

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОГРАМАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Ігнатюк В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна

OPTIMIZATION PROGRAM OF PAVEMENT REPAIR

Ignatuk V.V. National Transport University, Kyiv, Ukraine

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММАМИ РЕМОНТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Игнатюк В.В. Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми. Сучасний стан автомобільних доріг характеризується великою часткою ділянок доріг з відкладеними ремонтами дорожнього одягу. За умов недостатнього фінансування привести стан дорожнього одягу до нормативного рівня можливо лише за певну кількість років. З причин відомої неоднорідності дорожньої мережі за призначенням, за категоріями, за типами дорожнього покриття, практична оцінка динаміки розвитку дорожньої мережі та транспортних витрат потребує громіздких розрахунків, що, у свою чергу, вимагає розробки як методики таких розрахунків, так і відповідного програмного забезпечення [1]. Приймаючи до уваги наявність великої кількості альтернативних варіантів стратегій дорожньо-ремонтних робіт – послідовності капітальних і поточних дрібних та середніх ремонтів дорожнього одягу, необхідна розробка ефективного підходу для порівняння цих варіантів і вибору найкращого з них, що являє собою складну наукову задачу, розв'язання якої може забезпечити процедури обґрунтування довгострокових програм ремонтів дорожніх одягів ефективним практичним інструментарієм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему пошуку ефективної стратегії реалізації довгострокової програми ремонту дорожніх одягів корисно розглядати з позицій теорії управління проектами та програмами, орієнтуючись на досягнення найкращих результатів, можливих в рамках обмеженого фінансування, шляхом застосування сучасних методів моделювання і пошуку оптимальних рішень [2].

Дорожній одяг у великій мірі визначає довговічність дороги, безпеку руху, економічну ефективність капіталовкладень. Стан дороги характеризується відповідністю або невідповідністю його експлуатаційних показників нормативним вимогам.

В Україні для обґрунтування програм капітальних і поточних ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації приведених дорожньо-транспортних затрат використовується Система управління станом покриття (СУСП) [3]. Проте, в СУСП реалізовано спрощений підхід до формування програм ремонтів, що потребує розробки нових методів оптимізації програм, необхідних для приведення мережі автомобільних доріг до нормативних вимог в умовах обмеженого фінансування.

У вітчизняних і зарубіжних дослідженнях, для оптимізації стратегій дорожньо-ремонтних робіт в системах управління дорожнім одягом, були запропоновані моделі: лінійного, цілочисельного, динамічного, цільового програмування, метод зважених сум, методи на основі нечітких множин, генетичні алгоритми, метод ϵ -обмежень, детальний огляд яких наведено в роботі [4]. Значна увага дослідників приділена застосуванню в оптимізації програм управління станом доріг генетичних алгоритмів (ГА) [5,6,7,8]. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою ефективність при вирішенні багатьох NP-складних задач [9] і, особливо, в практичному використанні, де математичні моделі мають складну структуру і застосування стандартних градієнтних методів, динамічного або лінійного програмування вкрай утруднено.

Виклад основного матеріалу. Програма - це група пов'язаних проектів і окремих робіт, відповідних стратегічним цілям або іншим важливим цілям. Управління програмами полягає в централізованій і скоординованій діяльності з досягненням цих цілей [10]. Програма робіт з ремонту доріг включає три види проектів: капітального ремонту, поточного середнього ремонту, поточного дрібного ремонту і утримання автомобільних доріг. Основою управління станом автомобільних доріг є здійснення комплексу дорожніх робіт, які, поліпшуючи стан, забезпечують скорочення часу знаходження автомобілів в дорозі і відповідно зниження собівартості перевезень

пасажирів та вантажів. Крім того, нормативний стан автомобільних доріг має соціальне значення, яке не може бути легко і точно виражене в грошовому еквіваленті (охорона здоров'я, освіта, культура тощо).

