

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЗАВОРОТНИЙ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 004.942:625:7/8

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ВАРТІСТЮ ТА ТРИВАЛІСТЮ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

05.13.22 – управління проектами і програмами

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С.М. Заворотний

Науковий керівник –
Харченко Анна Миколаївна
кандидат технічних наук,
доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01
_____ О. І. Мельниченко

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Заворотний С.М. Модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.22 «Управління проектами і програмами». – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі розглянуто процеси управління вартістю, якістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Відповідно до цього була визначена складність процесу управління довгостроковими контрактами з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Запропонована математична функція, яка обумовлює побудову факторіальної моделі для опису взаємозв'язку часу, вартості та якості. Було розглянуто складові функції окремо один від одного та отримано такі фактори для часу, як тривалість виконання основних (запланованих) робіт, тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт, особливості кліматичних та ґрунтово-геологічні умови, швидкість роботи робочого персоналу та тривалість затримок. Для впливу на складову вартості було визначено фактори, такі як вартість матеріально-технічного забезпечення, обсяг робіт, вартість виконання робіт, рівень складності виконання робіт, штрафи та стимулюючі виплати, інфляція, якість фінансування контракту на різних етапах його виконання. Визначено, що на якість здійснюють вплив – державні вимоги до якості виконання робіт, споживчі вимоги та потреби, міжнародні вимоги та норми.

За результатами дослідження впливу факторів було побудовано факторіальну модель управління вартістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, яка базується на основних положеннях теорії «срібного трикутника». Використано підходи множинної оптимізації до складових «срібного трикутника» проектів

експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Таким чином, удосконалено модель обґрунтування вартості та тривалості на стадії ініціації проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, яка на відміну від попередніх – заснована на завданому передпроектному рівні якісних показників.

Розроблена модель оптимізації часу, вартості та якості проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг на основі розподілу ресурсів для їх реалізації базується на теорії графів з використанням генетичних алгоритмів. Розроблена принципова схема роботи генетичного алгоритму, яка складається з таких етапів (блоків): постановка задачі, створення початкової популяції, розрахунок або оцінка пристосованості популяції, селекція, схрещення (кросовер), мутація, створення нової популяції, перевірка нової популяції, вибір остаточної оптимальної відповіді.

Запропоновано методичний підхід до забезпечення процесів формування оптимального складу параметрів моделі.

За рахунок введення додаткових параметрів та коефіцієнтів відкалібровано запропоновану модель управління вартістю, якістю та тривалістю проектів автомобільних доріг. Побудовано граф моделі та виконано повторну оптимізацію проекту. Розроблено алгоритм застосування моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності, який перевірено на адекватність з розрахунковою похибкою біля 3%, що дає можливість стверджувати про ефективність розробленої моделі для вирішення задач управління проектами з експлуатаційного утримання.

Виконано математичний експеримент на основі прикладу проекту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості, результати якого показали, що оптимізація параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг має мультиплікативний ефект, який виражається у зменшенні адміністративних

витрат замовника, зменшенні відповідальності дорожніх служб, створенні передумов до стабільного фінансування дорожніх робіт, задоволеності користувачів доріг, створенні міцних партнерських відносин між замовником та підрядником.

Розроблено практичні рекомендації для удосконалення програмного забезпечення реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Результати досліджень стали основою для розробки державних стандартів.

Ключові слова: управління вартістю та тривалістю, проект експлуатаційного утримання, довгострокові контракти, кінцеві показники, модель управління, срібний трикутник, генетичний алгоритм

Список публікацій здобувача

Статті у виданнях іноземних держав, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kanin A.P., Kharchenko A.N., Sokolova N.M., Sphyh A.U., Zavorotnyi S.M. Modern approaches to road maintenance on performance long-term contracts based on the operating condition principle. *International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies"*. Vol. 152, No. 14, November. 2020. P. 12-22. URL: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit14-03-062>.

Статті у фахових виданнях:

2. Заворотний С.М., Харченко А.М. Оптимізація відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2016. Вип. 18. С. 54-61. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2016_18_tech/054.pdf

3. Заворотний С.М. Основні проблемні питання та особливості використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016.

- Вип. 96. С. 111-120. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/96/111-120.pdf
4. Харченко А.М., Заворотний С.М. Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 97. С. 124-135. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/124-135.pdf
5. Заворотний С.М. Моніторинг показників якості довгострокових контрактів на утримання автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 98. С. 61-68. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/061-068.pdf
6. Заворотний С.М., Харченко А.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2017. Вип. 101. С. 57-67. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/101/057-067.pdf
7. Заворотний С.М., Харченко А.М. Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2017. Вип. 20. С. 41-49.
8. Заворотний С.М. Algorithm justification of dependence "time-cost-quality" into long-term contracts with maintenance of roads. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 87-96.
9. Заворотний С.М., Харченко А.М. Genetic algorithm as optimization method relationship "time - cost" to implement performance based road maintenance contracts. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 31-38. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/31.pdf
- Опубліковані праці апробаційного характеру:**
10. Заворотний С.М. Довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках. *VI Міжнародна науково-практична конференція магістрів*,

аспірантів та науковців «Управління проектами: Інновації, Нелінійність, Синергетика»: матеріали конференції. Одеса, 2015. С. 69-70.

11. Харченко А.М., Заворотний С.М. Основні положення використання довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках в дорожній галузі. *LXXII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2016. С. 161.

12. Заворотний С.М., Мелешук Т.П. Управління проектами та програмами в умовах невизначеності. *XIII Міжнародна конференція «Управління проектами у розвитку суспільства»*: тези доповідей. К.: КНУБА, 2016. С. 108-111.

13. Заворотний С.М. Проблеми оптимізації відношення час-гроші для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *LXXIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2017. С. 173.

14. Заворотний С.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2018. С. 190.

15. Харченко А.М., Заворотний С.М. Аналіз особливостей взаємозв'язку часу, вартості та якості реалізації контрактів з метою створення математичної оптимізаційної моделі. *XII Міжнародна наукова конференція. Наука та освіта. Секція: проблем економіки і управління*. Київ, 2018. С. 84-85.

16. Заворотний С.М. Особливості та методи оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих

показниках. Підсумкова науково - практична конференція «Сучасні тренди підготовки фахівців з управління проектами та програмами»: матеріали конференції. Луцьк, 2018. С. 60-64.

17. Заворотний С.М. Інноваційна модельна основі розподілу ресурсів, як метод оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг. *V міжнародна науково-практична конференція «Економічний розвиток: теорія, методологія, управління»:* збірник наукових праць та тез наукових доповідей. Прага, 2018. С. 184-187.

18. Заворотний С.М.. Модель оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг України в умовах невизначеності *LXXV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету, присвячена 75-річчю з дня заснування університету:* тези доповідей. К.: НТУ, 2019. С. 157-158.

19. Харченко А.М., Заворотний С.М. Оптимізація часу, вартості та якості в довгострокових контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування. *LXXVI Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету:* тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 190.

20. Заворотний С.М. Аналіз сучасного досвіду визначення загальної вартості контрактів для успішної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *I Міжнародна науково-практична конференція «Наука. Інновації. Якість» (SIQ) в онлайн-режимі:* збірник матеріалів. Бердянськ, 2020. С. 144-145.

21. Заворотний С.М., Харченко А.М. Сучасні методи оптимізації відношення «час-вартість-якість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *XII всеукраїнська заочна науково – практична конференція «Освіта і наука в Україні: шляхи розвитку та напрямки взаємодії».* Харків, 2020. С. 3-11.

Свідоцтва та патенти:

1. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102073. Україна. Літературний письмовий твір науково го характеру «Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

2. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102074. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Genetic algorithm as optimization method relationship «time - cost» to implement performance based road maintenance contracts» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

3. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102213. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Оптимізація відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 01.02.2021 р.

ABSTRACT

Zavorotny S. Model of cost and duration management of road projects in conditions of uncertainty. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for condidate of technical sciences degree in specialty 05.13.22 «Project and Programme Management». – National Transport University, Kyiv, 2021.

In dissertation works processes of management of cost, quality and duration of projects of operational maintenance of highways are considered. Accordingly, the complexity of the process of managing long-term contracts for the maintenance of roads was determined. A mathematical function is proposed, which determines the construction of a factorial model to describe the relationship between time, cost and quality. The components of the functions were considered separately from each other

and factors such as the duration of the main (planned) work, the duration of unplanned and ancillary work, the peculiarity of climatic and soil-geological conditions, the speed of staff and the duration of delays were obtained. Factors such as the cost of logistics, the amount of work, the cost of work, the level of complexity of work, fines and incentive payments, inflation, the quality of contract financing at different stages of its implementation were identified to influence the cost component. It is determined that the quality is influenced by state requirements for the quality of work, consumer requirements and needs, international requirements and norms.

To better understand the process of time, cost and quality management, a factorial model of cost and duration management of road maintenance projects was built to implement long-term contracts based on final indicators, based on the basic principles of the "silver triangle" theory. Multiple optimization approaches to the components of the "silver triangle" of road maintenance projects are used. Thus, the model of substantiation of cost and duration at the stage of initiating projects for maintenance of roads for the implementation of long-term contracts based on final indicators, which in contrast to the previous ones is based on the pre-project level of quality indicators.

The developed model of optimization of time, cost and quality of projects on operational maintenance of highways on the basis of distribution of resources for their realization is based on the theory of graphs with use of genetic algorithms. The basic scheme of operation of the genetic algorithm is developed, which consists of the following stages (blocks): problem statement, creation of initial population, calculation or estimation of population suitability, selection, crossing (crossover), mutation, creation of new population, check of new population, choice of final optimal answer .

A methodical approach to ensuring the processes of forming the optimal composition of the model parameters is proposed.

Due to the introduction of additional parameters and coefficients, the proposed model of cost management, quality and duration of road projects is calibrated. The

model graph is constructed and the project is re-optimized. An algorithm for applying the model of cost and duration of road projects in conditions of uncertainty, which is tested for adequacy with an estimated error of about 3%, which allows to assert the effectiveness of the developed model to solve problems of project management for maintenance.

A mathematical experiment based on the example of the project of long-term maintenance of roads on the final quality indicators, the results of which showed that the optimization of long-term contracts for maintenance of roads has a multiplier effect, which is expressed in reducing customer administrative costs, reducing road transport responsibilities. stable financing of road works, satisfaction of road users, creation of strong partnership relations between the customer and the contractor.

