

УДК 625.76:005.8

**В.В.Ігнатюк**  
**Національний транспортний університет**  
**УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ВІДНОВЛЕННЯ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

*Розглянутий метод оптимізації програми робіт з приведення дорожнього одягу до заданого стану за певну кількість років на основі генетичних алгоритмів.*

**Ключові слова:** стан доріг, програма ремонтів, методи оптимізації, генетичний алгоритм

*Рис 6. Літ 10.*

**В.В.Игнатюк**  
**УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММАМИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ**  
**ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

*Рассматриваемый метод оптимизации программы работ по приведению дорожной одежды к заданному состоянию за определенное количество лет на основе генетических алгоритмов.*

**V.Ignatyuk**  
**MANAGEMENT PROGRAMS RESTORATION OF PAVEMENT**

*The considered technique of optimization programs work to bring the pavement to a desired state for a specified number of years based on genetic algorithms.*

За останні роки на автомобільних дорогах спостерігається зміна складу транспортних потоків, збільшення інтенсивності руху та маси експлуатаційного навантаження, що викликає пришвидшений фізичний знос конструкцій доріг і погіршує їх стан. Внаслідок недостатнього фінансування дорожньої галузі порушились міжремонтні терміни, що спричинило накопичення недоремонтів майже на всій мережі автомобільних доріг.

Проблема ліквідації недоремонтів на сьогодні не має повного теоретичного розв'язання та програмно-методичного забезпечення її вирішення за різних стратегій фінансування дорожньої галузі [1]. За таких умов задача удосконалення управління станом автомобільних доріг набуває особливої актуальності.

**Постановка проблеми.** За умов недостатнього фінансування привести стан дорожнього одягу до нормативного рівня можливо лише за певну кількість років. Приймаючи до уваги наявність великої кількості альтернативних варіантів стратегій дорожньо-ремонтних робіт – послідовності капітальних і поточних середніх ремонтів дорожнього одягу, необхідна розробка ефективного підходу для порівняння цих варіантів і вибору найкращого з них. З метою вирішення проблеми необхідно розробити алгоритми та моделі оптимізації управління програмою відновлення стану дорожнього одягу мережі доріг, а також відповідну комп'ютерну програму.

**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].

У вітчизняних і зарубіжних дослідженнях програми робіт з ремонту доріг найчастіше розглядаються як програми робіт з ремонту дорожнього одягу. В Україні оптимізацію програми робіт було запропоновано здійснювати на основі моделі лінійного програмування за критерієм мінімізації дорожньо-транспортних витрат при обмеженому фінансуванні [3] та за критерієм максимізації експлуатаційного стану мережі доріг, що забезпечується виконанням обмежень на всі види ресурсів [4].

В зарубіжних дослідженнях були запропоновані моделі лінійного, цілочисельного і динамічного програмування, цільового програмування, метод зважених сум, методи на основі нечітких множин, генетичні алгоритми, метод  $\epsilon$ -обмежень, докладний огляд яких наведено в роботі [5].

Значна увага дослідників приділена застосуванню в оптимізації програм управління станом доріг генетичних алгоритмів (ГА) [6,7,8,9]. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою ефективність при вирішенні багатьох складних задач, де математичні моделі мають складну структуру і застосування стандартних градієнтних методів, динамічного або лінійного програмування вкрай утруднено.

В практичній діяльності в Україні для обґрунтування програм капітальних і поточних ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації приведених дорожньо-транспортних затрат використовується Система управління станом покриття (СУСП) [10]. В ній евристичний алгоритм пошуку найкращого рішення ґрунтується на пріоритетах ділянок доріг – в першу чергу в програму ремонтів вибираються такі ділянки, які мають найвищу ефективність впливу на зниження транспортних витрат.

