

УДК 625.7/8:338

В.В.Ігнатюк

Національний транспортний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОВГОСТРОКОВОЇ ПРОГРАМИ ДОРОЖНЬО-РЕМОНТНИХ РОБІТ

Розглянуті загальні підходи до розробки моделі оптимізації програми робіт з приведення дорожнього одягу до заданого стану за певну кількість років з використанням методів оптимізації.

Ключові слова: *стан доріг, математична модель, програма ремонтів, методи оптимізації управління станом дорожнього одягу.*

Останнім часом в дорожній галузі у зв'язку з обмеженим фінансуванням та одночасним зростанням осьового навантаження транспортних засобів склалася ситуація, коли конструкції дорожніх одягів працюють на межі своїх можливостей. Привести стан дорожнього одягу до певного планового рівня можна виконати лише за декілька років. Приймаючи до уваги велику кількість шляхів програм робіт необхідна розробка математичних методів оптимізації програми ремонтів що являє собою складну задачу.

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 (англ. Pavement Management System – PMS, укр. Системи управління станом дорожнього покриття - СУСП). Фундаментом для цих підходів є використання методів математичного програмування, які дозволяють, при виконанні певних умов, знайти найкраще (оптимальне) рішення.

Golabi та ін. (1982) розробили комбіновану модель, яка включає прогнозування стану дорожнього одягу за допомогою ланцюгів Маркова та мінімізацію загальних витрат методом лінійного програмування (ЛП). Використання в цій моделі змінних «частка мережі» призводило до втрати інформації про місцезнаходження ділянок ремонту. Цей підхід був розширений і використаний Wang із співавторами (1993, 1994, 1995) та Liu (1996). Крім того він був застосований в системах управління дорожнім одягом в штатах Аляска, Канзас та в Португалії (Alviti із співавторами, 1994, Golabi, 2002). Grivas із співавторами (1993) запропонували модель ЛП для розподілу бюджетних коштів по періодах на мережевому рівні управління станом дорожнього одягу. Ця модель була розроблена з урахуванням ефективної взаємодії економічних і технічних факторів[1].

Модель динамічного програмування (ДП) запропонована в 1987 р. U.S. Army Corps of Engineers в системі PAVER. Butt із співавторами (1987) застосували ланцюг Маркова в моделі ДП для прогнозування експлуатаційних якостей дорожнього одягу. Існують і інші формулювання задачі ДП.

Враховуючи той факт, що ремонт необхідний лише у певні моменти, можна дискретизувати плановий горизонт і сформулювати проблему ремонту як частково - цілочисельну математичну модель [1].

Jacobs спростив проблему частково - цілочисельного лінійного програмування, приймаючи інтенсивність капітальних ремонтів, як константу і криву деградації як кусочно - лінійну функцію. Проте, нелінійності мають місце і в деградації дорожнього одягу і в ефективності капітальних ремонтів [2]. Для розв'язання повністю цілочисельних та частково - цілочисельних задач використовується метод гілок та границь, запропонований в 1960 році A. Land та G. Doig [3].

Для багатокритеріальної оптимізації програм ремонтів використовується метод цільового програмування, вперше запропонований Charnes та ін. (1955) та застосований відносно доріг Sinha (1981), Ravirala та Grivas (1995). Метод використовує поняття мінімальної відстані від кращого випадку, це означає, що ідеальним рішенням було б мінімізувати зважену суму відхилень всіх цільових функцій від своїх цілей. Головним недоліком цієї технології є (Zeleny 1982; Lee і Olson 1999): глобальна збіжність оптимальності не гарантується в деяких випадках; зважене цільове програмування може зробити неможливою оптимізацію рішень за Pareto. Головні переваги

цільового програмування: привабливість для приймаючого рішення в охоплення основних елементів проблеми і формулюванні цілі й обмеження; концептуальна простота розуміння і застосування.

Метод ε -обмеження розглядає проблему з використанням методу скалярної оптимізації - оптимізація одного довільно вибраного об'єкту при перетворенні всіх інших об'єктів в обмеження, Haimes (1971) [4]. Цей підхід може полегшити обчислювальні труднощі, якщо мають місце неопуклі рішення (Goicoechea та ін. 1982).

Метод зважених сум був розроблений Davis та Campbell (1995), Wang (2003) [5]. Головна ідея методу - поєднання різних цільових функцій в одну цільову функцію шляхом присвоєння позитивної ваги для кожної з цільових функцій, і параметрично варійованих ваг для створення з його допомогою оптимальних за Pareto рішень, як вперше запропонував Zadeh (1963). Основними недоліками цієї технології є (Das та Dennis 1997 року; Miettinen 2001 року; Marler та Arora 2004): апріорний вибір ваги не обов'язково гарантує, що остаточне рішення буде прийнятним; декілька наборів ваги можуть генерувати ту ж саму за Pareto оптимальну точку, і перехід від одного набору до іншого набору ваги може привести до пропуску Pareto оптимальної точки; у разі неопуклості не можна отримати відповідний Pareto оптимальний набір; послідовне і безперервне варіювання не обов'язково призводить до рівномірного розподілу безлічі оптимальних за Pareto точок. До основних переваг методу зважених сум належать: легкість розуміння, достатність для оптимальності за Pareto, простота в реалізації; сумісність з різними алгоритмами включення переваг у будь-який апріорний або апостеріорний процес.