Practical recommendations for improving the software for the implementation of long-term contracts for the maintenance of roads have been developed. The research results became the basis for the development of state standards.

Keywords: cost and duration management, maintenance project, long-term contracts, final indicators, management model, silver triangle, genetic algorithm.

List of applicant's publications

Articles in foreign publications that are included in international scientometric databases:

1. Kanin A.P., Kharchenko A.N., Sokolova N.M., Sphyh A.U., Zavorotnyi S.M. Modern approaches to road maintenance on performance long-term contracts based on the operating condition principle. *International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies"*. Vol. 152, No. 14, November. 2020. P. 12-22. URL: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit14-03-062>.

Articles in professional publications:

2. Заворотний С.М., Харченко А.М. Оптимізація відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2016.

Вип. 18. С. 54-61. URL:
http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proiect/2016_18_tech/054.pdf

3. Заворотний С.М. Основні проблемні питання та особливості використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016.

Вип. 96. С. 111-120. URL:
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/96/111-120.pdf

4. Харченко А.М., Заворотний С.М. Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 97. С. 124-135. URL:
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/124-135.pdf

5. Заворотний С.М. Моніторинг показників якості довгострокових контрактів на утримання автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 98. С. 61-68. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/061-068.pdf

6. Заворотний С.М., Харченко А.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2017. Вип. 101. С. 57-67. URL:
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/101/057-067.pdf

7. Заворотний С.М., Харченко А.М. Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2017. Вип. 20. С. 41-49.

8. Заворотний С.М. Algorithm justification of dependence "time-cost-quality" into long-term contracts with maintenance of roads. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 87-96.

9. Заворотний С.М., Харченко А.М. Genetic algorithm as optimization method relationship "time - cost" to implement performance based road maintenance

contracts. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 31-38. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/31.pdf

Published works of approbation nature:

10. Заворотний С.М. Довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках. *VI Міжнародна науково-практична конференція магістрів, аспірантів та науковців «Управління проектами: Інновації, Нелінійність, Синергетика»*: матеріали конференції. Одеса, 2015. С. 69-70.

11. Харченко А.М., Заворотний С.М. Основні положення використання довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках в дорожній галузі. *LXXII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2016. С. 161.

12. Заворотний С.М., Мелешук Т.П. Управління проектами та програмами в умовах невизначеності. *XIII Міжнародна конференція «Управління проектами у розвитку суспільства»*: тези доповідей. К.: КНУБА, 2016. С. 108-111.

13. Заворотний С.М. Проблеми оптимізації відношення час-гроші для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *LXXIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2017. С. 173.

14. Заворотний С.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2018. С. 190.

15. Харченко А.М., Заворотний С.М. Аналіз особливостей взаємозв'язку часу, вартості та якості реалізації контрактів з метою створення математичної оптимізаційної моделі. *XII Міжнародна наукова конференція. Наука та освіта. Секція: проблем економіки і управління*. Київ, 2018. С. 84-85.

16. Заворотний С.М. Особливості та методи оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *Підсумкова науково - практична конференція «Сучасні тренди підготовки фахівців з управління проектами та програмами»*: матеріали конференції. Луцьк, 2018. С. 60-64.

17. Заворотний С.М. Інноваційна модельна основі розподілу ресурсів, як метод оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг. *V міжнародна науково-практична конференція «Економічний розвиток: теорія, методологія, управління»*: збірник наукових праць та тез наукових доповідей. Прага, 2018. С. 184-187.

18. Заворотний С.М.. Модель оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг України в умовах невизначеності *LXXV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету, присвячена 75-річчю з дня заснування університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2019. С. 157-158.

19. Харченко А.М., Заворотний С.М. Оптимізація часу, вартості та якості в довгострокових контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування. *LXXVI Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 190.

20. Заворотний С.М. Аналіз сучасного досвіду визначення загальної вартості контрактів для успішної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *I Міжнародна науково-практична*

конференція «Наука. Інновації. Якість» (SIQ) в онлайн-режимі: збірник матеріалів. Бердянськ, 2020. С. 144-145.

21. Заворотний С.М., Харченко А.М. Сучасні методи оптимізації відношення «час-вартість-якість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *XII всеукраїнська заочна науково – практична конференція «Освіта і наука в Україні: шляхи розвитку та напрямки взаємодії»*. Харків, 2020. С. 3-11.

Certificates and patents:

1. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102073. Україна. Літературний письмовий твір науково го характеру «Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

2. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102074. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Genetic algorithm as optimization method relationship «time - cost» to implement performance based road maintenance contracts» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

3. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102213. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Оптимізація відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 01.02.2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	23
1.1 Види проектів та контрактів на дорожньо-ремонтні роботи: проблеми та перспективи.....	23
1.2 Аналіз підходів до управління проектами експлуатаційного утримання автомобільних доріг.....	32
1.3 Основні переваги, недоліки, проблеми обґрунтування вартості та тривалості сучасних проектів експлуатаційного утримання доріг.....	52
Висновки до розділу 1.....	66
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОШЕННЯ «ЧАС – ВАРТІСТЬ» ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ.....	69
2.1 Постановка проблеми оптимізації відношення «час-вартість».....	69
2.2 Методи оптимізації відношення «час-вартість».....	84
2.3 Побудова факторіальної моделі управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання доріг.....	93
Висновки до розділу 2.....	105
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЧАСУ, ВАРТОСІ ТА ЯКОСТІ ПРОЕКТІВ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДККП.....	107
3.1 Дослідження генетичного алгоритму, як методу оптимізації відношення «час – вартість».....	107
3.2 Побудова математичного вирішення задачі.....	117
3.3 Адаптація запропонованого методу до проектів довгострокового експлуатаційного утримання доріг.....	132
Висновки до розділу 3.....	147

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ ТА ЧАСУ	148
4.1 Підходи до удосконалення математичної моделі обґрунтування рівня обслуговування автомобільних доріг	148
4.2 Пропозиції щодо змін в програмному забезпеченні ІАСУ-ДККП	161
Висновки до розділу 4	167
ВИСНОВКИ	169
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	172
ДОДАТОК А ФРАГМЕНТ ДЕТАЛІЗОВАНОЇ ТАБЛИЦІ РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ	194
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА АВТОРСЬКІ СВДОЦТВА	200
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	207

ВСТУП

Актуальність теми. Основна мережа автомобільних доріг України була сформована 60 – і – 70-і роки минулого століття, в період найбільш активного становлення дорожньої галузі Радянського Союзу. Найвищі темпи будівництва спостерігалися в 1971-1973 роки – за цей час було збудовано 18,1 тис. км автомобільних доріг. Але, після 1986 року будівництво доріг почало скорочуватися і до кінця 1991 року темпи будівництва становили 2,45-3 тис. км за рік, а в останні роки – скоротились до 1,85 тис. км за рік.

На балансі Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодору) станом на 2020 рік перебуває мережа автомобільних доріг загального користування протяжністю 169,1 тис. км, з яких 20,1 тис. км – це дороги державного значення. Проте, слід зазначити, що забезпеченість автомобільними дорогами в Україні найнижча серед країн Європи. Також велику стурбованість викликає стан автомобільних доріг – близько 65 % працюють на межі допуску, а середня швидкість на цих дорогах не більше 32 км/год. в той час, коли в країнах Європи – 57 км/год. Дороги державного значення не відповідають сучасним вимогам технічного стану на 39,2% – за показником міцності та на 51,1% – за рівністю.

В умовах обмеженого фінансування і нестабільної економіки головна увага поступово переміщується до експлуатаційного утримання доріг. Внаслідок цього фаза експлуатаційного утримання в життєвому циклі інфраструктурного проекту починає відігравати ключову роль функціонування дорожнього господарства і має безпосередню матеріальну цінність для суспільства, як і в інших країнах Європи. З цієї позиції виникає необхідність розгляду процесів управління вартістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг в контексті теорії управління проектами.

Розвитком теоретико-методологічної бази управління проектами у свій час займалися С.Д. Бушуєв, Н.С. Бушуєва, А.О. Білощицький, В.І. Воропаєв,

О.Б. Данченко, П.Р. Левковець, Т.А. Воркут, С.В. Цюцюра, О.В. Криворучко, І.І. Кульбовський, Ю.С. Грисюк, І.В. Кононенко, В.І. Максимова, А.І. Рибак, В.Б. Силова, Є.К. Корноушенко, О.Г. Тімінський, В.І. Прангішвілі, І.В. Чумаченко, Ю.М. Тесля, Долорес Шервуд Стайгер, Паула Мартін, Карел Тейт, Л.А. Заде та інші. Поглибленим вивченням управління процесами вартості та тривалості проектів займалися Р.М. Вайдман, М.Л. Разу, І.І. Мазур, В.Д. Шапіро, Н.Г. Ольдерогге, Д.З. Милошевич, В.А. Рач та їх послідовники. Інфраструктурні проекти з позиції теорії управління проектами розглядали С.Д. Бушуєв, Д.А. Бушуєв, Б.Ю. Козир, О.Б. Зачко, А.І. Лантух-Лященко, О.П. Канін, В.О. Хрутьба, А.М. Харченко, О.О. Давиденко та ін.

Слід зазначити, що розгляду процесів управління вартістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які засновані на кінцевих показниках (показниках якості), приділена недостатня увага в науковому середовищі. Враховуючи можливості управління вартістю та тривалістю дорожньою організацією відповідати рівню складності і якості робіт з експлуатаційного утримання шляхом моделювання процесів, тобто, є можливість адекватно обґрунтувати виробничу потужності організації виконавця, а також створити здорову конкуренцію і забезпечити якість на тривалий термін, без втрат як зі сторони замовника, так і підрядника. Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю розробки моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Наукові результати роботи одержані в процесі виконання:

– плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету «Удосконалення системи управління станом автомобільних доріг та методів їх оцінки» (РК 0116U002491);

– плану науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Провести дослідження та розробити національні стандарти щодо експлуатаційних рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг та

їх обґрунтування при реалізації довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування» (договір № 98-17, РК 0117U005111).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності, що ґрунтується на теорії графів із застосуванням генетичних алгоритмів.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі **задачі:**

- провести дослідження проблем обґрунтування вартості та тривалості проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг, визначити сучасні вітчизняні та зарубіжні підходи до управління вартістю та тривалістю таких проектів;

- розробити факторіальну модель управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках;

- розробити модель оптимізації часу, вартості та якості контрактів на основі розподілу ресурсів для їх реалізації;

- запропонувати методичний підхід до забезпечення процесів формування оптимального складу параметрів моделі управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг;

- розробити практичні рекомендації для удосконалення програмного забезпечення реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг на основі моделювання процесів управління вартістю та тривалістю проектів у дорожній галузі.

