

УДК 004.942:625.7/8

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225532

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Харченко А. М., Завійський О. І., Цибульський В. М., Заворотний С. М.

Об'єктом дослідження є процеси управління вартістю, тривалістю та якістю в довгострокових контрактах з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Представлена робота ґрунтується на використанні теорії управління проектами. Головною гіпотезою дослідження є застосування методів оптимізації параметрів довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Розглянуті особливості, переваги та проблемні питання щодо використання довгострокових контрактів, заснованих на показниках якості, у дорожньому господарстві. Проаналізовано світовий досвід впровадження довгострокового утримання автомобільних доріг. Визначено основні підходи до оптимізації параметрів та розроблено математичну модель управління процесами вартості, тривалості та якості в довгострокових контрактах. На основі моделі розроблено два методи математичного вирішення задачі оптимізації запропонованих параметрів. Виконано математичний експеримент на основі прикладу проекту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості, результати якого показали, що адаптивна здатність проектів за другим методом менш гнучка в порівнянні з першим. Проте за другим методом було досягнуто кращих показників щодо мінімізації часових параметрів з середнім квадратичним відхиленням у 5%. Оптимізація параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг має мультиплікативний ефект, який виражається у зменшенні адміністративних витрат замовника, зменшенні відповідальності дорожніх служб. А також створенні передумов до стабільного фінансування дорожніх робіт, задоволеності користувачів доріг, створенні міцних партнерських відносин між замовником та підрядником. Результати розрахунків мають практичну цінність та можуть слугувати інструментом прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо визначення основних параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг, заснованих на якості.

Ключові слова: методи оптимізації, параметри довгострокового контракту, експлуатаційне утримання, фінансування дорожніх робіт.

1. Вступ

У сучасній світовій практиці використовується велике різноманіття підходів до експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Найбільш поширеним є утримання за традиційним контрактом (за видами робіт), в якому

оплата здійснюється за виконаний обсяг робіт. Багатьма дослідженнями доведено, що складність формування контрактів викликана неефективністю традиційних методів. Це призвело до бурхливого розвитку нових типів і моделей контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг у світі.

Автор роботи [1] вказує на недолік таких систем, в яких замовник повністю відповідає за ризики проектів, в тому числі, що пов'язані з впровадженням нових технологій та матеріалів. Таким чином, як державні, так і приватні організації утримують велику кількість додаткового персоналу, який здійснює функції моніторингу щодо ризиків контрактів з утримання доріг.

В США Американською асоціацією інженерів-будівельників (American Association of Civil Engineers (ASCE)) опубліковано звіт проведеного дослідження дорожньої інфраструктури, в якому американські дослідники виразили свій критичний погляд на існуючі типи та моделі довгострокових контрактів [1].

Основними проблемами, які викликали таку негативну реакцію дослідників, були:

- неможливість підрядниками використовувати сучасні нововведення та інновації;
- постійні зростаючі витрати на утримання доріг;
- значна відповідальність покладена на дорожні агентства, у той час як підрядники не несуть відповідальності та не надають жодних гарантій щодо стану доріг під час утримання, тобто з'являється ризик недосягнення необхідного експлуатаційного стану.

Вирішенням вище перерахованих проблем згідно світового досвіду можуть слугувати так звані довгострокові контракти, що засновані на кінцевих показниках якості, які необхідно у свою чергу оптимізувати за параметрами часу, тривалості та вартості для їх ефективної реалізації, наприклад, в Україні.

Об'єктом дослідження є процеси управління вартістю, тривалістю та якістю в довгострокових контрактах з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Метою дослідження є розробка методів оптимізації параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг.