Основними показниками стану автомобільних доріг на стадії експлуатації є рівність дорожніх покриттів, їх зчепні якості та міцність дорожнього одягу [11]. Проте математичні моделі деградації дорожнього одягу, які були застосовані в СУСП потребують вдосконалення у напрямі урахування затримки ремонту з-за бюджетних обмежень. Тому були розроблені моделі, алгоритми та комп'ютерний аналіз приведення експлуатаційного стану дорожнього одягу нежорсткого виду до нормативного, які враховують умови тривалого недофінансування ремонтів.

Алгоритм оптимізації довгострокової програми ремонтів дорожнього одягу запропонований на рис. 1.

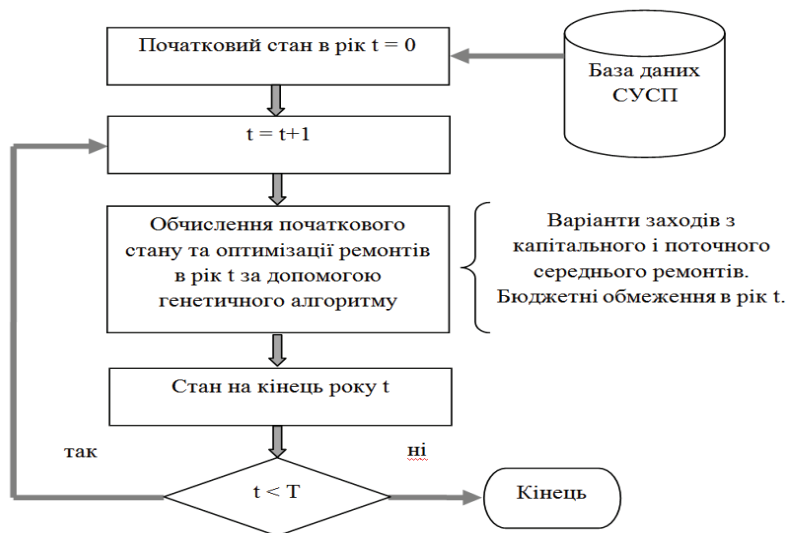


Рис.1.

Схема алгоритму

оптимізації довгострокової програми ремонтів дорожнього одягу

При фіксованому бюджетному фінансуванні, яке виступає обмеженням в прийнятті рішень, в якості критерію оптимізації управління станом автомобільних доріг, доцільно використовувати транспортні витрати при фактичній рівності покриття за вирахуванням транспортних витрати при рівності, що забезпечується після нового будівництва. Значення критерію приводяться до поточного року з урахуванням коефіцієнта дисконтування та індексу інфляції. Показники стану мережі автомобільних доріг являють собою відношення протяжності доріг, які потребують капітального або поточного середнього ремонту, до загальної протяжності доріг. Отже, задача полягає у виборі таких щорічних бюджетних обмежень, які за період дії програми забезпечують відновлення стану дорожнього одягу до прийняттого при мінімізації різниці транспортних витрат. Для пошуку оптимального варіанту річної програми робіт розроблений і застосований генетичний алгоритм.

Робота ГА починається з формування структури вихідних даних, які отримуються з бази даних СУСП, в якій вони попередньо обробляються до необхідного виду. Дані попередньо закачуються у вихідну таблицю Microsoft Excel за допомогою спеціального запиту до бази даних. Ця таблиця доповнюється інформацією про методи ремонтів і обмеження. Укрупнена схема ГА наведена на рис. 2.

У підходах до управління програмою ремонту дорожніх одягів на основі ГА одне можливе рішення одночасно для всіх ділянок доріг (секцій) виражається як послідовність різних ремонтних заходів по секціям і в плановому періоді і називається хромосомою. Кожний захід або позиція в хромосомі – це ген, який може приймати значення тільки з допустимої області можливих ремонтних дій. Ген – це значення керованого параметру задачі оптимізації. Множина можливих рішень – хромосом являє собою так звану популяцію. ГА розглядає послідовність популяцій рішень (epoch). Пошук найкращого рішення супроводжується конструюванням нової популяції рішень з попередньої за допомогою процедури селекції та операторів кросоверу (схрещування) і мутації. В кросовері для двох кандидатів рішень-хромосом (представлених як рядки генів двох хромосом) з заданою вірогідністю визначається точка розриву хромосом, і вони обмінюються частинами своїх генів, формуючи таким чином дві нові хромосоми.