Об’єкт дослідження – проекти (довгострокові контракти) на експлуатаційне утримання автомобільних доріг.

Предмет дослідження – процес управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг.

Методи дослідження – підходи теорії управління проектами (визначення

предметної області вирішення прикладної задачі в контексті стандартів управління проектами); аналітичні (проведення теоретико-практичного аналізу методів оптимізації); теорії систем та системного аналізу (визначення вагомих параметрів та факторів впливу на модель); моделювання (вивчення процесу оптимізації відношення «час-вартість» із застосуванням генетичних алгоритмів, базуючись на теорії графів); порівняння (виконання зіставлень результатів моделювання).

Наукова новизна:

Основний науковий результат дисертації полягає у розробці моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, які реалізуються у фазі експлуатаційного утримання життєвого циклу інфраструктурного проекту.

Вперше:

- розроблено модель управління вартістю, якістю та тривалістю проектів автомобільних доріг на підставі теорії графів із застосуванням генетичних алгоритмів, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо співвідношення тривалості, якості та вартості довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання доріг;
- запропоновано використання основних положень так званого «срібного трикутника» у якості методичного підходу до процесів формування параметрів моделі управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг;

Удосконалено:

- модель обґрунтування вартості та тривалості на стадії ініціації проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, яка на відміну від попередніх заснована на завданому передпроектному рівні якісних показників;
- метод визначення тривалості проектів автомобільних доріг, який на відміну від існуючих доповнено коефіцієнтами впливу, що дозволяє варіювати

тривалість проекту залежно від зовнішніх та внутрішніх факторів, що впливають на час його реалізації;

Отримали подальший розвиток:

- математична модель обґрунтування рівня обслуговування автомобільних доріг при реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках;
- окремі алгоритмізовані рішення для вдосконалення програмного комплексу реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Практичне значення отриманих результатів:

Дисертаційна робота отримала такі практичні результати:

- Розроблена модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, яка дозволяє оптимізувати процес обґрунтування розподілу фінансових ресурсів між проектами фази експлуатаційного утримання життєвого циклу автомобільних доріг.
- Результати дослідження були основою для розробки ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».
- Отримані результати впроваджено в: Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор); ТОВ «Науково-технічна компанія «Дорекспо»»; ТОВ «Торговий дім Арон».

Особистий внесок здобувача.

Отримані автором результати теоретичних досліджень, які виносяться на захист, відображені в публікаціях, що оприлюднені у фахових виданнях та виданнях іноземних держав. У публікаціях [36, 54, 118, 162] автором визначено основні фактори, що впливають на час, вартість і якість в проектах експлуатації автомобільних доріг; досліджено основні методи і моделі оптимізації відношення «час-вартість» в управлінні проектами автомобільних

доріг [77, 133]. За результатами досліджень [154, 155] було розроблено модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг на прикладі реалізації довгострокових контрактів з їх експлуатаційного утримання.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 72-76 в 2016-2020 рр.; на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Управління проектами: Інновації, Нелінійність, Синергетика» в 2015 р., на XIII Міжнародній конференції «Управління проектами у розвитку суспільства» в 2016 р., на XII Міжнародній науковій конференції «Наука та освіта. Секція: проблем економіки і управління» в 2018 р., на конференції «Сучасні тренди підготовки фахівців з управління проектами та програмами» в 2018 р., на I Міжнародній науково-практичній конференції «Наука. Інновації. Якість» (SIQ) в 2020 р., на XII всеукраїнській заочній науково – практичній конференції «Освіта і наука в Україні: шляхи розвитку та напрямки взаємодії» в 2020 р.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 21 публікації: 1 стаття у виданні іноземної держави, яке включено до міжнародної наукометричної бази, 8 статей у фахових виданнях, 12 праць апробаційного характеру. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 3 охоронних документів (свідоцтва України про реєстрацію авторського права).

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 163 найменувань та трьох додатків. Основний текст викладений на 173 сторінках. Текст ілюструється 54 рисунками і містить 32 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ПРОЕКТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1. Види проектів та контрактів на дорожньо-ремонтні роботи: проблеми та перспективи

Світова практика налічує ряд так званих «цілісних систем управління проектами» (стандартів) [1]. Найбільшого розповсюдження у світовій практиці дістали стандарт PRINCE2 [2], поширений в країнах Британської Співдружності, та PMBOK [3] – стандарт, розроблений Project Management Institute в США. Аналізуючи та узагальнюючі підходи даних стандартів до визначення поняття «проект», можна сказати, що це сукупність всіх взаємопов'язаних процесів, які ініціюються та/або протікають, за допомогою впливу на які із застосуванням методів управління розв'язується завдання в досягненні поставленої кінцевої мети при завданих ресурсних обмеженнях [4]. При цьому основними ознаками проекту є [5]:

1. Кількісна вимірюваність.
2. Часовий горизонт дії.
3. Наявність мети (цільова спрямованість).
4. Життєвий цикл (декомпозиція процесу на стадії).
5. Системне функціонування проекту (наявність елементного складу).
6. Існування в певному зовнішньому середовищі (зовнішні впливи).
7. Неповторність.

Приведені ознаки притаманні інфраструктурним проектам, тому розглянемо ці проекти з точки зору теорії управління проектами більш детально.

Згідно з дослідженнями [6] фази життєвого циклу інфраструктурного проекту автомобільної дороги можна відобразити наступним чином (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Життєвий цикл інфраструктурного проекту автомобільної дороги

Структуру системи управління проектом автомобільної дороги можна представити у вигляді схеми (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Структурна схема системи управління проектом автомобільної дороги

Отже, об'єктом управління в проектах автомобільних доріг – є їх експлуатаційний стан, який є змінним у часі, кількісно вимірюваним та на який

здійснюють вплив зовнішні та управляючі чинники. Вказані елементи, зв'язки та впливи у сукупності створюють структуру системи управління.

В дорожній галузі залежно від фази інфраструктурного проекту розрізняють проекти будівництва, проектів фази експлуатації (капітального ремонту, ремонтів, утримання), реконструкції автомобільних доріг (рис.1.3).

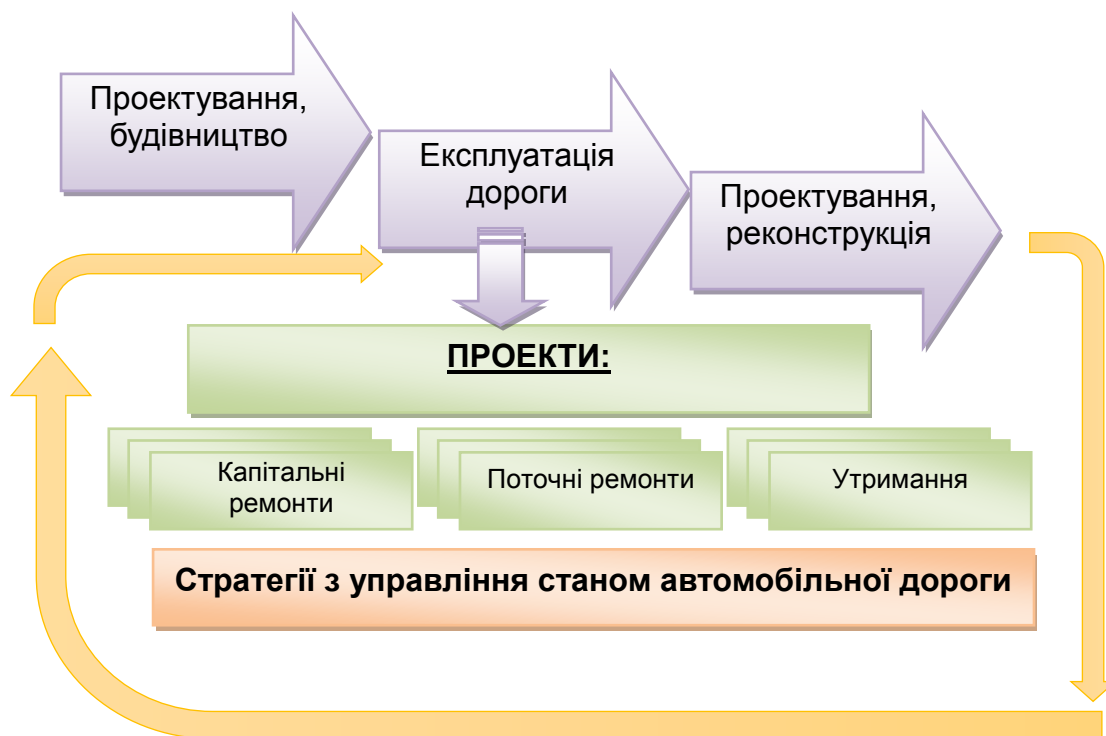


Рисунок 1.3 – Проекти залежно від фаз життєвого циклу автомобільної дороги

Однією з найвагоміших фаз життєвого циклу інфраструктурного проекту є фаза експлуатації (або «експлуатаційного утримання» як вживають у дорожній галузі).

Виходячи з [4], поняття «проект експлуатаційного утримання автомобільної дороги» з точки зору теорії управління проектами можна визначити як сукупність всіх взаємопов'язаних процесів, що ініціюються та протікають у фазі експлуатації автомобільної дороги, за допомогою впливу на які, шляхом застосування методів управління, розв'язується завдання в

досягненні поставленої цілі – обґрунтування показників якості, тривалості та вартості при завданих ресурсних обмеженнях.

Традиційно використовується велике різноманіття підходів до утримання автомобільних доріг. Найбільш поширеним є утримання автомобільних доріг за традиційним проектом – контрактом за видами робіт, в якому оплата здійснюється за виконаний обсяг робіт, а виконавець обирається на конкурсній основі за найнижчою пропозицією вартості проекту. Також у світовій практиці набули поширення контракти, які охоплюють декілька фаз інфраструктурного проекту – типу «проектування-будівництво-експлуатація» та «проектування-будівництво-експлуатація-утримання» [8].

Багатьма дослідженнями доведено, що складність формування проектів фази експлуатації автомобільної дороги викликана неефективністю традиційних методів укладання контрактів, що спонукало удосконалення системи проектів експлуатації і бурхливий розвиток нових типів і моделей контрактів у дорожній галузі у світі.

