

Ігнатюк В.В., Канін О.П., канд. техн. наук

## ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ ДОРОЖНЬО-РЕМОНТНИХ РОБІТ

**Анотація.** Розглянути загальні підходи до розробки моделі оптимізації програми приведення дорожнього одягу до потрібного стану за задану кількість років на основі даних Системи управління станом покриття Укравтодору. Запропонований перспективний тип алгоритму оптимізації вид моделі.

**Ключові слова:** стан доріг, дорожній одяг, програма ремонтів, задача оптимізації.

**Аннотация.** Рассмотрены общие подходы к разработке модели оптимизации программы приведения дорожной одежды до нужного состояния за заданное количество лет на основе данных Системы управления состоянием покрытия Укравтодора. Предложены перспективный тип алгоритма оптимизации и вид модели.

**Ключевые слова:** состояние дорог, дорожная одежда, программа ремонтів, задача оптимизации.

**Annotation.** Consider the general approaches to model development of the program to bring pavement to the desired state for a specified number of years based on the pavement Management System of the Ukrautodor. Proposed type of algorithm optimization and type of model.

**Keywords:** condition of roads, pavement, repair program, the optimization problem.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан мережі автомобільних доріг України не задовольняє нормативним вимогам, що призводить до зростання вартості перевезень та зниження безпеки і комфортності дорожнього руху. В умовах обмеженого фінансування приведення стану мережі доріг до прийняттого рівня можна виконати лише за кілька років. Обґрунтування такої програми

дорожньо-ремонтних робіт являє собою складну задачу, яка потребує розробки відповідної їй природі математичної моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Програма робіт з ремонту доріг найчастіше розглядається як програма робіт з ремонту дорожнього одягу.

Систематичний оптимізаційний підхід в управлінні дорожнім одягом розвивається на протязі останніх кількох десятиріч у зв'язку з розробкою систем управління дорожнім одягом (Pavement Management System – PMS). Фундаментом для цих підходів є використання методів математичного програмування, які дозволяють, при виконанні певних умов, знайти найкраще (оптимальне) рішення.

В Україні для оптимізації програм ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації дорожньо-транспортних затрат використовується подібна PMS Система управління станом покриття (СУСП), теоретичні основи якої було розроблено в роботах Кизими С.С., виконаних з 1970-х років до останнього часу, [9]. Оптимізація програм ремонтів в СУСП здійснюється за критерієм мінімізації дорожньо-транспортних витрат на основі евристичного алгоритму. Алгоритм ґрунтується на пріоритетах ділянок доріг: в першу чергу, в програму ремонтів вибираються такі ділянки доріг, які мають найвищий коефіцієнт ефективності капітального ремонту, рівний відношенню різниці сумарних приведених середньорічних дорожньо-транспортних витрат так званої нульової стратегії (без подальших поточних відновлювальних ремонтів) і таких же витрат при різних можливих стратегіях подальших поточних ремонтів до витрат на ремонтні роботи.

Для оптимізації стратегій дорожньо-ремонтних робіт в системах управління дорожнім одягом при одному критерії прийняття рішень використовуються три загальних математичних методи: лінійне програмування (ЛП), цілочисельне програмування (ЦП) і динамічне програмування (ДП).

Golabi та ін. (1982) розробили PMS для штату Арізона і розраховували оптимальну стратегію обслуговування для кожної милі 7400 миль мережі автомобільних доріг. Оптимізація системи поєднувала марківську модель прогнозування стану дорожнього одягу і модель ЛП та використовувала в якості цільової функції вартості, залежну від стратегії дорожньо-ремонтних робіт. Метод був згодом розширений і використовувався як інструмент аналізу Wang та ін. (1993,1994,1995) і Liu (1996), Brad Mytton та David Meaclem [1,2,3].

В Україні були запропоновані моделі ЛП для оптимізації програми робіт - Демішканом В.Ф. (2000) – за критерієм мінімізації дорожньо-транспортних витрат при обмеженому фінансуванні [4], Харченко А.М. (2010) – за критерієм максимізації експлуатаційного стану мережі доріг, що забезпечується виконанням обмежень на всі види ресурсів [5].

Chen та ін. (1992) застосували модель ЦП з булевими змінними в Департаменті транспорту штату Оклахома для стратегічного планування відновлення дорожнього одягу. В моделі накладаються обмеження з мінімального рівня обслуговування дорожнього одягу, наявного бюджету і ресурсів постачальників [6].

У 1987 році почали поєднуватись моделі прогнозування стану дорожнього одягу на основі ланцюга Маркова і моделі ДП. Feighan та ін. (1988) показали, як використовувати ДП для оптимізації при використанні моделі Маркова. Інше формулювання ДП було назване Chua та ін. (1993) Моделлю Динамічних Рішень. Вони пішли далі в тому, що перекриття дорожнього одягу відстежуються структурою вектора, який обумовлює посилення на різні матриці перехідних ймовірностей залежно від існуючої структури дорожнього одягу [7].