2. Методика проведення дослідження

Довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках (ДККП) – це угода (контракт) між державним дорожнім агентством та підрядною організацією. На базі ДККП підрядна організація забезпечує утримання автомобільних доріг на відповідному рівні в термін, що визначено в контракті. Державне дорожнє агентство за контрактом зобов'язується вчасно здійснювати оплату за умови дотримання показників якості. Згідно досліджень [2] до даних показників відносять: міцність дорожнього покриття, управління придорожньою територією, безпеку дорожнього руху та інші.

Автор публікації [3] зазначає, що в традиційних контрактах з утримання автомобільних доріг підрядна організація несе відповідальність за роботи, які визначені замовником і отримує виплати за виконання одиничних (локальних робіт). В [4] відзначено, що еволюційним у використанні довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, є перехід відповідальності за

визначення матеріалів, технологій та методів виконання робіт, які повинні відповідати показникам якості, з дорожніх агентств на підрядні організації.

Ідеологом у використанні довгострокових контрактів у світовій практиці вважається автор роботи [5]. В Україні цей напрямок одними з перших почав досліджувати науковий колектив кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету (НТУ, Київ, Україна) [6]. Дослідниками було виконано ряд наукових робіт, розроблено низку нормативних документів та запропоновано відповідні програмні рішення [7].

У [7] відзначено складність впровадження ДККП та необхідність створення сучасної інформаційно-аналітичної системи для управління довгостроковими контрактами, заснованими на кінцевих показниках для експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Особливістю ДККП є умови оплати за послуги, які повинні залежати від досягнення показників якості, обумовлених в контракті, а саме те, що виконавець робіт (підрядник), отримує оплату не за обсяг виконаних робіт, а за досягнення даних показників [8]. Відповідно до досвіду різних країн світу, в контракті можуть бути передбачені гарантії його виконання в обсязі повної вартості контракту. Таким чином виконавці робіт несуть відповідальність як у період реалізації контракту, так і після. Тому будь-які дефекти, які можуть виникнути після закінчення контракту, повинні бути усунені підрядною організацією, яка утримувала ділянку дороги за контрактом.

Перші кроки з впровадження ДККП в Україні почались у 2005 році. В цей період за кошти Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор) виконало ретельний аналіз автомобільно-дорожнього сектору та підготувало «План реформування системи управління мережею автомобільних доріг» [9]. Розроблений план передбачав впровадження довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках для експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Так, відповідно другої кредитної угоди «Ремонт автомобільної дороги Київ – Чоп», яка була укладена між Україною та ЄБРР, після виконання ремонтних робіт реалізується пілотний проєкт ДККП на ділянці автомобільної дороги М-06 Київ–Чоп [10] (рис. 1).

Враховуючи світовий досвід використання довгострокових контрактів для утримання автомобільних доріг, розробники контракту врахували такі особливості ДККП, як:

- виконання фінансових виплат за процес управління та утримання автомобільних доріг;
- визначення рівнів обслуговування (показники якості);
- виконання повного обсягу виплат за досягнення рівнів обслуговування;
- використання системи штрафів з метою досягнення рівнів обслуговування та стимулювання якості робіт;
- невтручання в процес вибору матеріалів та технологій виконання робіт замовника (рис. 2).



Рис. 1. Схема розташування ділянки дороги М-06 Київ–Чоп, яка утримується за першим пілотним контрактом в Україні