**Виклад основного матеріалу.** Слід зазначити, що управління програмою визначається як централізоване, скоординоване управління групою проектів для досягнення стратегічних цілей та переваг програми [2]. Програма робіт з ремонту доріг включає три види проектів: капітального ремонту, поточного середнього ремонту та поточного дрібного ремонту і утриманням автомобільних доріг. Управління програмою складається з сукупності процесів управління, які можуть виконуватися як послідовно, так і паралельно, що в результаті приводить до досягнення максимальної вигоди користувачам доріг. Програмне управління - це процес вибору проектів, регулювання періодів і тривалості їх виконання і регулювання їх рамок в залежності від змін економічних або інших зовнішніх умов. У програмному управлінні приділяється особлива увага координації та пріоритезації проектів, управління зв'язками між проектами та загальним витратам і ризикам програми.

При фіксованому бюджетному фінансуванні, яке виступає обмеженням в прийнятті рішень, в якості критерію оптимізації управління станом автомобільних доріг доцільно використовувати транспортні витрати, приведені до поточного року, з врахуванням коефіцієнта дисконтування витрат та індексу інфляції, а також показники стану мережі автомобільних доріг. Останні 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 транспортних витрат.

Для розв'язання цієї задачі розроблена схема оптимізації програми ремонтів, в основу якої покладені моделі деградації дорожніх одягів та їх покриттів, що використовуються в СУСП (рис. 1).

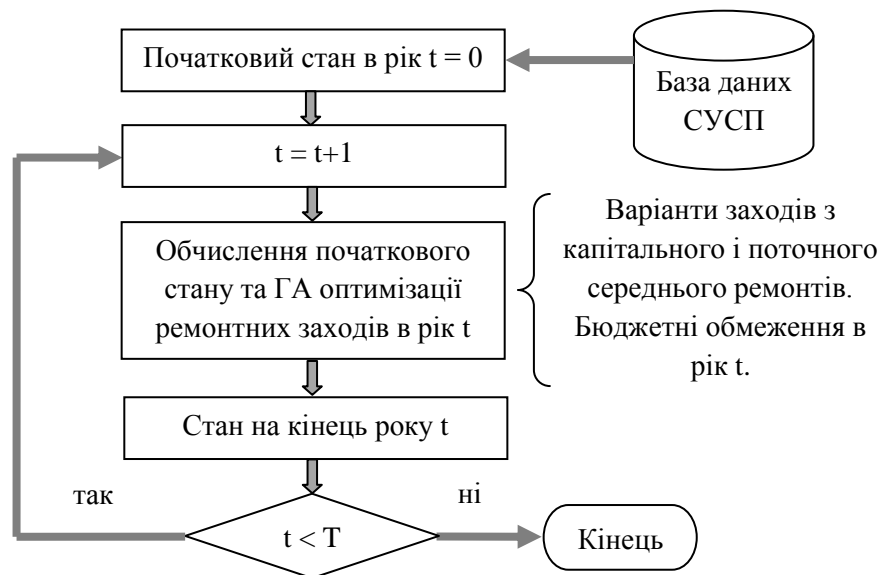


Рис. 1. Схема оптимізації програми робіт

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 програми наведена на рис. 2.