Hancher [9] у своїх дослідженнях вказує на недоліки таких систем, в яких замовник повністю відповідає за ризики проектів, впровадження нових технологій і матеріалів при виконанні контрактів. Адже, у такому разі як державні, так і приватні організації змушені утримувати значну кількість робочого персоналу, який зобов'язаний здійснювати постійний моніторинг перебігу реалізації проекту (на стадії заключення та виконання контракту) з експлуатаційного утримання доріг.

В США Американською асоціацією інженерів-будівельників (American Association of Civil Engineers (ASCE)) у 2005 році опубліковано звіт проведеного дослідження дорожньої інфраструктури, в якому американські дослідники виразили свій критичний погляд на існуючі на той час типи та моделі проектів експлуатаційного утримання доріг (довгострокових контрактів) [10].

Основними проблемами, які викликали таку негативну реакцію були:

- 1) неможливість підрядниками використовувати сучасні нововведення та інновацій;
- 2) постійні зростаючі витрати на утримання доріг;
- 3) значна відповідальність, покладена на дорожні агентства, у той час як підрядники не несуть відповідальності та не надають жодних гарантій щодо якісних показників стану автомобільних доріг у фазі експлуатації, тобто існує ризик недосягнення необхідного експлуатаційного стану.

Вирішенням вище перерахованих проблем згідно з [10] можуть слугувати так звані «performance-based contract» (PBC) – довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках (надалі – ДККП). Основними стейкхолдерами, які підштовхнули світову дорожню спільноту до переходу на ДККП були:

- а) зовнішні джерела фінансування (Світовий банк, Європейський банк реконструкції та розвитку та інші світові фінансові інститути);
- б) державні органи вищої влади;
- в) приватні сектори (підрядники) різних країн.

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках, в широкому розумінні – це угода (контракт) між державним дорожнім агентством та підрядною організацією, згідно якого підрядна організація забезпечує утримання автомобільних доріг на відповідному якісному експлуатаційному рівні в терміни, які визначені в контракті, а державне дорожнє агентство зобов'язується вчасно виконувати оплату послуг підрядної організації, за умови дотримання показників якості [11].

Згідно досліджень Mulmi [11] до даних показників відносять, наприклад, міцність дорожнього покриття, рівень управління придорожньою територією, безпеку руху тощо.

Автор дослідження [12] Radović зазначає, що в традиційних контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг підрядна організація несе відповідальність за роботи, які визначені замовником, і отримує виплати за виконання одиничних (локальних) робіт за кошторисом. Тобто показник

вартості такого контракту є чітко регульованим, при цьому якість експлуатаційного стану не визначена у контракті.

Singh та співавтори [13] зазначають, що сучасні довгострокові контракти (ДККП) передбачають перехід відповідальності за відповідність якості застосованих матеріалів, технологій та методів виконання робіт з дорожніх агентств на підрядні організації.

Ідеологом у використанні довгострокових контрактів типу ДККП у світовій практиці вважається Zietlow [14]. В Україні цей напрямок одними з перших почав досліджувати науковий колектив кафедри транспортного будівництва та управління майном НТУ під керівництвом професора Каніна О.П. [15]. Дослідниками було виконано ряд наукових робіт [16], розроблено низку нормативних документів [17] та запропоновано відповідні програмні рішення [16].

У своїй роботі [15] науковець Канін О.П. відзначає складність впровадження ДККП та необхідність створення сучасної інформаційно-аналітичної системи для управління довгостроковими контрактами, заснованим на кінцевих показниках, для експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Також Соколова Н.М., Канін О.П. та Харченко А.М. в науковій праці [17] підкреслюють, що зміна парадигми процесу управління експлуатаційним утриманням автомобільних доріг є невід'ємною частиною процесу впровадження довгострокових контрактів, що зумовлене переходом від оцінки виконаних об'ємів робіт до моніторингу та оцінки показників якості (рівнів обслуговування доріг).

В дослідженні [18] Харченко А.М., Мелешук Т.П. виділяють наступні передумови та труднощі щодо впровадження ДККП: необхідність розвитку нормативної бази для ДККП; створення системи показників якості; недостатня гнучкість нормативної бази щодо впровадження інноваційних технологій; недостатній досвід використання довгострокових контрактів на утримання автомобільних доріг.

Соколова Н.М. та Маковська Ю.А. [19] підкреслюють, що оскільки довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках, є доволі новим підходом до утримання автомобільних доріг в Україні, а їх економічне обґрунтування є складним науковим завданням, то дане завдання потребує вирішення ряду задач теоретико-методологічного характеру, а саме: виконання аналізу та розробки ефективної системи стимулювання виконавця робіт; розробки методичного підходу з обґрунтування вартості контракту, методу визначення та розподілення ризиків; розробки системи моніторингу та контролю показників якості.

Маковська Ю.А. [20] відзначає, що стимулювання підрядника в довгострокових контрактах даного типу, може бути реалізоване за рахунок платіжної системи, яка буде заснована на рівні експлуатаційних показників стану елементів автомобільної дороги, іншими словами – на забезпеченні рівнів обслуговування. Таким чином у замовника немає необхідності безпосередньо вимірювати величину зусиль, які вклав виконавець, його функцією стає контроль (моніторинг) визначених в договорі рівнів обслуговування.

В дослідженні [21] Безуглий А.О. з співавторами підкреслює, що за останні роки рівень уваги до ДККП значно виріс, що підтверджується збільшенням кількості досліджень в даній області та ростом фінансування експлуатаційного утримання автомобільних доріг з 217,42 млн. грн в 2018 р. до 251,75 млн. грн у 2020 р. (рис.1.4).

Експлуатаційний стан автомобільних доріг загального користування України знаходиться в дуже скрутному становищі. Згідно [22] 97% автомобільних доріг мають високий рівень зношеності, а 80 % мережі потребують термінового ремонту, приблизно на 44 % зношені всі дорожні споруди, 39% автомобільних доріг мають невідповідний до нормативних вимог рівень міцності та 51 % не відповідають вимогам за рівністю. Для значного покращення експлуатаційного стану автомобільних доріг України необхідно

відремонтувати приблизно 40 тис. км. за рік [22], тому реалізація проектів у фазі експлуатації доріг має надзвичайне значення.

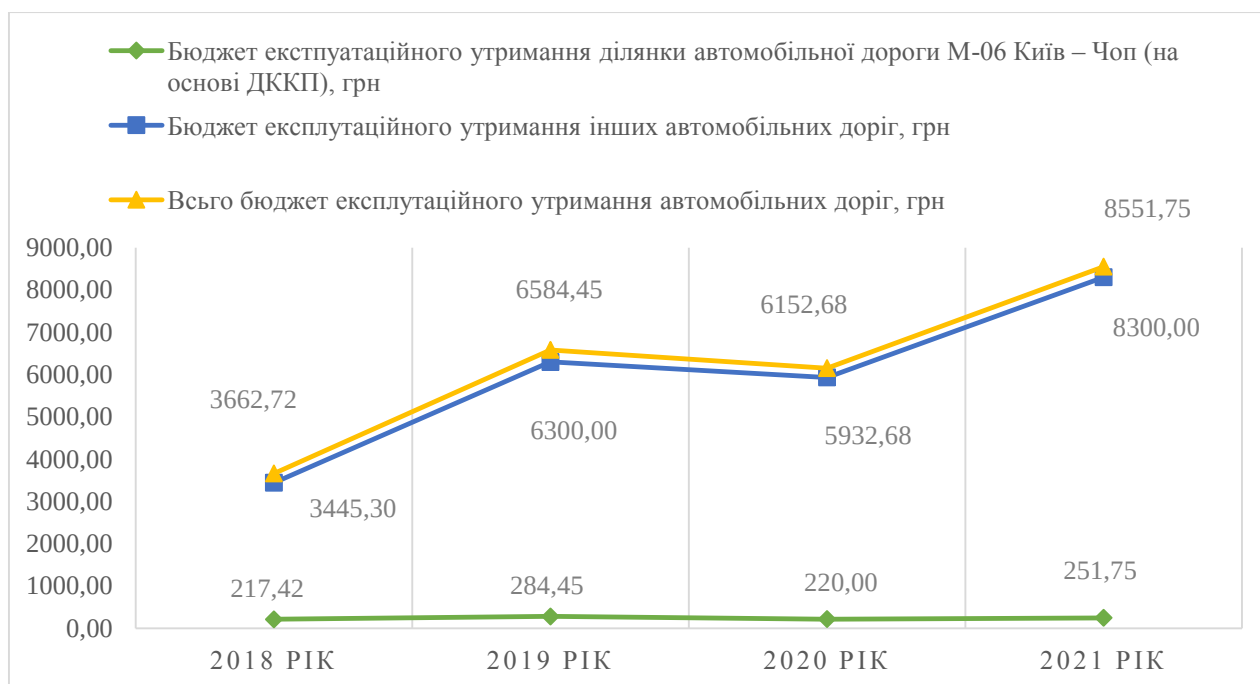


Рисунок 1.4 – Бюджет фінансування експлуатаційного утримання автомобільних доріг та його тенденції зростання

Також, слід зазначити, що за останній рік було затверджено основоположні нормативно-технічні документи, які сприятимуть розвитку та впровадженню даних видів контрактів (ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання», ДСТУ 8993:2020 «ДСТУ 8993:2020 Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання», СОУ 42.1-37641918-085:2018 «Автомобільні дороги. Правила визначення вартості робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання», МР Д.2.4-37641918-910:2020 «МР Д.2.4-37641918-910:2020 Методичні рекомендації щодо реалізації довгострокових договорів (контрактів)», МР Д.2.4-37641918-911:2020 «Методичні рекомендації з визначення прогнозних обсягів робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування при реалізації довгострокових договорів (контрактів)»).

Як зазначає Безуглий А.О. [21], в даний час більшу увагу приділяють дослідженням проектів реконструкції та будівництву автомобільних доріг, в той час як вивченню проектів експлуатаційного утримання дещо нехтують. Згідно з даними Світового економічного форуму 2019 року за експлуатаційний стан автомобільних доріг Україна отримала 3 бали з можливих 7, що відповідає 119 місцю в світі.

В [17] авторами визначено, що особливістю ДККП є умови оплати за послуги, які повинні залежати від досягнення показників якості, що в свою чергу обумовлено в контракті. Виконавець робіт (підрядник) отримує оплату не за обсяг виконаних робіт, а за досягнення показників якості експлуатаційного стану автомобільних доріг. 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 не тільки на період реалізації контракту, а й на визначений строк після. Тому будь-які дефекти, які можуть виникнути по завершенню проекту, повинні бути усунені підрядною організацією, що обумовлюється в контракті.