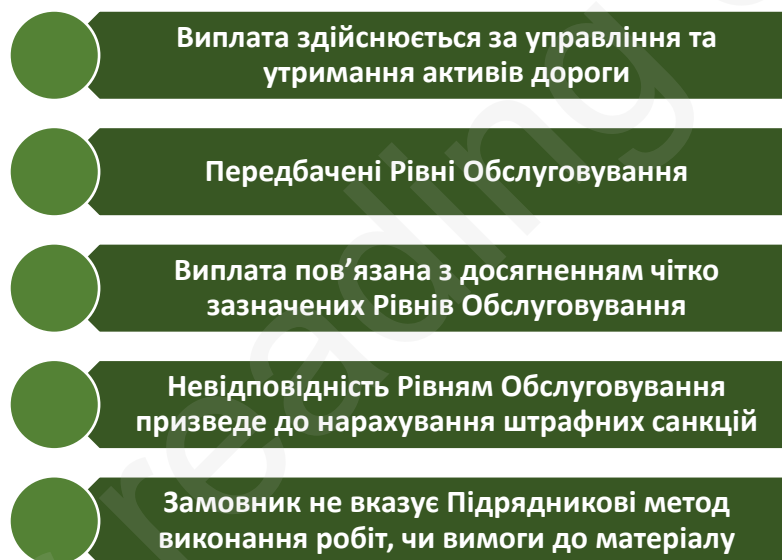


Рис. 2. Особливості реалізації першого пілотного контракту в дорожній галузі України

Як відомо, основною особливістю довгострокових контрактів для експлуатаційного утримання автомобільних доріг є використання поняття рівнів обслуговування. Рівні обслуговування – це показники стану елементів автомобільної дороги. Підрядна організація отримує плату за досягнення саме цих рівнів обслуговування, а не за обсяг робіт, на відміну від традиційних контрактів.

Відповідно до укладеного контракту за даними [11] були передбачені такі роботи:

- усунення існуючих дефектів та приведення дороги в стан, при якому її можна буде утримувати заходами з поточного утримання та періодичного ремонту (рис. 3);

- влаштування системи освітлення;
- встановлення метеостанцій;

- влаштування пунктів вагового контролю;
- експлуатаційне утримання на основі ДККП;
- зимове експлуатаційне утримання на основі ДККП;
- періодичний ремонт;
- аварійні роботи.



a

б

Рис. 3. Приклад покращення стану ділянки автомобільної дороги М-06 Київ–Чоп км 434+230 – км 621+500: *a* – до; *б* – після

На основі виконаної роботи та процесу реалізації пілотного ДККП в Україні відзначено такі особливості:

- дані контракти потребують довготривалого фінансування, що не було можливо до створення Дорожнього фонду;
- ДККП вимагають вдосконалення нормативно-правової бази, для уникнення конфліктних ситуацій під час реалізації контрактів;
- необхідність розвитку конкурентно спроможного ринку послуг експлуатаційного утримання автомобільних доріг [9].

На рис. 4 наведено дві моделі утримання автомобільних доріг. Відповідно до рис. 4 можна помітити, що при використанні класичного підходу до утримання автомобільних доріг значно погіршується їх стан перед виконанням реконструкції, що вимагає великої кількості як трудових, так і фінансових ресурсів.

Найбільшими викликами щодо реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг є підбір раціональних параметрів, виходячи з впливу різного роду факторів, іншими словами – здійснення оптимізації параметрів ДККП. В [12] розглянуто основні фактори, які найбільше впливають на контракти ДККП, виходячи зі світового досвіду. В основу оптимізації параметрів контрактів ДККП покладено три фактори – час, вартість та якість. Процес взаємозв'язку в самих параметрах описується функцією:

$$F = \{X, Y, Z\}, \quad (1)$$

де X – оптимізоване значення часу (T); Y – оптимізоване значення вартості (C); Z – оптимізоване значення якості (Q).