Запропонована схема дає можливість здійснювати підбір бюджету експертом. Завдяки їй експерт має можливість підібрати оптимальний бюджет для усунення недоремонтів за термін дії програми з забезпеченням мінімальних транспортних витрат.

Управління програмами ремонтів автомобільних доріг здійснюється за допомогою спеціально створеної комп'ютерної програми. Головна екранна форма наведена на рис. 3.

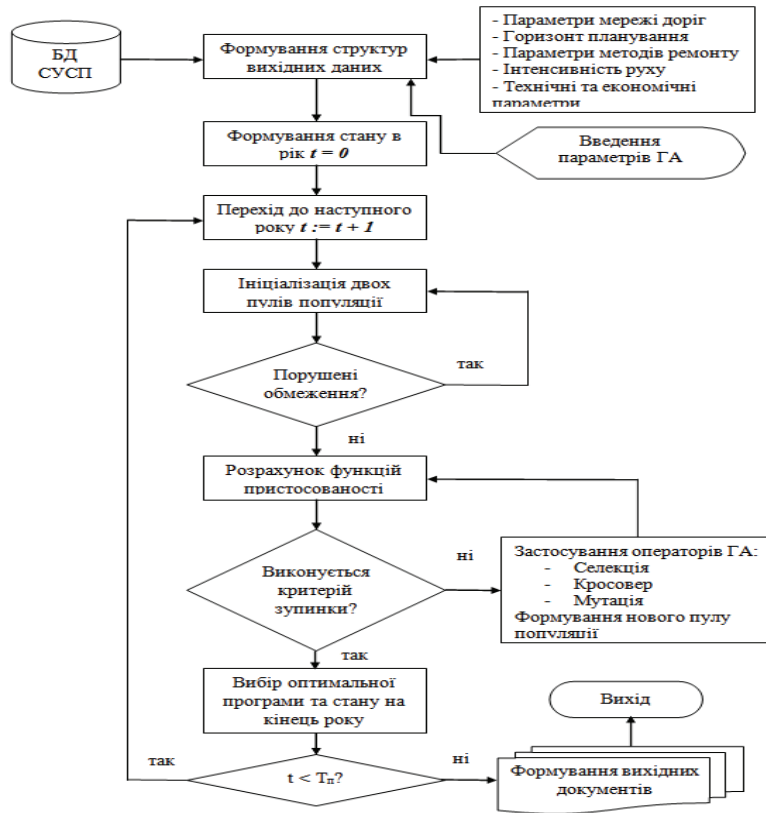


Рис. 2. Схема алгоритму ГА

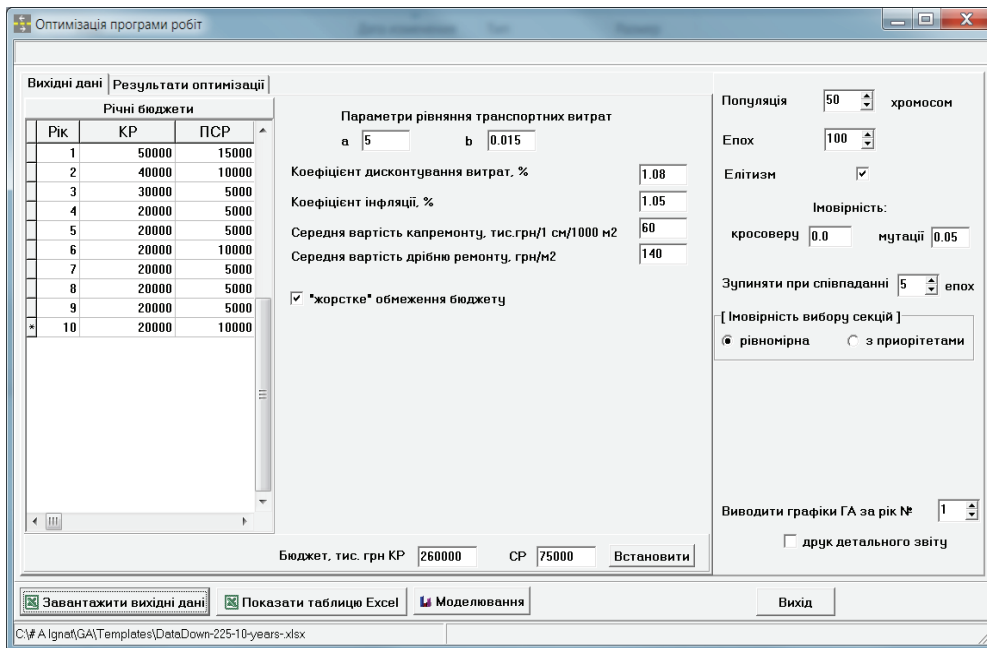


Рис.3. Головна екранна форма програми

Вихідними дані про вимірний стан дорожнього одягу вивантажуються з бази даних СУСП у таблицю Microsoft Excel, після чого в таблицю вводяться додаткові дані про варіанти можливих

ремонтних заходів, щорічні бюджетні обмеження та інші параметри. Після запуску програми користувачеві надається можливість завантажити дані цієї таблиці Microsoft Excel для оптимізації програми робіт.

В процесі роботи комп'ютерної програми можливе введення таких даних, як бюджет на кожний рік планового періоду, коефіцієнт дисконтування та інфляції, оцінка вартості експлуатаційних заходів. Це створює можливість інтерактивного підбору найкращого варіанту щорічних бюджетів програми робіт.

Бюджетні обмеження враховуються в процесі ініціалізації початкової популяції рішень – хромосом. Значенням кожного гену хромосоми (який моделює секцію дороги) є вид ремонту та його параметри. Якщо сумарна вартість ремонту при розгляді чергового гену перевищує