Основними перевагами використання ДККП згідно [10] є (рис. 1.5):

- скорочення витрат на ремонти доріг;
- зменшення участі державних агентств та більше залучення приватного сектору;
- зміцнення дорожнього управління;
- підвищення ефективності розподілу державних коштів на утримання доріг тощо.

Проте для суттєвої зміни стану мережі автомобільних доріг необхідно комплексно підходити до вирішення проблеми. Недостатнім буде виключно стабільне фінансування, використання сучасних матеріалів, технологій та будівельної техніки, потрібно також вдосконалювати систему управління експлуатаційним утриманням автомобільних доріг. Так як попри максимальне матеріально-технічне забезпечення неправильне та невчасне використання

виділених ресурсів не покращить стан автомобільних доріг, а може тільки збільшити перевитрати коштів та часу.



Рисунок 1.5 – Причини використання ДККП

1.2 Аналіз підходів до управління проектами експлуатаційного утримання автомобільних доріг

Сучасна система експлуатаційного утримання автомобільних доріг дуже сильно застаріла і потребує реформування, особливо враховуючі зміни в законодавстві, що передбачають децентралізацію системи управління мережею автомобільних доріг [23]. Відповідно до Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки [24] передбачається: більш широке використання транспортного та географічного розташування України, зменшення собівартості перевезення, зменшення кількості ДТП, економічний та соціальний розвиток регіонів та міст та інше. Всі ці задачі неможливо виконати без суттєвого перегляду та змін в системі експлуатаційного утримання

автомобільних доріг, адже, на відміну від будівництва, експлуатація є безперервним процесом, який виконується протягом всього життєвого циклу автомобільної дороги, а також справляє значний вплив на безпеку руху та руйнування автомобільних доріг.

Для вирішення задачі покращення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг України необхідно виконати аналіз системи експлуатаційного утримання автомобільних доріг провідних країн світу. Даний аналіз дозволить визначити основні слабкі місця сучасної системи експлуатаційного утримання автомобільних доріг України та визначити напрями розвитку (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Аналіз систем експлуатаційного утримання автомобільних доріг провідних країн світу (адаптовано з [10])

Країна	Форма фінансування експлуатаційного утримання автомобільних доріг		
Німеччина	Федеральний та регіональний бюджет, частка із вартості за паливо, транспортний податок, оплата за проїзд великовагових ТЗ		
Великобританія (ВБ)	Державний бюджет, відсоток від продажу квитків на всі види транспорту		
Японія	Плата за проїзд, бюджетні кошти, дорожні фонди та інвестиції		
Білорусь	Система збору за проїзд по платних дорогах (BelToll), оплата за проїзд великовагових ТЗ, мито за допуск ТЗ до участі у русі, збір коштів за проїзд іноземних ТЗ		
Країна	Особливості управління	Функції підрядника виконують	Особливості
Німеччина	Міністерство транспорту, Дорожні адміністрації земельних ресурсів	Федеральний дорожній центр (утримання швидкісних доріг), приватні організації (місцеві та регіональні дороги)	Децентралізована система управління автомобільними дорогами, довгострокове планування інвестицій, використання довгострокових контрактів, використання моделі ціноутворення за кінцевими результатами
Великобританія (ВБ)	Міністерство транспорту ВБ, департамент транспорту ВБ, Агенція автомагістралей, Служба	Держ. організації, приватні організації	Планування необхідних інвестицій, використання довгострокових контрактів заснованих на кінцевих результатах

	дор.офіцерів		
Японія	Міністерство земельних ресурсів, інфраструктури, транспорту та туризму, бюро з утримання та ремонту автомобільних доріг	Державні підприємства у відповідності до територіального устрою (національні, республіканські та перфектурні дороги), приватні організації (муніципальні дороги)	Довгострокове планування інвестицій, однорічні контракти, використання моделі ціноутворення за кінцевими результатами
Білорусь	Міністерство транспорту та комунікацій, У складі міністерства – Комітет головного управління автомобільних доріг	Державні підприємства (республіканські дороги), обласні виконавчі комітети та комунальні унітарні підприємства (лінійні дорожні дистанції (місцеві))	Довгострокові державні контракти, модель ціноутворення – за кінцевими результатами
Країна	Інформаційне забезпечення системи експлуатаційного утримання автомобільних доріг		
Німеччина	Система всебічного управління, система контролю стану дорожньої мережі, система управління виконанням робіт з ЕУАД, система динамічного зважування, система автоматичного збору плати за проїзд		
Великобританія	Система управління проектами в утриманні АД (Bentley), система управління дорожнім господарством (RMS), система управління АД (PMS), система управління дорогами – національний стандарт управління для оцінки стану місцевої дорожньої мережі, планування інвестицій на обслуговування ділянок АД (UKPMS)		
Японія	Система радіочастотного ідентифікування для перевірки дорожніх об'єктів (RFIT), система рятувальної навігації – швидкий збір інформації за допомогою мобільних телефонів, яка швидко та точно дозволяє визначити розміри дорожніх збитків (RNS), електронна система збору коштів за проїзд (ETC), система інформації та зв'язку ТЗ для забезпечення кращого транспортного потоку шляхом надання інформації в режимі реального часу (VICS)		
Білорусь	Діагностика автомобільної дороги, влаштування камер фотофіксації, регулярне патрулювання доріг, система моніторингу транспортних потоків, система ситуаційного управління дор. рухом, система інформування користувачів доріг, система динамічного зважування, система електронного збору плат за проїзд, система управління утриманням доріг і забезпечення безпеки руху		

Порівнюючи системи управління експлуатаційним станом автомобільних доріг провідних країн світу з вітчизняною були виявлені такі основні недоліки останньої:

- недостатнє матеріально-технічне забезпечення господарств, які відповідають за експлуатаційне утримання автомобільних доріг;
- використання застарілих технологій, будівельних матеріалів та будівельної техніки;
- використання для експлуатаційного утримання автомобільних доріг тільки короткострокових контрактів (1 рік);
- монополізм та непрозорість державних організацій з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Для вирішення даних задач згідно світового досвіду необхідно виконати такі зміни в системі експлуатаційного утримання автомобільних доріг України:

1. Запровадження комбінованої системи експлуатаційного утримання автомобільних доріг (поєднання утримання за кінцевими результатами та утримання за лінійним та територіальним принципами).

2. Експлуатаційне утримання автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів (використання не короткострокових контрактів, а довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках, які укладаються на термін 2-7 роки, які дозволять збільшити прозорість системи шляхом передачі підрядним організаціям автомобільних доріг для експлуатаційного утримання, що дозволить отримання вигоди замовнику за рахунок конкуренції між підрядниками організаціями на основі інновацій та нововведень).

3. Створення планів з визначення необхідності утримання автомобільних доріг (моніторинг стану автомобільних доріг відповідно чинних нормативних вимог до експлуатаційного стану автомобільної дороги та визначення необхідності виконання експлуатаційного утримання з подальшим розробленням проекту експлуатаційного утримання на основі якого будуть визначатися обсяг коштів, необхідних для реалізації проекту).

4. Реформування існуючої системи державного управління автомобільних доріг.

5. Сучасне матеріально-технічне забезпечення (підвищення рівня механізації та якості робіт за рахунок використання сучасних більш ефективних та економічних будівельних матеріалів та будівельної техніки).

6. Використання сучасних програмно-аналітичних систем (впровадження та використання сучасної Єдиної геоінформаційної бази даних автомобільних доріг, з наповненням її даними паспортів автомобільних доріг нашої держави, а також впровадження системи моніторингу кліматичного стану, автоматичної системи регулювання руху та контролю за станом покриття автомобільних доріг).

В Україні на стадії реалізації проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування використовують контракти за видами робіт, тобто, короткострокові контракти. В провідних країнах світу для виконання таких робіт використовують довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках (ДККП).

Як вже було відзначено, відмінною рисою ДККП від традиційного підходу полягає у тому, що оплата робіт з управління та утримання дорожньої інфраструктури безпосередньо пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядником чітко поставлених мінімальних вимог за кінцевими показниками якості [7, 10, 16-18] (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння звичайної системи реалізації проектів та ДККП

Традиційна реалізація проектів	ДККП
1	2
Оцінюється за виконанням робіт, якість показників фактично не враховується	Оцінюється за виконання рівнів обслуговування (досягнення показників якості)
Процес – фактичне остаточне завершення робіт, оплата та повне закриття проекту у короткотривалий строк.	Підтримка необхідного рівня обслуговування протягом тривалих періодів
Оплата на основі завданих обсягів робіт	Оплата здійснюється на основі результатів (узгоджених рівнів обслуговування)
Підрядник не несе відповідальності за проект	Підрядник відповідає за ефективність проекту та його вдосконалення

Продовження таблиці 1.2

1	2
Існує велика ймовірність виникнення непередбачуваних витрат (ці ризики невизначені, на їх мінімізацію передбачається умовний відсоток від вартості контракту)	Менша ймовірність виникнення непередбачуваних витрат (підрядник зацікавлений у розробці заходів щодо запобіганню та мінімізації ризиків)
Більші адміністративні витрати дорожньої служби	Зменшення адміністративних витрат за рахунок перенесення частини функцій на підрядника

Для кращого розуміння різниці між проектами на експлуатаційне утримання автомобільних доріг за традиційним підходом та з використанням ДККП виконаймо порівняння їх особливостей та характеристик (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Порівняння традиційних контрактів на утримання доріг та ДККП

Піонером в використанні даного типу контрактів в дорожньому секторі була Канада, яка запровадила його ще в 1988 році в західній провінції - Британській Колумбії, де й було відмічено переваги ДККП і, згодом,

впроваджено в інших провінціях – Онтаріо і Альберта [10, 25-28, 17, 29]. Але на тому етапі увага приділялася більше технології та матеріалам, які використовувалися, а не кінцевому результату (якісним показникам), внаслідок чого підрядник був обмежений в виборі та впровадженні більш сучасних та ефективних технологій [26].