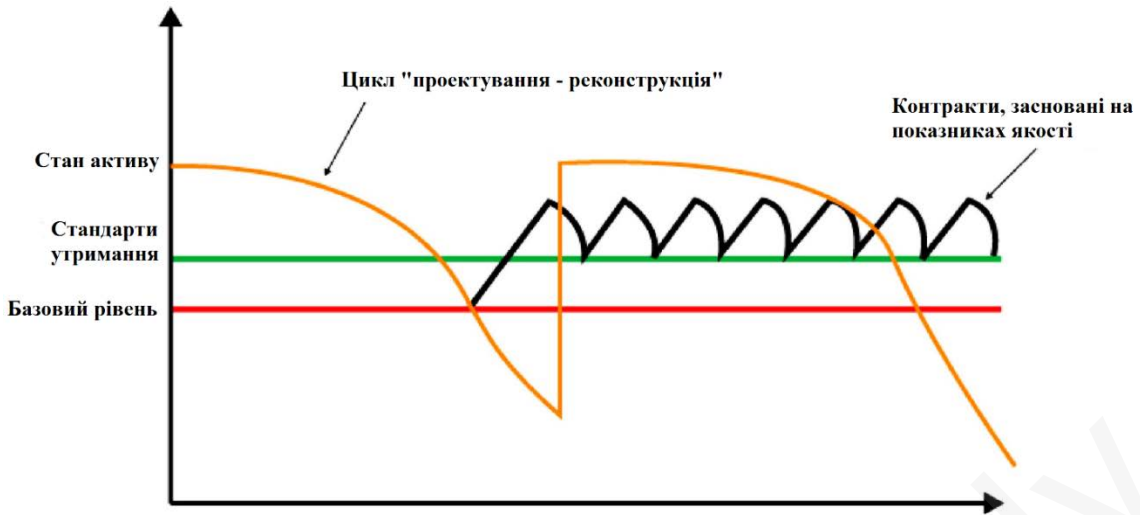


Рис. 4. Стан активів за традиційним контрактом та контрактом на основі кінцевих показників [2]

Цільову функцію, що визначає час, можна виразити за допомогою формули:

$$\text{Min } T = \max_{L_p \in L} \sum_{i \in L_p} \sum_{j=1}^{M_j} d_{ij} x_{ij}, \quad (2)$$

де d_{ij} – тривалість i -тої роботи при виконанні j -го варіанту; x_{ij} – індексна змінна активності i -тої роботи при виконанні j -го варіанту. Якщо $x_{ij}=1$, тоді діяльність i виконує j варіант, якщо $x_{ij}=0$ – діяльність i виконується. L – це набір усіх можливих шляхів мережі $\{1, 2, \dots, p\}$; L_p – послідовність дій на p -му шляху; m_i – номер варіанту підряду для діяльності i , для $i=1, \dots, N$.

Вартість проєктів складається з прямих (всі витрати в рамках проєкту) та непрямих витрат (витрати під час реалізації проєкту).

Цільову функцію, що відображає загальну вартість проєкту, можна виразити за допомогою формули:

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_j} c_{ij} + ICx T, \quad (3)$$

де c_{ij} – вартість i -тої роботи j -го варіанту; IC – непрямі витрати робіт, що приходяться на один день.

Визначення кількісної оцінки якості є дуже складною задачею. Деякі показники якості були визначені в роботі [12].

Цільова функція, що виражає якість проєкту, може бути виражена за допомогою формули:

$$\text{Max } Q = \sum_{i=1}^N w t_i \sum_{l=1}^L w t_{i,l} g_{i,j,l} x_{ij}, \quad (4)$$

де $q_{i,j,l}$ – показник якості роботи l в роботі i , використовуючи j -ий варіант використання ресурсів; $w_{ti,l}$ – кількісне значення показника якості (l) порівняно з іншими показниками в роботі i ; w_{ti} – значення роботи порівняно з іншими видами робіт проєкту.

Для виконання багатоцільової оптимізації можна скористатися одним з методів [12].

Метод № 1. Оптимізація за першим методом має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \\ = & \left[W_t \cdot \left[\frac{T - T_{\min} + \gamma}{T_{\max} - T_{\min} + \gamma} \right] + W_c \cdot \left[\frac{C - C_{\min} + \gamma}{C_{\max} - C_{\min} + \gamma} \right] + W_q \cdot \left[\frac{Q_{\max} - Q + \gamma}{Q_{\max} - Q_{\min} + \gamma} \right] \right], \end{aligned} \quad (5)$$

де W_t , W_c та W_q – адаптивні значення часу, вартості та якості.

