накопичення пошкодження на протязі часу «життя» (існування) елементу, яке безумовно веде до відмови або списання елементу (процес втомлювання матеріалу шару дорожнього одягу під впливом циклічних транспортних навантажень).

Заміна елементу визначається допустимим рівнем пошкодження, тобто рівнем втручання, який встановлюється з міркувань безпеки і економіки.

Для обґрунтування рівня втручання потрібна розробка моделі деградації елементу дороги.

В даному випадку скористаємося поняттям експлуатаційного стану елементу дороги [6, 7], його класифікації і безрозмірній шкалі рейтингу стану згідно документу [8] (табл. 1). Прийнято, що елементи дороги протягом життєвого циклу перебувають послідовно в одному з п'яти експлуатаційних станів. Рейтинг стану елементу дороги формується як комплексна безрозмірна характеристика за 100-бальною шкалою, яка відображує спільний вплив на стан різних типів пошкоджень.

Таблиця 1 – Класифікація експлуатаційних станів елементів доріг

Експлуатаційний стан	Назва стану	Границі рейтингу стану елементу, балів
Стан 1	Відмінний	понад 80 до 100 включно
Стан 2	Добрий	понад 60 до 80 включно
Стан 3	Задовільний	понад 40 до 60 включно
Стан 4	Поганий	понад 20 до 40 включно
Стан 5	Аварійний	понад 0 до 20 включно

Кожен тип пошкодження характеризується двома параметрами:

- рівнем серйозності;

- рівнем розповсюдження.

Стан елемента визначається через рейтинг в залежності від сумісного впливу кожного пошкодження елемента. Для визначення стану елемента в цілому по всім зафіксованим пошкодженням розраховується його рейтинг:

$$R_i^e = f_{n_i} \left(\sum_{j=1}^{j=n_i} [100 - r_{ij}] \right), j = 1 \dots n_i, \quad (1)$$

де R_i^e – середньозважений рейтинг стану i -го елемента;

f_{n_i} – функція обчислення рейтингу, яка враховує сумісний вплив на стан елемента декількох пошкоджень. Для всіх видів елементів застосовуються однакові функції f_{n_i} [9].

Стан елемента визначається в залежності від обчисленого рейтингу:

$$C_i^e = j, b_j^{\min} < R_i^e \leq b_j^{\max}, \quad (2)$$

де C_i^e – стан i -го елемента j -го пошкодження;

j – номер стану;

b_j^{\min} – нижня границя рейтингу j -го стану;

R_i^e – рейтинг елемента;

b_j^{\max} – верхня границя рейтингу j -го стану.

Важлива проблема полягає в побудові моделі прогнозування ступеню деградації стану елемента в залежності від часу. Для розв'язання цієї проблеми можна скористатися з пропозиціями, запропонованими в роботах [1, 2, 3]. В цих роботах моделлю деградації встановлюється зв'язок між надійністю і часом експлуатації елемента. Перехід з одного експлуатаційного стану в іншого описується як процес Пуассона з дискретними станами і безперервним часом. Це окремий випадок марковського процесу, що дає можливість описати модель деградації елемента нелінійним рівнянням – експоненціальної функцією часу t .

Інтегральна функція розподілу $P(t)$ для часу T_n , який пройде, поки відбудуться всі n подій процесу (переходів від першого стану до останнього), має вигляд:

$$P(t) = 1 - P(T_n > t) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, \quad (3)$$

де λ – параметр процесу – інтенсивність відмов.

Параметр інтенсивності відмов λ визначається спостереженням експлуатаційним станом і віком елементу. Такий підхід застосовується в АЕСУМ.

В термінах експлуатаційних станів (табл. 1), $P(t)$ – імовірність того, що елемент перейде в стан k за час $t < T_k$.

Згідно з (3) модель деградації елемента описується нелінійним рівнянням:

$$P_t = 1 - p_t(t, \lambda), \quad (4)$$

де $p_t(t, \lambda)$ – щільність розподілу процесу Пуассона – експоненціальна функція що залежить від параметра λt . При $k = 5$ рівняння (4) записується у виді:

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

У практичному методі прогнозу ресурсу, параметр інтенсивності відмов λ повинен бути отриманий окремо для кожного елемента, спираючись на реальний експлуатаційний стан, визначений на момент складання прогнозу, і вік елемента. В [10] цей метод використано для розробки алгоритму оптимізації експлуатації елементів доріг.

Виконання різних видів ремонтних робіт призводить до різних значень величини підвищення рейтингу і до переходу до кращого стану елементу дороги. Визначення величини підвищення рейтингу здійснюється через застосування моделі впливу ремонтів, яка звичайно задається таблицею з трьома входами: вид ремонту, інтервал рейтингу стану, вплив даного виду ремонту на підвищення рейтингу елементу дороги [4].