Незабаром, на початку 1990-х років, 10 000 км автомобільних доріг національного значення Аргентини почали утримуватись за допомогою ДККП, але в порівнянні з Канадою велике значення мали не тільки матеріали і технології, а й кінцеві показники та вперше була використана система штрафів за недотримання якості робіт. Починаючи з 1995 р. ще 10 000 км Аргентини експлуатувалися таким же чином [25, 26, 30]. Станом на вересень 2005 р. було залучено вже 44 % національної мережі автомобільних доріг Аргентини [27].

В 1995 році Уругвай скористався досвідом Аргентини для утримання експериментальної ділянки автомобільної дороги протяжністю 359 км, а потім і головних доріг в м. Монтевідео (біля 150 км). Така схема мала настільки великий успіх, що в 2004 р. було зафіксовано використання ДККП на 50 % доріг Уругваю [26]. Згодом до цих країн приєдналися Бразилія (станом на 2008 р. приблизно 30 000 км автомобільних доріг утримувалися таким же чином, що складає 16 % доріг федерального значення [11]), Еквадор, Чилі, Колумбія, Гватемала Перу та Мексика [10, 25-28, 17, 31].

Вперше в Австралії ДККП використали для спрощення утримання міської мережі доріг протяжністю 459 км. в м. Сідней у 1995 році, потім таким же чином утримувались дороги в штатах Тасманії, Новому Південному Уельсі, а також у Південній та Західній Австралії.

У 1996 р. для утримання автомобільних доріг, мостів, тунелів, в США, зокрема, в штаті Вірджинія (402 км), почали використовувати довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках якості, а в 1998 р. в м. Вашингтон за аналогічними контрактами утримувались 119 км. федеральних доріг. Пізніше ДККП використовувались такими штатами як: Флорида, Техас, Оклахома, Аляска та округ Колумбія [10, 25-28].

Як зазначає Tomanelli [32] у 1990 році за підтримки Міністерства транспорту США були розроблені плани переходу від класичного типу контрактів з утримання доріг до контрактів, заснованих на кінцевих показниках. В наукових працях Ozbek [33] та Queiroz [34] відзначається, що в США гарантія якісного експлуатаційного стану також є частиною довгострокових контрактів. Відповідно до цього підрядник повинен на основі підписаного довгострокового контракту гарантувати не тільки дотримання визначених показників якості, а й відповідати за гарантійний термін виконаних робіт після їх завершення.

Не виключенням стала й Нова Зеландія, де в 1998 році для утримання 405 км автомобільних доріг національного значення використовувалися ДККП [10, 25-28]. За даними Всесвітнього банку в 2005 році, в цій країні вже 15% національної мережі автомобільних доріг використовують цей різновид контрактів [10, 29, 17, 35].

Успішне використання ДККП в країнах Південної та Північної Америки зацікавило країни Європи. Першою була Великобританія, далі ДККП почали використовувати такі країни як Швеція, Фінляндія, Нідерланди, Франція, Норвегія, Естонія (63% національних доріг утримуються за ДККП), Сербія і Чорногорія (8% національних доріг) [10, 25, 27, 17].

Разом з Європою цю тенденцію підхопили країни Африки та Азії - Південна Африка (100 % національних доріг), Філіппіни (231 км національних доріг), Замбія і Чад (17% доріг). В даний час розробляються програми по впровадженню ДККП в: Кабо-Верде, Албанії, Ємені, Танзанії, Буркіна-Фасо, Камбоджі, Індонезії, Таїланді, В'єтнамі, Японії, Мадагаскарі [10, 25, 27, 17].

На рис. 1.7 – 1.11 [36] приведено інформацію щодо використання ДККП країнами світу в сучасних умовах в розрізі континентів.

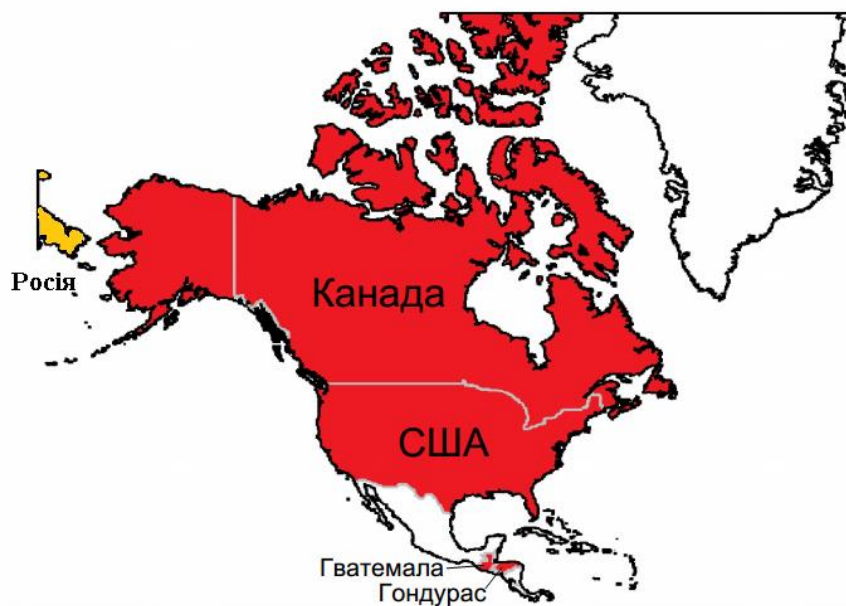


Рисунок 1.7 – Використання ДККП в країнах Північної Америки
(адаптовано з [10, 25, 26, 29, 37])*



Рисунок 1.8 – Використання ДККП в країнах Південної Америки
(адаптовано з [10, 25, 26, 29, 37])*

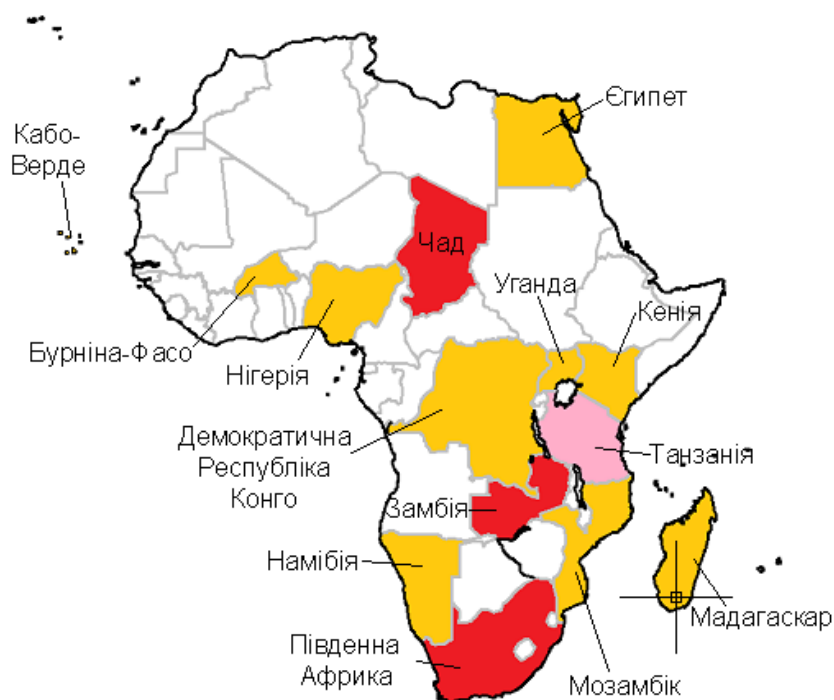


Рисунок 1.11 – Використання ДККП в країнах Африки (адаптовано з [10, 25, 26, 29, 37])*

Примітка * (до рис. 1.7-1.11):

- Країни, які вже використовують ДККП;
- Країни, які на ранніх стадіях реалізації ДККП;
- Країни, які готуються до запуску ДККП;
- Країни, які не використовують ДККП.

Sultana [27] відзначає, що майже кожна країна використовує свою термінологію відносно даного типу контрактів, так у США він має назву Asset Management Contracts (AMC), в Австралії та Новій Зеландії – Performance Specified Maintenance Contracts (PSMC), Аргентина – Contract for Rehabilitation and Maintenance, Великобританія – Managing Agent Contracts (MAC) та Area Maintenance Contracts в Фінляндії. Світовий банк використовує термін – Performance Based Road Contracting (OPRC) [38].

Спробу впровадити довгостроковий контракт на основі кінцевих показників виконує і Україна. Так у 2014 році стартував перший ДККП -

пілотний проект експлуатаційного утримання ділянки автомобільної дороги М-06 Київ-Чоп (від м. Броди до м. Стрий – км 434+230 – км 621+500) за кінцевим результатом [39]. Разом з Україною в даному напрямку почали працювати й сусідні країни, такі як Росія і Білорусія. Так, станом на 2014 рік в рамках «Стратегії інноваційного розвитку транспортного комплексу Республіки Білорусь до 2030 року» та «Перспективах розвитку автомобільно-дорожньої мережі Російської Федерації до 2030 року» було вирішено запроваджувати використання ДККП, з урахуванням світового досвіду [40-42].

В таблиці 1.3 наведено основні історичні дані впровадження ДККП в країнах світу.

Таблиця 1.3 – Історія розвитку ДККП у світі (адаптовано з [10, 25-28, 17, 29, 31, 35, 37-43])

№ п.п.	Країна	Місто, Регіон, Область	Роки впровадження	Утримання доріг на час впровадження	Мережа		Місцева назва ДККП
1	2	3	4	5	6		7
1	Канада	Провінція Британська Колумбія, Альберта, Онтаріо	1988	Відсутні дані	100% національної мережі автомобільних доріг		"Contract Management of Road Infrastructure" (Канада) "Area Maintenance Contract" (AMC) (Онтаріо)
2	Аргентина	Відсутні дані	1995	20 000 км доріг національного значення	44 % нац.мережі автомобільних доріг	40 % автомобільних доріг (Лат. Америка)	"Contract for Rehabilitation and Maintenance" (CREMA) (Лат. Америка)
3	Уругвай	м. Монтевідео	1995	359 км автомобільної дороги (Уругвай) 150 км доріг (Монтевідео)	50 % нац. мережі автомобільних доріг		
4	Бразилія, Чилі, Еквадор, Гватемала, Колумбія, Перу, Мексика	Відсутні дані	1995	Відсутні дані	16 % доріг федерального значення (Бразилія)		