Адаптивні значення часу, вартості, якості визначаються за формулами:

$$W_t = \frac{V_t}{V}; \quad (6)$$

$$W_c = \frac{V_c}{V}; \quad (7)$$

$$W_q = \frac{V_q}{V}; \quad (8)$$

де V_t , V_c та V_q – критерії часу, вартості та якості.

Критерій часу визначаються за формулами:

$$V_t = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}; \quad (9)$$

$$V_c = \frac{C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}; \quad (10)$$

$$V_q = \frac{Q_{\max}}{Q_{\max} - Q_{\min}}; \quad (11)$$

де T_{\min} , C_{\min} , Q_{\min} , T_{\max} , C_{\max} та Q_{\max} – це мінімальне та максимальне значення часу, вартості та якості.

Сукупний критерій V визначається за формулою:

$$V = V_t + V_c + V_q, \quad (12)$$

де T , C та Q – цільове значення часу, вартості та якості у відповідній послідовності рішення.

Метод № 2. Цільова функція за другим методом має вигляд:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } U = & \\
 = & \left[W_t \cdot \left[\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right]^2 + W_c \cdot \left[\frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \right]^2 + W_q \cdot \left[\frac{Q_{\max} - Q}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right]^2 \right]^{1/2}, \quad (13)
 \end{aligned}$$

де W_t , W_c та W_q – адаптивні значення часу, вартості та якості.

Адаптивні значення параметрів визначаються за формулами (6)–(8).

3. Результати дослідження та обговорення

На основі запропонованих методів оптимізації параметрів було виконано математичний експеримент на основі прикладу проекту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості.

На рис. 5–7 показано середнє значення показників часу, вартості та якості згідно розрахунків за запропонованими методами.