Використання марківської моделі деградації дорожнього одягу означає застосування імовірнісного підходу до моделювання.

Крім цих моделей для багатокритеріальної оптимізації програм ремонтів були запропоновані: цільове програмування, метод зважених сум, нечіткі множини, генетичні алгоритми, генетичні алгоритми + компромісне програмування, генетичні алгоритми +  $\epsilon$ -обмеження [8].

В середині 2000-х років перед розробниками СУСП Укравтодором була поставлена задача розрахунку вартості капітального і поточного ремонтів, виконання яких на протязі п'яти років дозволить ліквідувати так звані «недоремонти», що накопичились із-за недостатнього фінансування дорожньої галузі. Для вирішення цієї задачі в програмний комплекс СУСП був добавлений модуль, який на основі усереднення фактичних коефіцієнтів запасу міцності, коефіцієнту приросту інтенсивності руху, деяких інших параметрів розраховує необхідні витрати на капітальний і поточний ремонт.

**Постановка завдання.** Сформулювати постановку задачі оптимізації програми дорожньо-ремонтних робіт як сукупності проектів з капітального та

поточного ремонтів дорожніх одягів для досягнення заданого стану дорожнього одягу на мережі доріг регіону за задану кількість років.

**Виклад основного матеріалу.** Потреби в ремонтах визначаються в СУСП на основі вихідних даних інструментальних обстежень доріг (міцності, рівності та зчеплення), даних інтенсивності та складу руху, коефіцієнту приросту інтенсивності руху, фактичних і допустимих значень: коефіцієнтів запасу міцності, показника рівності покриття, коефіцієнту зчеплення, інших необхідних для розрахунку параметрів. Для ділянок доріг, які потребують капітального ремонту в рік спостереження, визначається коефіцієнт ефективності капітального ремонту. Таким чином розраховується потенційна потреби в ремонтах:

$$Рк_1^n = Рк_1 \cup Рк_2 \cup \dots \cup Рк_n, \quad (1)$$

$$Рп_1^n = Рп_1 \cup Рп_2 \cup \dots \cup Рп_n, \quad (2)$$

де  $Рк_1^n$  - множина потенційних проектів капітального ремонту;

$Рп_1^n$  - множина потенційних проектів поточного ремонту;

$Рк_t$  - множина потенційних проектів капітального ремонту в  $t$ -й рік;

$Рп_t$  - множина потенційних проектів поточного ремонту в  $t$ -й рік;

$t = \overline{1, n}$ .

$\cup$  - операція об'єднання множин.

Програма дорожньо-ремонтних робіт на певній мережі доріг являє собою множину проектів ремонту ділянок доріг за  $n$  років, яка створюється включенням в програму потенційних ділянок (1,2):

$$Пк_1^n = К_1^+ \cup К_2^+ \cup \dots \cup К_n^+, \quad (3)$$

$$Пп_1^n = П_1^+ \cup П_2^+ \cup \dots \cup П_n^+, \quad (4)$$

де  $Пк_1^n$  - множина проектів капітального ремонту, включених в програму;

$Пп_1^n$  - множина проектів поточного ремонту, включених в програму;

$К_t^+$  - множина проектів капітального ремонту в  $t$ -й рік;

$П_t^+$  - множина проектів поточного ремонту в  $t$ -й рік.

Отже, повинна виконуватись умова:

$$PK_1^n \leq PK_1^n, \quad (5)$$

$$PP_1^n \leq PP_1^n. \quad (6)$$

Вартість здійснення кожного проекту включає витрати на роботи з проекту, які залежать від конструктивних параметрів ремонту, плюс транспортні витрати від обмежень руху в зоні дорожньо-ремонтних робіт (не враховуються в моделях СУСП) і майбутні витрати на заплановані за вибраною стратегією поточні ремонти. Ці витрати приводяться до року початку виконання програми П шляхом дисконтування. Ставка дисконту може включати в себе поправку на інфляцію та на ризик. Отже, в якості критерію оптимальності можна прийняти приведені дорожньо-транспортні витрати  $C_1^n$ :

$$C_1^n = \sum_{t=1}^{t=n} [\sum_{i=1}^{i=k_t} C_{ti}^k + \sum_{i=1}^{i=m_t} C_{ti}^n], \quad (7)$$

де  $C_{ti}^k$  – приведена вартість  $i$ -го проекту капітального ремонту, включеного в програму в  $t$ -му році,  $i = \overline{1, k_t}$ ;

$C_{ti}^n$  – приведена вартість  $i$ -го проекту поточного ремонту, включеного в програму в  $t$ -му році,  $i = \overline{1, m_t}$ .

Середньозважений стан  $S_t$  дорожнього одягу мережі доріг в рік  $t$  може характеризуватися парою:

$$S_t = (w_t^k, w_t^n), \quad (8)$$

де  $w_t^k$  – частка довжини доріг, яка потребує капітального ремонту в рік  $t$ ;

$w_t^n$  – частка довжини доріг, яка потребує поточного ремонту в рік  $t$ .