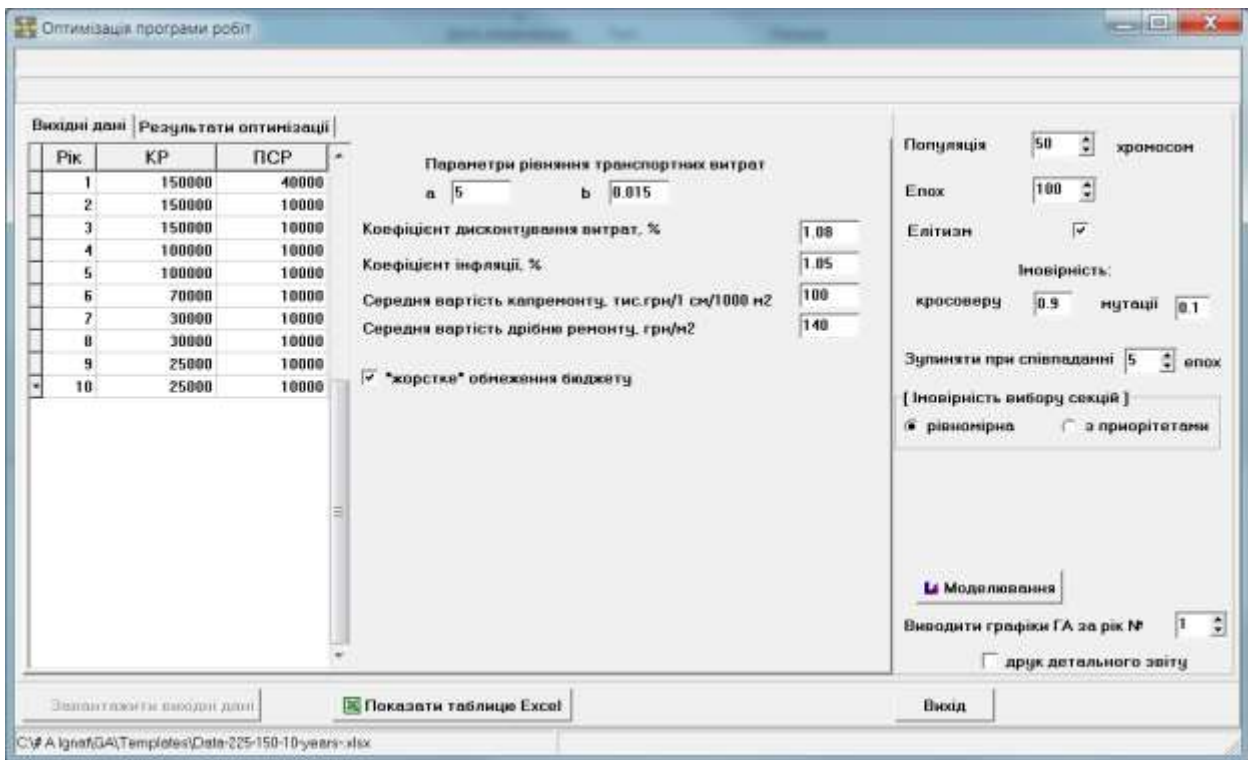


Рис. 2. Головна екранна форма програми

Вихідними даними програми є дані про стан дорожнього одягу, які вивантажуються з бази даних СУСП, у вигляді таблиці Microsoft Excel. Після отримання даних про вимірний стан дорожнього одягу в таблицю вводяться додаткові дані про варіанти можливих ремонтних заходів і щорічні бюджетні обмеження та інші параметри. Після запуску програми користувачеві надається можливість завантажити дані однієї таблиці Microsoft Excel для наступної 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,

його параметри та вартість. 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 ступінь деградації дорожнього одягу секції (капітальний ремонт) або його покриття (поточний середній ремонт).

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 (рис. 2). В першому випадку, обов'язкове виконання обмеження, в другому, допускається відхилення від суми обмеження для наступного більш точного вибору річного бюджету.

На рис. 3 наведено приклад оптимізації транспортних витрат за допомогою ГА в першому році десятирічної програми ремонтних робіт на мережі доріг протяжністю 225 км з великим рівнем деградації дорожнього одягу.