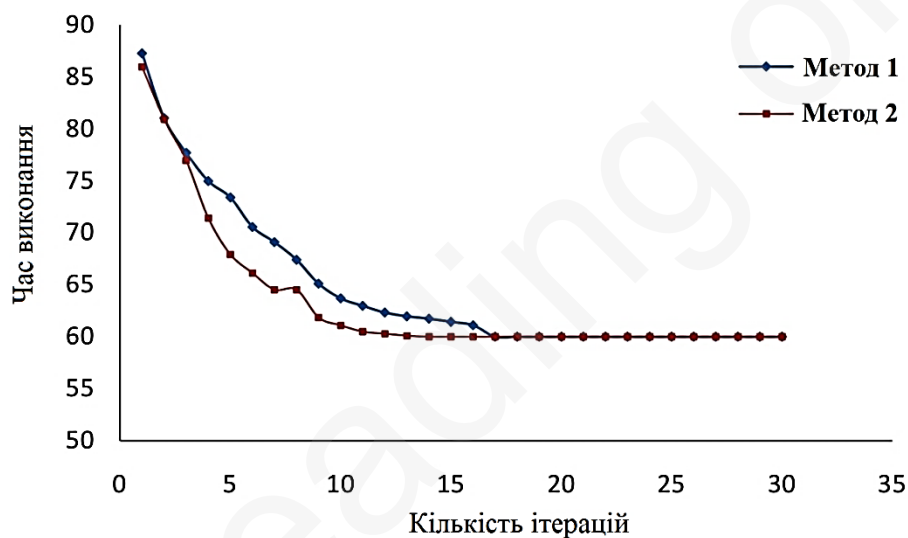


Рис. 5. Середнє значення тривалості контракту

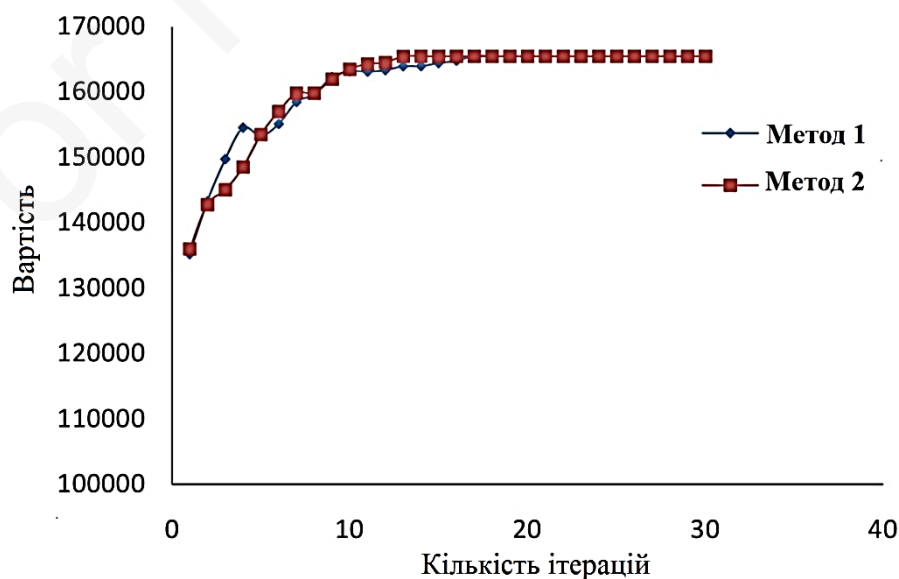


Рис. 6. Середнє значення вартості контракту

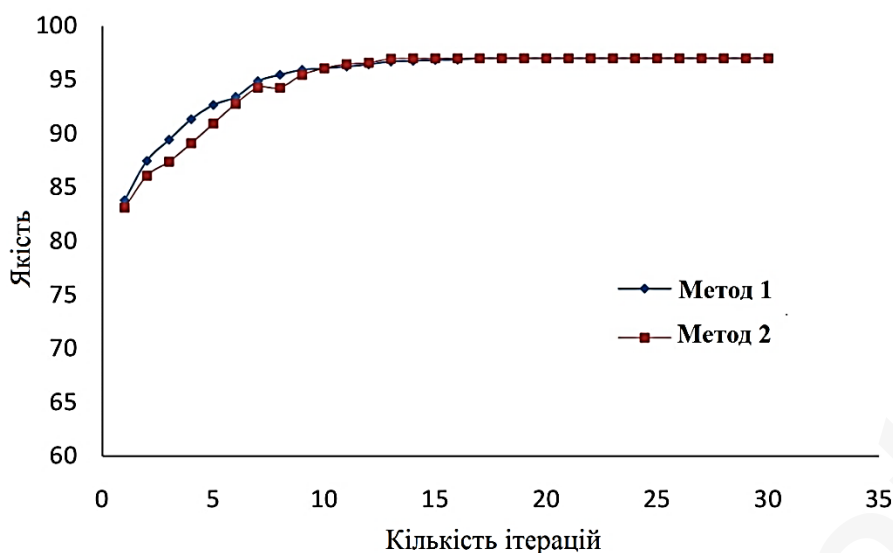


Рис. 7. Середні значення якості контракту

Відповідно до рис. 5–7, математичний експеримент за методом № 2 показує досягнення кращих показників щодо мінімізації часових параметрів порівняно з методом № 1 з середнім квадратичним відхиленням у 5 %. Середня оптимізована вартість для обох методів порівняно рівнозначна. Проте, слід зазначити, що адаптивна здатність проєктів ДККП за методом № 2 менш гнучка в порівнянні з першим.

4. Висновки

Проведено математичний експеримент на основі прикладу проєкту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості. Було порівняно результати розрахунків за двома методами, що вказали на високу адаптивну здатність проєктів за першим методом. У свою чергу, за другим методом можливо досягнути кращих показників мінімізації часових параметрів з відхиленням у 5 %. Модель перевірена на адекватність з розрахунковою похибкою алгоритму біля 3 %.