бюджет, то капітальний або поточний середній ремонт даної секції дороги не планується, а виконується лише поточний дрібний ремонт та утримання. Порядок розгляду генів – випадковий з рівномірною імовірністю вибору генів або з урахуванням їх пріоритетів, які відображують значення коефіцієнту запасу міцності дорожнього одягу секції, рівність і коефіцієнт зчеплення покриття. Проте, при здійсненні оператору кросоверу бюджетне обмеження може порушуватись в результаті комбінації частин двох хромосом, тому в алгоритмі кросоверу прийнято два підходи: з «жорстким» та «м'яким» обмеженням. В першому випадку, обов'язкове виконання обмеження, в другому, допускається відхилення від суми обмеження для наступного більш точного вибору річних бюджетів.

Задача вирішується шляхом послідовного перебору можливих щорічних бюджетів для побудови залежності від них значень критерію перевищення транспортних витрат і показників стану дорожнього одягу і покриття.

На рис. 4 наведено приклад оптимізації транспортних витрат за допомогою ГА при одному з варіантів бюджетних обмежень в першому і десятому роках десятирічної програми ремонтних робіт на мережі доріг протяжністю 225 км з великим рівнем деградації дорожнього одягу.

Результати досліджень впливу бюджетних обмежень наведені на рис. 5. Як видно, існує певне значення бюджетних обмежень, після якого його подальше збільшення не призводить до суттєвого покращення результатів, отже таке значення може бути прийняте за шукану величину бюджету.