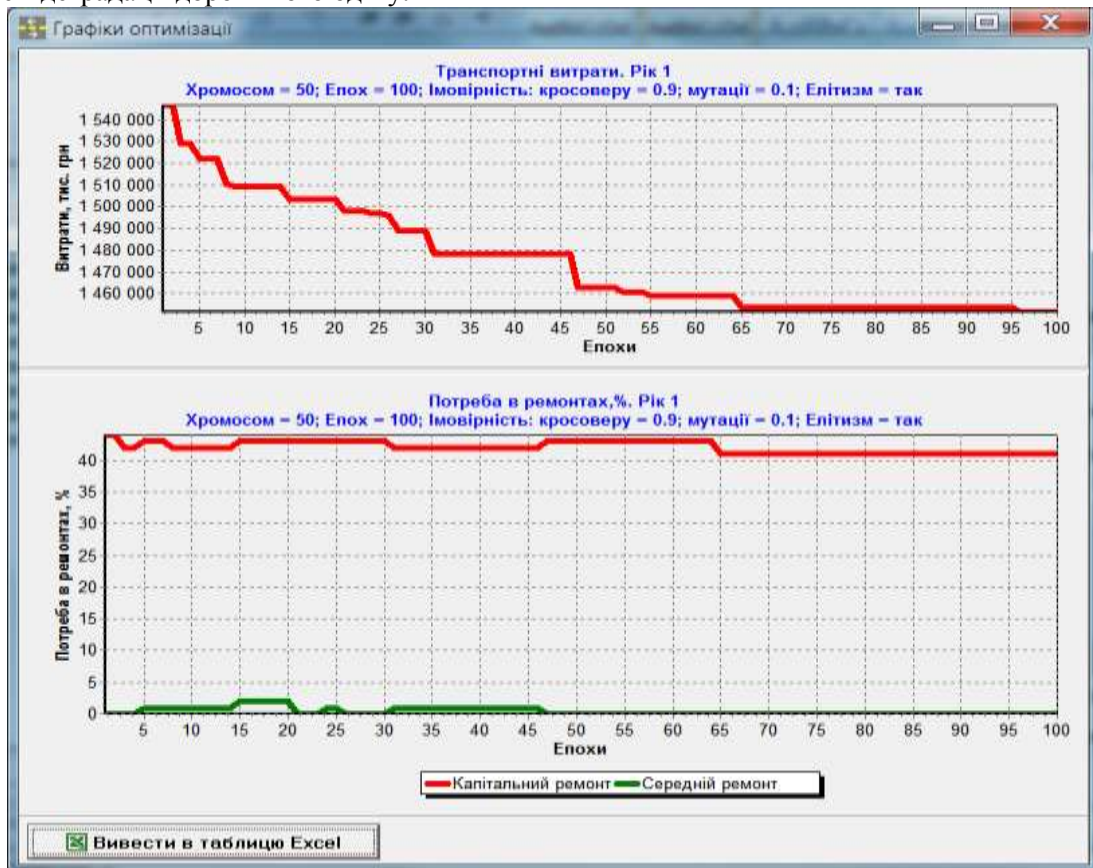


Рис 3. Процес оптимізації за допомогою ГА

Отримані результати моделювання вводяться в ту ж саму вихідну таблицю Microsoft Excel (рис. 4).

**ЗВЕДЕННЯ ВИТРАТ ПО РОКАХ ПЛАНОВОГО ПЕРІОДУ**

D:\prog\GA.5\GA\Templates\Data-50-10-years-.xlsx  
Хромосом = 50; Епох = 100; Імовірність: кросоверу = 0.9; мутації = 0.1; Елітизм: так

Рік	КР	ПСР	ПДР+У	Дорожні	Трансп.	Дор.+Тран.	% КР	% ПСР	Бюдж.КР	Зал.КР	Бюдж.СР	Зал.СР
0							54	67				
1	49 054	38 280	10 712	98 046	1 383 188	1 481 234	48	8	50 000	946	50 000	11 720
2	48 533	31 877	5 856	86 266	1 359 040	1 445 306	40	0	50 000	1 467	50 000	18 123
3	49 465	15 179	4 504	69 148	1 314 383	1 383 531	33	0	50 000	535	50 000	34 821
4	49 516	10 337	4 131	63 984	1 310 955	1 374 939	28	0	50 000	484	50 000	39 663
5	49 301	17 965	3 649	70 915	1 324 414	1 395 329	24	0	50 000	699	50 000	32 035
6	48 860	20 519	3 209	72 588	1 352 697	1 425 285	17	0	50 000	1 140	50 000	29 481
7	49 392	24 845	2 599	76 836	1 390 494	1 467 330	11	0	50 000	608	50 000	25 155
8	48 846	23 135	2 352	74 333	1 431 731	1 506 064	3	0	50 000	1 154	50 000	26 865
9	12 548	31 044	2 843	46 435	1 487 907	1 534 342	4	0	50 000	37 452	50 000	18 956
10	17 808	41 172	3 173	62 153	1 533 462	1 595 615	2	3	50 000	32 192	50 000	8 828
<b>Всього</b>	<b>423 323</b>	<b>254 353</b>	<b>43 028</b>	<b>720 704</b>	<b>13 888 271</b>	<b>14 608 975</b>						

Рис. 4. Таблиця витрат по роках планового періоду

Як видно, за десять років, відведених на виконання програми робіт з відновлення стану дорожнього одягу, потреба в капітальному ремонті знижується з 54% до 2%, а в поточному середньому ремонті з 67% до 3%.