В якості моделі деградації елементів за експлуатаційним станом прийнято рівняння, в якому початковий ступінь деградації збільшується зі швидкістю, залежною від віку елемента, і зменшується від впливу ремонтних заходів [4]:

$$D(t) = D(0) + \sum_{j=1}^t \mu \cdot R(A_j, Tr_j) - \sum_{j=1}^t I_m(j), \quad (6)$$

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 [4]);

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

A_j – вік елемента 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 ремонтного заходу m на рівень деградації в рік j .

Таким чином, ступінь деградації елемента залежить від експлуатаційного заходу m .

Для оптимізації стратегії ремонтів на підґрунті моделі деградації за експлуатаційними станами розроблено математичну модель за методом штрафів.

Оптимізація вартості заходів з ремонту та утримання на стратегічний період часу T та кількості елементів даного типу N виконується за методом штрафів. Відповідно, цільова функція [4, 11]:

$$Z = C \cdot \left[1 + p_1 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} + p_2 \cdot \frac{C - B}{B} \right], \quad (7)$$

де C – повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T ;

D_{\max} – максимально допустимий рівень деградації;

B – бюджет ремонту та утримання елементів даного виду;

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

Якщо $D(i,t) \leq D_{\max}$, то $\frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} = 0$, тобто премія за досягнення кращого

стану не нараховується. Таке ж стосується і $\frac{C - B}{B}$.

Максимально допустимий рівень деградації D_{\max} задається виходячи з економічного обґрунтування, проте він не може бути гіршим ніж гранично допустимий з вимог безпеки руху і збереження елемента.

Повинна виконуватись умова:

$$D_{\max} \leq D_{гд}, \quad (8)$$

де $D_{гд}$ – гранично допустимий ступінь деградації.

Повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T :

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [(1+r)^{-t} c_m(i,t) \cdot V(i)], \quad (9)$$

де N – кількість подібних елементів в проекті або програмі експлуатації доріг;

T – період часу, на який планується дія проекту або програми;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який враховує інфляційні процеси: $r = (1+d)(1+i_{in}) - 1$, d – ставка дисконту, i_{in} – темп інфляції;

$c_m(i,t)$ – одинична вартість заходу m на одиницю об'єму елемента, що застосовується до елемента i в рік t , $m = 1, 2, 3, 4$;

$V(i)$ – об'єм елемента.

Запропоновану модель можна застосовувати для всіх елементів доріг, які мають кумулятивне пошкодження [5].

Для дослідження впливу мінімального рівня втручання відновлення стану елемента дороги на вартість ремонтів було розроблено комп'ютерну програму. Інформаційною базою дослідження слугували дані спостережень АЕСУМ.

Задача дослідження полягала у з'ясуванні впливу рівня втручання на вартість ремонтів (рис. 1). Максимально допустимий рівень деградації D_{\max} задавався в діапазоні 0,3 – 0,7. В якості алгоритму оптимізації застосовується генетичний алгоритм, який не потребує обчислення градієнтів цільової функції і є ефективним засобом дискретної оптимізації [10].