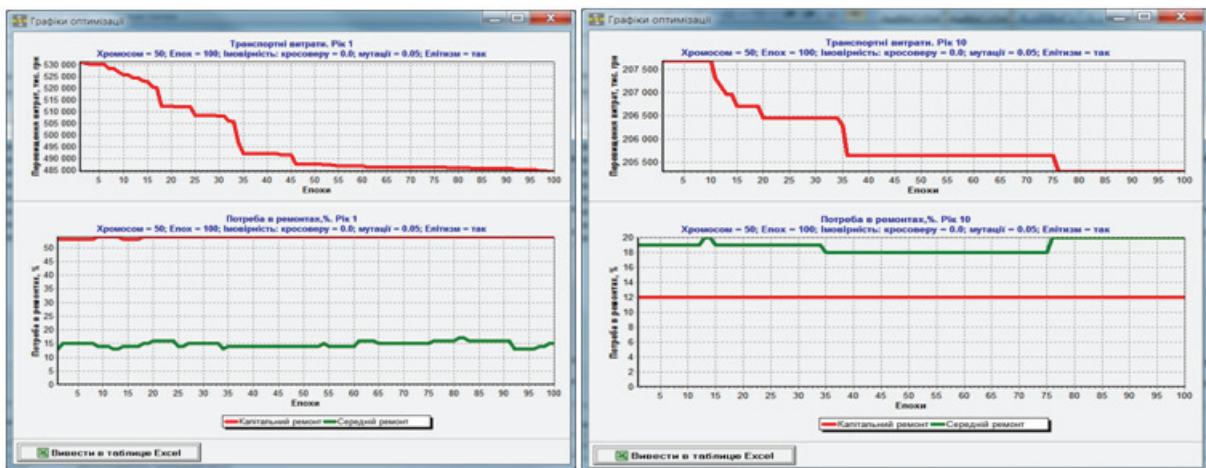


Рис.4. Процес оптимізації за допомогою ГА

Програмні засоби дають можливість визначити сукупність проектів капітального і поточного середнього ремонтів, розподілених у просторі і часі, і розв'язати головну задачу – приведення стану мережі доріг або окремої дороги або її ділянки стосовно міцності та рівності до рівня, який забезпечує нормативні вимоги. Головні параметри цієї задачі – її обмеження, які потрібно обґрунтувати, – щорічні розміри бюджетних коштів на ремонти дорожнього одягу.

На рис. 6 наведені графіки витрат при поступовому зменшенні та збільшенні річного бюджету. Як видно, у другому випадку витрати суттєво менші, ніж у випадку поступового зростання бюджету.

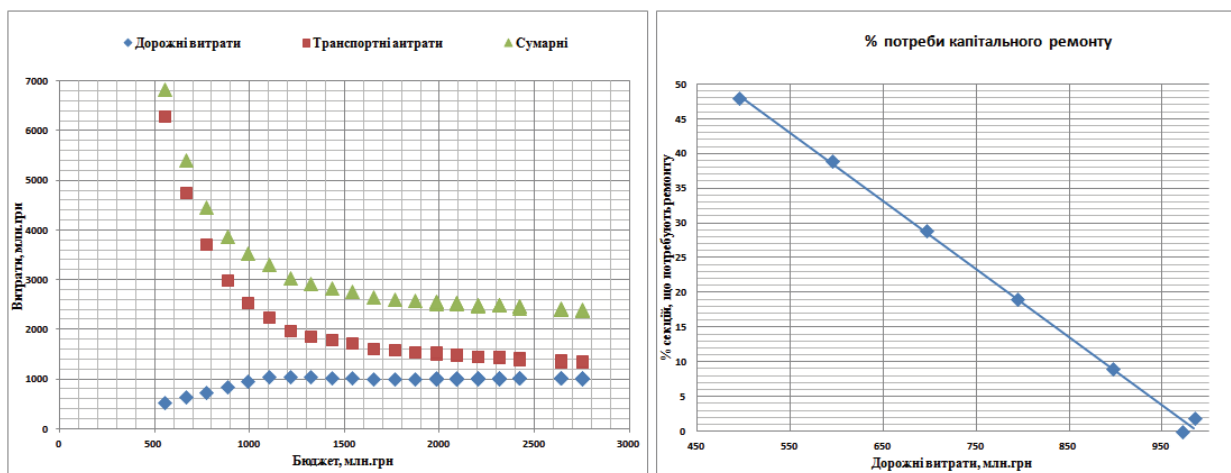


Рис. 5. Графіки залежності дорожніх і транспортних витрат від розміру бюджетних обмежень