По кожній секції дороги у таблицю Microsoft Excel виводяться дані про стан і види та вартість ремонтів і величину транспортних витрат (рис. 5). Ці дані формують річні програми робіт.

Розроблена комп'ютерна програма дозволяє в інтерактивному режимі підібрати щорічні бюджети багаторічної програми робіт. Змінюючи бюджетні обмеження, можна побудувати залежність, наведену на рис. 6. Вона показує наявність певного бюджету, при якому величина транспортних витрат стабілізується на певному рівні.

**ПОТОЧНИЙ СТАН ДОРІГ**

C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx  
Популяція 50 Епох 100 Елітизм так Зупинка при співпадінні  
кросоверу 0.9 мутації 0.1 5 епох

Рік	Код	Початок, м	Кінець, м	Кзм	Рівність, см/км	Ткр	Витрати, тис.грн			Вид ремонту		
							капремонт	пот.середній	пот.доби.		транспортні	Разом
0	M-12	210 000	211 000	0.795	109	0	0	0	5 528	5 528		
1				0.784	144	0	0	0	206	5 957	6 163	ДР
2				0.772	189	0	0	0	245	6 659	6 904	ДР
3				0.761	248	0	0	0	291	7 572	7 863	ДР
4				<b>1.060</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>4 495</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5 298</b>	<b>9 793</b>	<b>КР</b>
5				1.049	55	0	0	0	17	5 523	5 540	ДР
6				1.037	65	0	0	0	20	5 802	5 822	ДР
7				1.026	75	0	0	0	24	6 122	6 146	ДР
8				1.014	85	0	0	0	28	6 424	6 452	ДР
9				1.003	95	0	0	0	34	6 771	6 805	ДР
10				0.992	105	0	0	0	40	7 100	7 140	ДР

Рис 5. Фрагмент таблиці програми робіт дороги М-12, секція км 210+ 000 – км 211+000

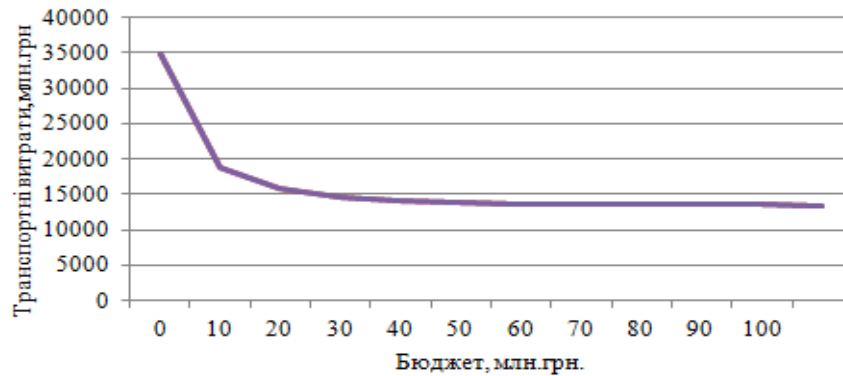


Рис 6. Графік зміни транспортних витрат в залежності від бюджетних обмежень

### Висновки

Проблема оптимізації програми дорожньо-ремонтних робіт, в умовах обмеженого фінансування, особливо загострилася в умовах фінансової кризи. За допомогою комп'ютерної програми можливо обґрунтувати довгострокову стратегію відновлення стану дорожнього одягу з мінімальними дорожньо-транспортними витратами.

Комп'ютерна програма є новим модулем, який доцільно використовувати в СУСП.

1. 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 університета. Випуск № 44 / 2009. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/prognostication-of-the-development-of-highways-network-at-different-levels-of-financing>
2. Руководство к своду знаний по управлению проектами (*Руководство РМВОК®*)—Четвертое издание, 2008. – 496 с.
3. 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
4. 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.
5. 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.
6. Fwa TF, Sinha KC and Reversion JDN Highway Routine Maintenance Programming at Networking Level / Journal of Transportation Engineering. ASCE 1988;114 (5):539-54.
7. 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.
8. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcoux, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.
9. 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.
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.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2014.