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7
5	Австралія	м. Сідней; штати: Тасманія, Новий Південний Уельс; Південна, Західна Австралія	1995	459 км мережі автомобільних доріг (м. Сідней)	Відсутні дані	"Performance Contract" (PC) (Західна Австралія) "Performance- Specified Maintenance Contract" (PSMC) (Австралія)
6	США	Штат Вірджинія, Аляска, Флорида, Оклахома, Техас; округ Колумбія (м. Вашингтон)	1996 (Штат Вірджинія) 1998 (Вашингтон округ Колумбія, Аляска, Флорида, Оклахома)	402 км автомобільних доріг (Штат Вірджинія) 119 км федеральних доріг (м. Вашингтон)	Відсутні дані	"Contract Management of Road Infrastructure" (США) "Total Maintenance Contract" (TMC) (Техас) "Asset Management Contract" (AMC) (США станом 2004 р.)
7	Нова Зеландія	Відсутні дані	1998	405 км доріг національного значення	15% національної мережі автомобільних доріг	"Performance- Specified Maintenance Contract" (Нова Зеландія)
8	Великобританія, Швеція, Фінляндія, Нідерланди, Франція, Норвегія, Естонія, Сербія, Чорногорія, Монтенегро, Південна Африка, Замбія, Чад, Філіппіни, Індія, Непал, Танзанія, Бангладеш	Відсутні дані	Відсутні дані	63 % національної мережі автомобільних доріг (Естонія) 8% національної мережі автомобільних доріг (Сербія, Чорногорія, Монтенегро) 100% національної мережі автомобільних доріг (Південна Африка) 17% сезонних доріг (Замбія, Чад) 241 км національних доріг (Філіппіни)	Відсутні дані	"Managing agent contract" (MAC) (Велико- британія) "Area maintenance contracts" (AMC) (Франція)

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7
<i>В процесі впровадження</i>						
89	Кабо-Верде, Єгипет, Пакистан, Албанії, Йемен, Буркіна-Фасо, Камбодже, Індонезія, Таїланд, В'єтнам, Мадагаскар, Мозамбік, Україна, Уганда, Кенія, Нігерія, Намібія, Демократична Республіка Конго, Японія, Румунія, Албанія, Польща, Росія, Білорусія	м. Броди – м. Стрий (Україна)	2014 (Україна)	187 км дороги національного значення (Україна)	Відсутні дані	"Довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках" (ДККП) (Україна)

Перші кроки з впровадження ДККП в Україні почалися у 2005 році, коли на кошти Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) Укравтодор виконав ретельний аналіз автомобільно-дорожнього сектору, з метою підготовки «Плану реформування системи управління мережею автомобільних доріг» [44]. 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, та набула чинності 31 серпня 2005 року, реалізувалося покращення міжнародних коридорів №5 Трієст – Будапешт (Братислава) – Львів, на ділянці Стрий – Львів та № 3 Берлін – Вроцлав – Львів – Київ, на ділянці Львів – Броди, км 621 – км 441 В рамках даної угоди після виконання ремонтних робіт передбачалося впровадження ДККП на ділянці автомобільної дороги М-06 Київ–Чоп на

ділянці км 832 – км 434 [45]. На даний час цей проект вже реалізується (рис. 1.12).

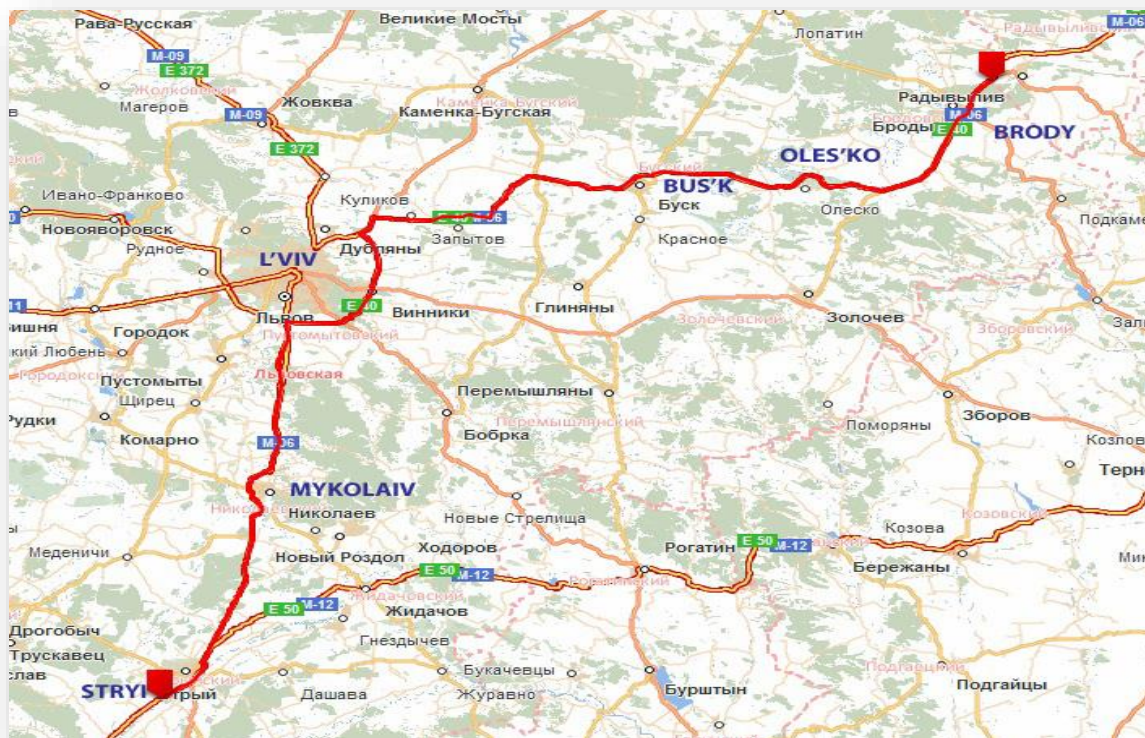


Рисунок 1.12 – Схема розташування ділянки дороги М- 06 Київ-Чоп км 434+230 – км 621+500, яка утримується за першим пілотним ДККП в Україні

Нажаль, на початку реалізації даного контракту він мав низку проблем, дані проблеми виникли ще на етапі підготовки тендерної документації. Такі проблеми були зумовлені, як і в багатьох країнах світу, браком досвіду використання ДККП, тому перша процедура тендерних закупівель не мала успіху в наслідок суттєвого перевищення тендерної суми в порівнянні з очікуваною. І тільки друга спроба принесла успіх, в результаті якої було зменшено кількість контрактів до одного, а строк дії контракту – до 7 років [46].

Також на шляху реалізації пілотного ДККП, виникла проблема з визначенням виконавця робіт, що ще більше спричинило затримку. Так за небажанням виконувати роботи першого підрядника Elsamex S.A. (країна - Іспанія), виникли необхідність пошуку нових виконавців робіт. Через деякий

час за процедурою прямого контрактингу та погодженням з ЄБРР, було визначено підрядною організацією ONUR (країна - Туреччина), з якою і підписали угоду на реалізацію даного проекту [44].

Таблиця 1.4 – Умови угоди реалізації першого пілотного ДККП в дорожній галузі України

Замовник	Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор), управління зі сторони Укрдорінвест, як Групи Управління Проектами
Фінансуюча організація	ЄБРР
Загальна протяжність	187 км
Дата початку	10 вересня 2014
Дата завершення	10 вересня 2021
Період контракту	84 місяці
Сума контракту	63,5 млн. євро

В реалізації контракту приймають участі такі сторони (рис.1.13):

1. Замовник (Державне Агентство Автомобільних Доріг України (Укравтодор).
2. Керівник Проекту (Egis International спільно з Egis Україна).
3. Підрядник (ONUR Tasimacilk Insatt Tic.ve San A.S).
4. Користувачі (учасники дорожнього руху, платники податків).

Враховуючи світовий досвід використання довгострокових контрактів для утримання автомобільних доріг, розробники контракту врахували такі особливості ДККП, як: виконання фінансових виплати за процес управління та утримання автомобільних доріг; визначення рівнів обслуговування (показники якості); виконання повного обсягу виплат за досягання рівнів обслуговування; використання системи штрафів з метою досягнення рівнів обслуговування та стимулювання якості робіт; невтручання в процес вибору матеріалів та технології виконання робіт замовника (рис. 1.14).



Рисунок 1.13 – Склад учасників реалізації першого пілотного ДККП в дорожній галузі України

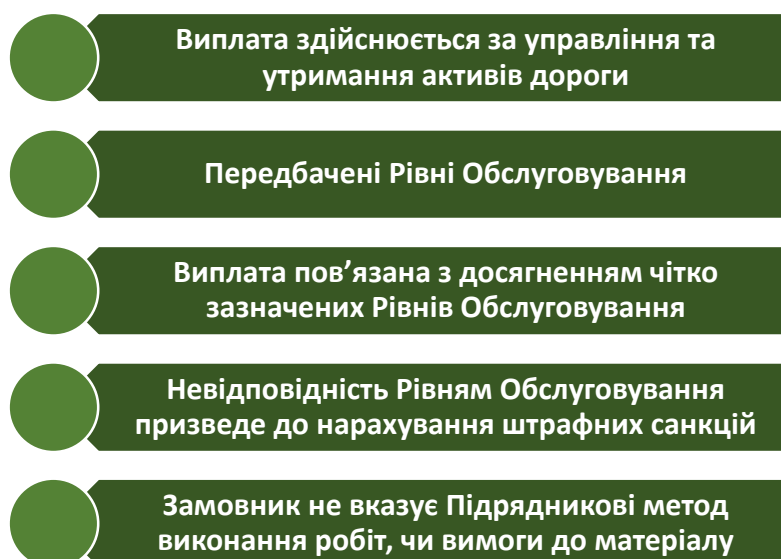


Рисунок 1.14 – Особливості реалізації першого пілотного ДККП в дорожній галузі України

Як вже було відзначено, основною особливістю довгострокових контрактів для експлуатаційного утримання автомобільних доріг є

використання так званих «рівнів обслуговування». Рівні обслуговування – це показники якісного стану елементів автомобільної дороги. Підрядна організація отримує плату за досягнення саме цих рівнів обслуговування, а не за обсяг робіт, на відміну від традиційних контрактів (рис. 1.15)



Рисунок 1.15 – Вимоги до виконання робіт та досягнення рівнів обслуговування

Відповідно до укладеного контракту за даними [46] були передбачені такі роботи, які визначили рівні обслуговування ділянки автомобільної дороги:

– усунення існуючих дефектів та приведення дороги в стан, при якому її можна буде утримувати заходами з поточного утримання та періодичного ремонту (рис. 1.16);

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

ДОСЯГНУТІ ЕРО

ДО



ПІСЛЯ



Рисунок 1.16 – Результати досягнення рівня обслуговування за пілотним ДККП в Україні

Незважаючи на досвідченість та відповідальність компанії ONUR внаслідок затримки на початку реалізації контракту, попереднім підрядником, строки реалізації запланованих робіт були порушені, тому до підрядника були використані фінансові санкції у вигляді неустойок. Загалом станом на 2018 рік всі роботи з відновлення завершені, а на даний час виконуються тільки роботи з експлуатаційного утримання з дотриманням всіх рівнів обслуговування [44] (рис. 1.17).