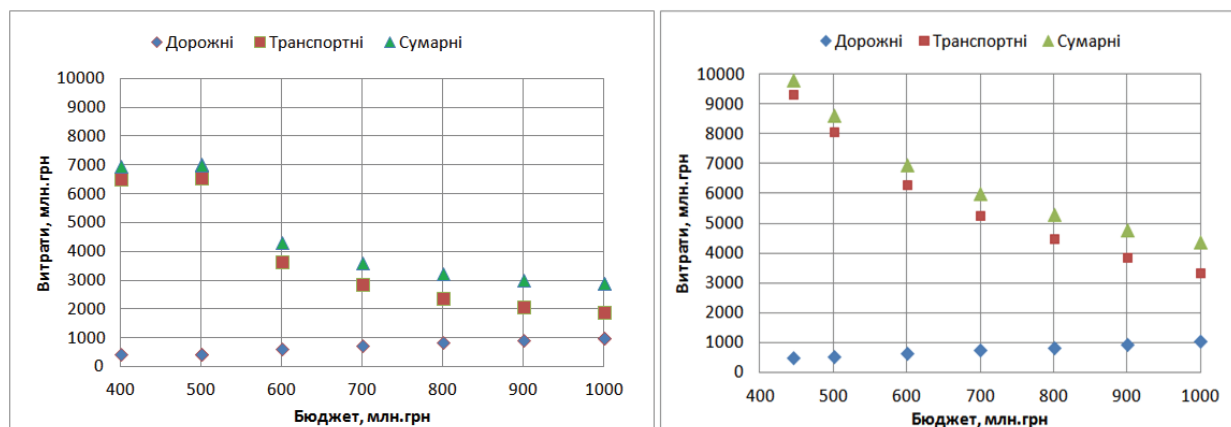


Рис. 6. Витрати при поступовому зменшенні річного бюджету

Слід відмітити, що досить важко автоматизувати процедуру визначення річних бюджетів, яка, до речі, не гарантує оптимального рішення, тому пропонується наведена вище процедура, котра дозволяє задіяти в процесі дослідження досвід осіб, що приймають рішення.

Висновок. Розроблений алгоритм і комп'ютерна програма є новим модулем, який доцільно використовувати в СУСП. З його допомогою можливо обґрунтувати довгострокову стратегію відновлення стану дорожнього одягу з мінімальними дорожньо-транспортними витратами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Філіппов В.В. Прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг за різних рівнів фінансування [Електронний ресурс] / В.В. Філіппов, Є.Д. Прусенко, В.К. Жданюк, Н.В. Смірнова // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету. Випуск № 44 / 2009. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/prognostication-of-the-development-of-highways-network-at-different-levels-of-financing>

Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®)— Четвертое издание, 2008. – 496 с.

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.

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.

Fwa TF, Sinha KC and Reversion JDN Highway Routine Maintenance Programming at Networking Level / Journal of Transportation Engineering. ASCE 1988;114 (5):539-54.

Jaewook Yoo. Multi-period optimization of Pavement Management Systems / Jaewook Yoo - 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.

Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcou, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.

Review of Application of Genetic Algorithms in Optimization of Flexible Pavement Maintenance and Rehabilitation in Nigeria / Clarkson Uka CHIKEZIE, Adekunle Taiwo OLOWOSULU, Olugbenga Samuel ABEJIDE, Baba A. KOLO. World J of Engineering and Pure and Applied Sci. 2011;1(3), pp. 68-76.