Запропоновано також використання нечітких множин Zadeh(1965), генетичних алгоритмів Chan (2003), генетичних алгоритмів разом з компромісним програмуванням - Fwa (2000); генетичних алгоритмів з ε -обмеженнями - Miyamoto (2000).

Генетичний алгоритм, засновником якого вважається John Holland, являє собою еволюційний алгоритм пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації та моделювання шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію. Цей алгоритм заснований на еволюційній теорії Дарвіна та на принципі «евристичного відбору». Особливістю генетичного алгоритму є акцент на використанні оператора "схрещення", який виконує операцію рекомбінації рішень-кандидатів. Основними перевагами цього підходу є: висока ефективність для складних задач комбінаторної оптимізації; потенційна можливість сходимості на оптимум за Pareto в цілому; застосування для неопуклих функцій; не накладає вимогу наявності градієнту, отже, є ефективним незалежно від характеру цільових функцій і обмежень. Однак, він також має ряд недоліків, притаманним будь-яким евристичним методам: не завжди можна знайти справжнє оптимальне рішення; відносно висока обчислювальна вартість; досить висока складність програмування.

В Україні для обґрунтування програм капітальних і поточних ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації приведених дорожньо-транспортних затрат використовується Система управління станом покриття (СУСП), теоретичні основи якої було розроблено в роботах Кизими С.С., виконаних з 1970-х років до останнього часу [6]. Методи оптимального програмування для управління станом автомобільних доріг були розроблені в роботі Демішкана В.Ф. [7].

Можна сформулювати таку постановку задачі оптимізації програми дорожніх робіт як сукупності проектів з капітального та поточного ремонтів дорожніх одягів для досягнення заданого їх стану на мережі доріг за задану кількість років з булевими змінними.

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:

$$PK_1^M = PK_1 \cup PK_2 \cup \dots \cup PK_n, \quad (1)$$

$$PK_1^M = PK_1 \cup PK_2 \cup \dots \cup PK_n, \quad (2)$$

де PK_1^M - множина потенційних проектів капітального ремонту;

P_n^m - множина потенційних проектів поточного ремонту;

P_{k_t} - множина потенційних проектів капітального ремонту в t -й рік;

P_{n_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):

$$PK_1^m = K_1^+ \cup K_2^+ \cup \dots \cup K_n^+, \quad (3)$$

$$PN_1^m = P_1^+ \cup P_2^+ \cup \dots \cup P_n^+, \quad (4)$$

де PK_1^m - множина проектів капітального ремонту, включених в програму;

PN_1^m - множина проектів поточного ремонту, включених в програму;

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

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

Отже, повинна виконуватись умова:

$$PK_1^m \leq P_{k_1}^m, \quad (5)$$

$$PN_1^m \leq P_{n_1}^m. \quad (6)$$

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 P 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^m :

$$C_1^m = \sum_{i=1}^n [\sum_{i-1}^{k_t} c_{it}^k + \sum_{i-1}^{m_t} c_{it}^n], \quad (7)$$

де c_{it}^k - приведена вартість i -го проекту капітального ремонту, включеного в програму в t -му році,

$i = \overline{1, k_t}$;

c_{it}^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.

$$w_t^k \leq w_t^k, \quad (9)$$

$$w_t^n \leq w_t^n, \quad (10)$$

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

W_2^M – максимально допустима (задана) частка довжини доріг, яка потребує поточного ремонту в рік n .

Модель для практичного використання повинна враховувати пріоритети ділянок доріг, пов'язаних з їх категоріями та іншими параметрами.

Для пошуку оптимального рішення задачі можна застосувати генетичний алгоритм [8] з моделями деградації дорожнього одягу (за міцністю, рівністю та зчепленням), які відносяться до механістично – емпіричних [10].

Більш адекватними для прогнозування стану дорожнього одягу були б імовірнісні моделі. Моделі імовірнісні – це спроба врахувати стохастичні особливості процесу деградації дорожнього одягу. Більшість з запропонованих моделей імовірності 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 [10].

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.

Висновки

У зв'язку з обмеженим фінансуванням дорожньої галузі проблема оптимізації програми приведення стану дорожнього одягу до нормативного рівня за певну кількість років є актуальною. 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.

1. I.Y. Kim and O.L. de Weck .Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation,pp.149-153.
2. Chen, Xin, G. Claros, and W.R. Hudson (1992). Mixed-Integer Programming Model for AASHTO Flexible Pavement Design. *Transportation Research Record*, 1344, 139-147.
3. Хеми А. Таха. Введение в исследование операций. Седьмое издание. Издательский дом «Вильямс», 2005. – 428 с.
4. Zheng Wu. Hybrid Multi-Objective Optimization Models for Managing Pavement Assets. January 25th, 2008, pp. 26-31.
5. Jaewook Yoo.Multi-period optimization of pavement management systems. May 2004, pp. 12-21.
6. 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.
7. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.11 / В.Ф. Демішкан; Харк. держ. автомоб.-дорож. техн. ун-т. — Х., 2000. — 17 с.
8. 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.
9. Performance Prediction Models for Flexible Pavements: A State-of-the-art Report. RAPPORT Teknologiavde l ingen Veg- og trafikfaglig senter, Nr. 247, 2006. - 54 p.