Обґрунтовані параметри довгострокових контрактів, що засновані на кінцевих показниках, методами багатоцільових задач оптимізації слугуватимуть підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень, що має мультиплікативний ефект та призводить до:

- зменшення адміністративних витрат (за рахунок оптимізації дорожньо-ремонтних робіт);
- зменшення відповідальності дорожніх служб (за рахунок перекладання ряду завдань, які раніше виконувала дорожня служба, на підрядника);
- створення передумов для стабільного фінансування (за рахунок укладання контракту на значний термін, що дає змогу виконувати більш точне планування витрат);
- задоволеності користувачів якістю доріг (за рахунок заздалегідь визначених оптимізованих показників якості, які зазначені в контракті та мають виконуватися підрядником протягом дії контракту, дотримання цих показників напряду впливає на прибуток підрядника, так як їх недотримання контролюється системою штрафів);
- створення міцних партнерських відносин між замовником та підрядником (за рахунок попередньо визначених зобов'язань сторін та стимулювання роботи підрядника за якісне виконання та перевиконання планів).

Результати даного дослідження можуть бути реалізовані при впровадженні довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг в країнах з обмеженим фінансуванням дорожнього господарства.

Література

1. Hancher, D. E. (1999). Contracting Methods for Highway Construction. *Transportation Research Board. TR News*, 205, 10–14.
2. Mulmi, A. D. (2016). Assessment of Performance Based Road Maintenance Practices in Nepal. *Open Journal of Civil Engineering*, 6 (2), 225–241. doi: <http://doi.org/10.4236/ojce.2016.62021>
3. Radović, N., Mirković, K., Šešlija, M., Peško, I. (2014). Output and Performance Based Road Maintenance Contracting – Case Study Serbia. *Tehnički vjesnik*, 21 (3), 681–688.
4. Singh, P., Oh, J. E., Labi, S., Sinha, K. C. (2007). Cost-Effectiveness Evaluation of Warranty Pavement Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (3), 217–224. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2007\)133:3\(217\)](http://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:3(217))
5. Zietlow, G. (2007). *Cutting Costs and Improving Quality through Performance-Based Road Management and Maintenance Contracts – The Latin American and OECD Experiences*. Birmingham (UK): University of Birmingham (UK) Senior Road Executives Programme Restructuring Road Management Birmingham.
6. Канін, О. П., Соколова, Н. М., Харченко, А. М., Шпиг, А. Ю., Маковська, Ю. А., Шкарівська, Н. Ю. (2014). *МР В.3.2-02070915-844:2014 «Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування»*. Київ: Укравтодор, 51.
7. Канін, О. П. (2015). Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 94, 112–123. Available at: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/94/112-123.pdf
8. Харченко, А. М., Канін, О. П., Соколова, Н. М. (2013). Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі. *Вісник Національного транспортного університету*, 28, 496–504.
9. *Впровадження контрактів на основі кінцевих результатів в Україні. Досвід та перспективи розвитку* (2019). Available at: <https://nadu.com.ua/vprovadzheniya-kontraktiv-na-osnovi-kinczevih-rezultatuv-v-ukra%D1%97ni-dosvid-ta-perspektivi-rozvitku/>
10. *Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР)* (2016). Available at: https://ukravtodor.gov.ua/4489/mizhнародne_spivrobotnytstvo_ta_investysii/yebrr/yevrop_eiskyi_bank_rekonstruksii_ta_rozvytku_yebrr.html
11. *Спільні з міжнародними фінансовими організаціями проекти в дорожній галузі*. Available at: <https://mtu.gov.ua/files/Спільні%20з%20міжнародними%20фінансовими%20організаціями%20проекти%20в%20дорожній%20галузі.pdf>
12. Anderson, A., Russell, J. (2001). *Guidelines for warranty, multi-parameter and best value contracting*. NCHRP Report No. 451, National Cooperative Highway Research Program. Washington.