NP - складна задача. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/NP-%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0

Международный Стандарт по Управлению Проектами ISO 21500:2012. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://splaniroval.ru/blog/best-practice/378.html>

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. – С. 17

REFERENCES

Filippov VV , ED Prusenko, VK Zhdanyuk, NV Smirnov Prediction of road network at different levels of funding V. / Journal of Kharkiv National Automobile-road university. Issue number 44/2009. - Mode of access: <http://cyberleninka.ru/article/n/prognostication-of-the-development-of-highways-network-at-different-levels-of-financing>. (Ukr)

Guide to the Body of Knowledge Project Management (Management PMBOK ®)-Fourth Edition. 2008.P.496.

Kyzyrna SS, Kanin A.P. Lyhostup M.N. Scientific principles and practical areas of management of roads .Modern problems and prospects of road-building complex of Ukraine. - K.: NTU. 2004. (Ukr)

4.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.

Fwa TF, Sinha KC and Reversion JDN Highway Routine Maintenance Programming at Networking Level / Journal of Transportation Engineering. ASCE 1988;114 (5):539-54.

Jaewook Yoo. Multi-period optimization of Pavement Management Systems / Jaewook Yoo - 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.

Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcou, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.

Review of Application of Genetic Algorithms in Optimization of Flexible Pavement Maintenance and Rehabilitation in Nigeria / Clarkson Uka CHIKEZIE, Adekunle Taiwo OLOWOSULU, Olugbenga Samuel ABEJIDE, Baba A. KOLO. World J of Engineering and Pure and Applied Sci. 2011;1(3), pp. 68-76.

NP - Challenger. [Electronic resource] - Access: http://uk.wikipedia.org/wiki/NP-%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0

. The International Standard for Project Management ISO 21500:2012. E-resource. - Mode of access: <http://splaniroval.ru/blog/best-practice/378.html>

Demishkan VF Improving the management of roads under conditions of limited resources: Abstract. Thesis. for obtaining sciences. degree candidate. Sc. sciences specials. 05.22.11 - H. 2000. P.17

РЕФЕРАТ

Ігнатюк В.В. Оптимізація програмами ремонтів дорожнього одягу. / В.В. Ігнатюк // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 30.

В статті розглядаються проблема оптимізації програми дорожньо-ремонтних робіт, в умовах обмеженого фінансування.

Об'єкт є процес управління експлуатаційним станом нежорсткого дорожнього одягу в системі управління проектами і програмами капітального і поточного середнього ремонтів на мережі автомобільних доріг

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності прийняття рішень в управлінні програмою приведення дорожнього одягу мережі доріг до нормативного стану за задану кількість років на етапі планування.

Методи дослідження - принципи системного аналізу, методи економіко – математичного моделювання, рішення поставлених задач ґрунтуються на використанні генетичних алгоритмів пошуку оптимальних рішень.

Основними показниками стану автомобільних доріг на стадії експлуатації є рівність дорожніх покриттів, їх зчипні якості та міцність дорожнього одягу. Проте математичні моделі деградації дорожнього одягу, які були застосовані в СУСП потребують вдосконалення у напрямі урахування затримки ремонту з-за бюджетних обмежень. Тому були розроблені моделі, алгоритми та комп'ютерний аналіз приведення експлуатаційного стану дорожнього одягу нежорсткого виду до нормативного, які враховують умови тривалого недофінансування ремонтів. Задача вирішується шляхом послідовного перебору можливих щорічних бюджетних обмежень, які за період дії програми забезпечують відновлення стану дорожнього одягу до прийняттого при мінімізації різниці транспортних витрат. Для пошуку оптимального варіанту річної програми робіт розроблений і застосований генетичний алгоритм. За допомогою комп'ютерної програми можливо обґрунтувати довгострокову стратегію відновлення стану дорожнього одягу з мінімальними дорожньо-транспортними витратами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА : СТАН ДОРІГ, ПРОГРАМА РЕМОТІВ, МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ.

ABSTRACT

Ignatyuk V. Optimizing programs pavement repairs. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 30.

The article tells about the problem of optimizing the program of road repair work, in conditions of limited funding.

The object of study is the management of the operational state of non-rigid pavement in the management of projects and programs of capital and current repairs on the middle road network.