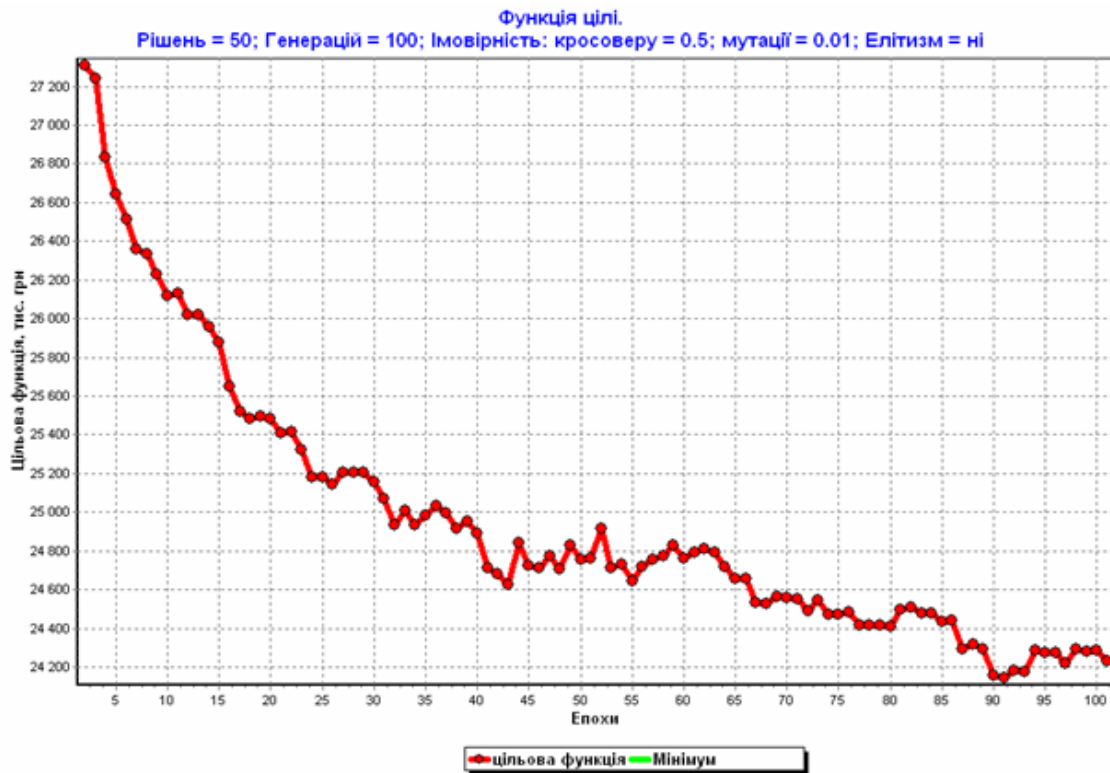


Рисунок 1 – Графік пошуку мінімального значення функції цілі

У результаті проведених досліджень встановлено, що із збільшенням значення рівня втручання вартість ремонту зменшується (рис. 2).

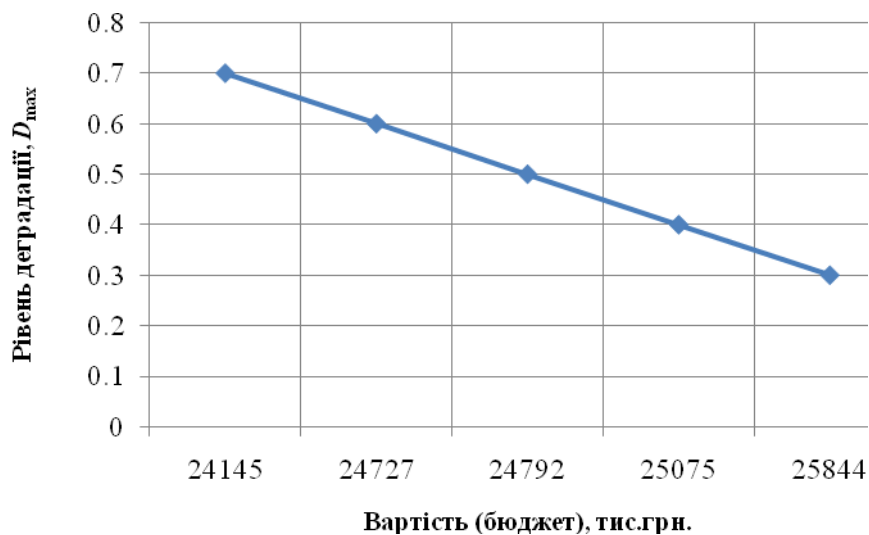


Рисунок 2 – Залежність вартості ремонтів від рівня деградації D_{max}

Висновки

Гранично допустимий рівень втручання впливає на перебування елемента автомобільної дороги в межах певного рівня обслуговування. Оптимізація та визначення рівня втручання являє собою складну техніко-економічну проблему, для розв'язання якої запропоновано модель та комп'ютерну програму на основі імітаційної моделі. За допомогою цієї програми можливо дослідити вплив мінімального рівня втручання відновлення стану елементу дороги на вартість ремонтів.

Література

1. Лантух-Лященко А.І. Визначення часу переходу елементів споруди із одного дискретного стану в інший [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – 2001. – Вип. 12. – С. 397-402.
2. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами [Текст] / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999. – Вип. 57. – С. 183-188.
3. Лантух-Лященко А.И. Феноменологическая модель деградации элементов сооружений [Текст] / А.И. Лантух-Лященко // Труды международной научно-технической конференции «Вычислительная механика деформируемого твердого тела», М.: МИИТ – 2006. – С. 259-265.
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. Богдановф Дж. Вероятностные модели накопления повреждений [Текст] / Дж. Богдановф, Ф. Козин; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1989. – 344 с.
6. П-Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонтів та утримання автомобільних доріг загального користування України. – К.: Укравтодор, 2009. – 88 с.
7. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – К.: Держстандарт України, 1997. – 24 с.
8. ІН В.3.1-218-336:2010. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів: – К.: Укравтодор, 2010. – 48 с.
9. Харченко А.М. Удосконалення методів проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22 / Харченко Анна Миколаївна; Національний транспортний університет – К., 2010. – 183 с.
10. Шпиг А.Ю. Методи планування ремонтів автомобільних доріг за критерієм рівня обслуговування [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / Шпиг Альона Юріївна; Національний транспортний університет – К., 2015. – 170 с.
11. Канін О.П., Халай Т.О., Боднар Л.П. Генетичний алгоритм оптимізації довгострокових стратегій ремонтів мостів / О.П. Канін, Т.О. Халай, Л.П. Боднар // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2013. – Вип. 88. – С. 180-188.

Рецензенти

Братчун В.І., д-р техн. наук, ДонНАБА (Краматорськ)
Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП “Укрдипроддор” (Київ)

Reviewers

Bratchun V.I., Dr.Tech.Sci., DonNACEA (Kramatorsk)
Honcharenko F.P., Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)