Ці величини можуть бути обмеженнями в задачі приведення стану дорожнього одягу мережі доріг до заданого рівня стану.

$$w_n^k \leq w_3^k, \quad (9)$$

$$w_n^n \leq w_3^n, \quad (10)$$

де  $w_3^k$  – максимально допустима (задана) частка довжини доріг, яка потребує капітального ремонту в рік  $n$ ;

$w_3^n$  – максимально допустима (задана) частка довжини доріг, яка потребує поточного ремонту в рік  $n$ .

Задача (7 – 10) приведена на рівні ідеї. Модель для практичного використання повинна враховувати пріоритети ділянок доріг, пов'язані з їх категоріями та іншими параметрами.

Для пошуку оптимального рішення задачі можна застосувати генетичний алгоритм [11].

Слід відмітити, що по відношенню до прогнозування стану дорожнього одягу основною концепцією моделей СУСП є філософія детермінізму. Моделі деградації дорожнього одягу (за міцністю, рівністю та зчепленням) відносяться до механістично – емпіричних, які широко застосовуються в світовій практиці [12].

На нашу думку, більш адекватними для прогнозування стану дорожнього одягу були б імовірнісні моделі, тобто доцільно використовувати в якості концепції моделювання філософію індетермінізму. Моделі вірогідності – це спроба врахувати стохастичні особливості процесу деградації дорожнього одягу. Більшість із запропонованих моделей вірогідності засновані на моделюванні процесів на основі ланцюга Маркова - спеціального стохастичного процесу дискретного типу, де стан системи (наприклад стан дорожнього одягу)  $X_t$  в  $t + 1$  часі залежить від стану системи  $X_t$  в якомусь попередньому  $t$  часі, але не залежить від того, як стан системи  $X_t$  був отриманий [12].

Більш того, процес здійснення проектів програми – динамічний, стохастичний і невизначений по самій своїй природі, тобто ризикований. Наприклад, перспективна інтенсивність та склад руху залежать від багатьох факторів ризику – розвитку економіки, рівня автомобілізації та інших важко прогнозованих параметрів. Дані спостережень інтенсивності дорожнього руху за допомогою автоматичних датчиків показали, що коефіцієнт приросту інтенсивності руху змінювався за останні десять років як в більшу так і в меншу сторону.

Для урахування дії на дорожній одяг і процес виконання програми робіт невизначеності і випадкових факторів доцільно застосувати імітаційну модель з імітацією випадкових подій і величин методом Монте-Карло.

## Висновок

У зв'язку накопиченої потреби в ремонтах доріг та обмеженого фінансування, проблема оптимізації програми приведення стану дорожнього одягу до нормативного рівня набуває важливого значення. Один із шляхів вирішення цієї проблеми полягає в розробці відповідної імітаційної моделі, яка б дозволила підвищити точність і надійність рішень.

## Література

1. Golabi K., Kulkarni, R.R. and Way, G.B., "A Statewide Pavement Management System,» Interfaces, 1982. - Vol. 12, No.6. - P. 5-21.
2. Brad Mytton & David Meaclem. Linear Programming Model for Scheduling Road Maintenance [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
3. <http://www.mang.canterbury.ac.nz/courseinfo/msci/msci480/transfund00/Model.html>
4. Wang K. C. P., Zaniewski J. (1995). Sensitivity of Pavement Network Optimization System to its prediction models. *Transportation Research Record*, 1508, 22-30.
5. Демішкан В.Ф. Удосконалення управління станом автомобільних доріг за умов обмежених ресурсів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / В.Ф. Демішкан. – Х., 2000. – 17 с.
6. Харченко А.М. Методичні підходи до розробки річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій / А.М. Харченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.74. – Київ, 2008.
7. Chen, Xin, G. Claros, and W.R. Hudson (1992). Mixed-Integer Programming Model for AASHTO Flexible Pavement Design. *Transportation Research Record*, 1344, 139-147.
8. Jaewook Yoo. Multi-period optimization of Pavement Management Systems. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2004 – 104 p.
9. Zheng Wu. Hybrid Multi-Objective Optimization Models for Managing Pavement Assets. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Civil and Environmental Engineering, Blacksburg, Virginia, 2008. – 203 p.
10. Кизима С.С. Наукові принципи та практичні напрямки управління станом автомобільних доріг / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України. – К.: НТУ, 2004.
11. Руководство к своду знаний по управлению проектами. (Руководство РМВОК®)—Четвертое издание, Project Management Institute, Inc., 2008. – 496 с.
12. Chunlu Liu, Amin Hammad, Yoshito Itoh/ Maintenance strategy optimization of bridge decks using genetic algorithm/ Liu Chunlu, Hammad Amin, Itoh Yoshito// Journal of transportation engineering. – march/april 1997. – Vol. 123, №2. – P. 91 – 100.
13. Performance Prediction Models for Flexible Pavements: A State-of-the-art Report. RAPPORT Te knologiavde l ingen Veg- og trafikfaglig senter, Nr. 247, 2006. – 54 p.