Purpose is to improve the efficiency of decision-making in the management of the program to bring the pavement of the road network to the standard state for a specified number of years in the planning stage.

Research methods - principles of system analysis, methods of economic - mathematical modeling and solution of the problem based on the use of genetic algorithms for finding optimal solutions.

Key indicators of state highways during operation is equality of road surfaces, their equality and durability of the pavement. However, the mathematical model of the degradation of pavement that have been applied in SUSP to be improved as regard to delay repairs because of budget constraints. Therefore, the developed models, algorithms and computer analysis to bring the operating condition of non-rigid pavement type to the standard, taking into account the conditions of long-term underfunding of repairs. The problem is solved by brute force potential annual budget constraints, which in the period of the program provides restoration of pavement to an acceptable difference while minimizing transportation costs. To find the optimal variant of the annual program of work developed and applied a genetic algorithm. With the help of a computer program may justify a long-term strategy for restoration of pavement with minimal road transport costs.

KEY WORDS: ROAD CONDITIONS, PROGRAM OF REPAIR, OPTIMIZATION TECHNIQUES, GENETIC ALGORITHMS.

РЕФЕРАТ

Игнатюк В.В. Оптимизация программы ремонтов дорожной одежды. / В.В. Игнатюк // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 30.

В статье рассматривается проблема оптимизации программы дорожно-ремонтных работ, в условиях ограниченного финансирования.

Объект является процесс управления эксплуатационным состоянием нежестких дорожных одежд в системе управления проектами и программами капитального и текущего среднего ремонтов на сети автомобильных дорог.

Цель работы состоит в повышении эффективности принятия решений в управлении программой приведения дорожной одежды сети дорог до нормативного состояния за заданное количество лет на этапе планирования.

Методы исследования - принципы системного анализа, методы экономико - математического моделирования, решение поставленных задач основываются на использовании генетических алгоритмов поиска оптимальных решений.

Основными показателями состояния автомобильных дорог на стадии эксплуатации является равенство дорожных покрытий, их сцепные качества и прочность дорожной одежды. Однако математические модели деградации дорожной одежды, которые были применены в СУСП нуждаются в совершенствовании в направлении учета задержки ремонта из-за бюджетных ограничений. Поэтому были разработаны модели, алгоритмы и компьютерный анализ приведения эксплуатационного состояния дорожных одежд нежесткого вида к нормативному, учитывающих длительном недофинансирования ремонтов. Задача решается путем последовательного перебора возможных ежегодных бюджетных ограничений, которые за период действия программы обеспечивают восстановление состояния дорожной одежды до приемлемого при минимизации разницы транспортных расходов. Для поиска оптимального варианта годовой программы работ разработан и применен генетический алгоритм. С помощью компьютерной программы возможно обосновать долгосрочную стратегию восстановления состояния дорожной одежды с минимальными дорожно - транспортными расходами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СОСТОЯНИЕ ДОРОГ, ПРОГРАММА РЕМОНТОВ, МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ.

АВТОР:

Игнатюк Вікторія Василівна, Національний транспортний університет, e-mail: nikushek@ukr.net, тел: +38097 1313271, Україна, 01020, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 241.

AUTHOR:

Ignatyuk Victoria Vasilyvna, National Transport University, e-mail: nikushek@ukr.net, tel. +38097 1313271, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova Str., 1, of.241.

АВТОР:

Игнатюк Виктория Васильевна, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой менеджмента и туризм, e-mail: nikushek@ukr.net, tel. +380971313271, Украина, 01020, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 241.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Петрович В.В. кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет професор кафедри будівництва та експлуатації доріг, Київ, Україна.

Роман С.В. кандидат технічних наук, доцент, заступник директора дорожно-експлуатаційного управління, Київ, Україна.

REVIEWER:

Petrovych V.V. kandydat Technical Sciences, Professor, National Transport University Professor, department of road construction and maintenance, Kyiv, Ukraine.

Roman S. Ph.D., associate professor, deputy director of road maintenance company, Kyiv, Ukraine, Kyiv, Ukraine.