ДО



ПІСЛЯ



Рисунок 1.17 – Приклад покращення стану ділянки автомобільної дороги в рамках реалізації проекту за ДККП в Україні

На основі виконаної роботи та процесу реалізації пілотного ДККП в Україні, відзначено такі особливості реалізації проектів експлуатаційного утримання [44]:

- дані контракти потребують довготривалого фінансування, що не було можливо без використання коштів Дорожнього фонду;
- ДККП вимагають вдосконалення нормативно-правової бази, для уникнення конфліктних ситуацій підчас реалізації контрактів;
- є необхідність у розвитку конкурентоспроможного ринку послуг експлуатаційного утримання автомобільних доріг

Отже, основними змінами, які необхідно здійснити в дорожній галузі України, для успішної реалізації ДККП є наступні (рис. 1.18):

- надання підрядним організаціям оновленого паспорту дороги та схеми ОБР перед початком реалізації ДККП;
- створення достатнього моніторингу замовником;
- створення чіткої та прозорої системи штрафів та санкцій за недотримання рівнів обслуговування;
- більш поглиблене вивчення ДККП для забезпечення кращого розуміння його принципу зі сторони замовника;
- мінімізація термінів між періодом створення тендерної та проектної документації та початком реалізації контракту;
- адаптація діючих державних норм України до Міжнародних вимог та умов контракту.

Відповідно до [44] перший п'ятирічний досвід реалізації проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг у вигляді довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, свідчить про доцільність їх використання в дорожній галузі України.

Необхідність адаптації діючих норм України до Міжнародних вимог та Умов Контракту

Необхідність мінімізації термінів між розробкою тендерної/проектної документації та початком Контракту

Необхідність розуміння концепції OPRC зі сторони Замовника

Необхідність у чіткому визначенні застосування штрафних санкцій до Підрядника під час приведення мережі до прийнятного стану в період мобілізації

Необхідність у чіткому механізмі вагового контролю зі сторони Замовника

Надання Підрядникові оновленого Паспорту Дороги та Схеми ОДР перед початком Контракту

Рисунок 1.18 – Визначені необхідні зміни, на основі отриманих результатів впровадження першого пілотного ДККП в дорожній галузі України

1.3 Основні переваги, недоліки, проблеми обґрунтування вартості та тривалості сучасних проектів експлуатаційного утримання доріг

Головною рушійною силою багатьох країн, які перейшли від реалізації проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг за традиційними контрактами підряду до довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, була забезпеченість тривалим фінансуванням для утримання автомобільних доріг, що в свою чергу надає гарантії з покращення стану та збереження дорожніх активів, а також зменшення навантаження на систему управління та адміністрування [38].

Іншими перевагами ДККП згідно з [10, 18] є:

1) Зменшення адміністративних витрат (за рахунок зменшення обсягу роботи дорожніх служб, що відносно вивільнює чисельність робочого персоналу);

2) Зменшення відповідальності дорожніх служб (за рахунок перекладання ряду завдань, які раніше виконувала дорожня служба, на підрядника);

3) Стабільне фінансування (за рахунок укладання контракту на значний термін, що дає змогу виконувати більш точне планування витрат);

4) Задоволеність користувачів якістю доріг (за рахунок заздалегідь визначених показників якості (рівня обслуговування), які зазначені в контракті, і мають виконуватися підрядником протягом дії контракту, дотримання цих показників напряду впливає на прибуток підрядника, так як їх недотримання контролюється системою штрафів);

5) 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).

Не менш важливою перевагою в сучасній соціальній моделі є можливість користувачів приймати участь в процесі управління проектом експлуатаційного утримання автомобільної дороги та висувати вимогу дотримання рівнів обслуговування [26].

На рис. 1.19 наведено дві моделі утримання автомобільних доріг.

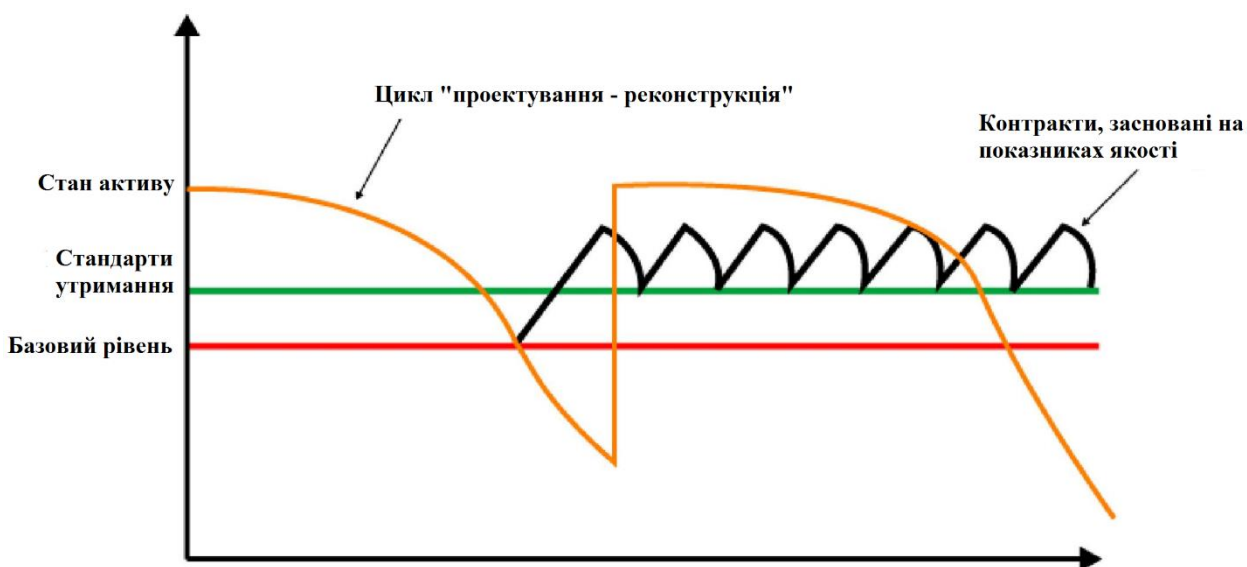


Рисунок 1.19 – Стан активів за традиційним контрактом та контрактом на основі кінцевих показників (адаптовано з [11])

Відповідно до рис.1.19 можна відзначити, що при використанні класичного підходу до утримання стан автомобільних доріг значно погіршується перед виконанням реконструкції, що вимагає залучення великої кількості як трудових, так і фінансових ресурсів.

З іншого боку експлуатаційне утримання автомобільних доріг на основі ДККП дозволяє постійно підтримувати достатній рівень стану автомобільної дороги та зменшити витрати при виконанні реконструкції чи капітальному ремонті.

Незважаючи на ряд переваг, основною проблемою, яка знаходиться в площині вдосконалення ДККП, залишається обґрунтування вартості та часу реалізації проекту. Zietlow [26] звертає увагу на те, що перед тим як укласти контракт за проектом, потрібно виконати ретельний аналіз його юридичної та фінансової доцільності.

Перед використанням ДККП в експлуатаційному утриманні Bulletal [47] вказує, що потрібно визначити не тільки співвідношення «якість» та «економічна ефективність» даного типу контракту в порівнянні з традиційними, а й врахувати такі фактори, як: структуру стимулів, розподіл ризиків, протяжність та площу мережі доріг, вартість контракту та інші.

При використанні ДККП в країнах, які розвиваються, згідно з [48] необхідно додатково врахувати політичний вплив, корупцію, здійснювати оцінку вартості та тривалості проекту та можливість забезпечення довгострокового та постійного фінансування ДККП. Також необхідно враховувати при розробці ДККП, що час виконання проекту може включати принаймні один плановий ремонт активу.

Sultanaeta [48] зазначає, що до основних труднощів впровадження ДККП відносяться:

- політичні інтереси та корупція;
- залежність від зовнішнього фінансування;
- складності визначення та обґрунтування вартості;
- якість та ефективність роботи підрядника;

- контроль та моніторинг витрат;
- втрата здорової конкуренції та контролю над мережею;
- відсутність досвіду використання ДККП.

Zietlow [26] до ряду особливостей та проблем додає неготовність підрядних організацій до нової системи управління, адже, підрядні організації, які використовували в своїй практиці тільки класичний тип контрактів, не мають відповідної кваліфікації та досвіду.

При використанні ДККП в дорожній галузі, велике значення мають можливість використовувати послуги інженерів-консультантів, досвід підрядної організації, ефективна система моніторингу виконання робіт та розвинута і зрозуміла жорстка система штрафних санкцій за недотримання рівнів обслуговування.

На думку Zietlow [26], потрібно ретельно роз'яснити та розписати показники якості, з метою уникнення неоднозначності в умовах виконання робіт та забезпечити об'єктивність їх вимірів.

Як зазначає Канін О.П. з співавторами у роботі «База даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг» [49], саме еволюція контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг підштовхнули розвиток вимог до якісного стану елементів автомобільних доріг, ці вимоги, відповідно до керівництв Світового Банку [10], отримали назву – ключові показники ефективності (key performance indicators), рівень обслуговування (level of service) або стандарти якості (performance standards).

Показники якості (рівні обслуговування) – це мінімальні допустимі рівні якісних показників стану дорожніх активів, які повинна забезпечувати підрядна організація протягом усього періоду дії контракту, включаючи такі додаткові (за бажанням замовника) функції [38]: обслуговування під час надзвичайних ситуацій; відповіді та збір публічних запитів, пропозицій та скарг від користувачів доріг; управління дорожніми активами та їх інвентаризація тощо.

Таким чином, рівні обслуговування можна поділити на дві групи – управлінські рівні та рівні ефективності експлуатаційного утримання [38].

Управлінський рівень обслуговування відображає рівень досвідченості та здатності підрядної організації управляти активами за проектом експлуатаційного утримання доріг та надавати своєчасно інформацію про програму робіт, план управління інформаційними системами та базами даних, плани управління охороною праці, плани екологічного нагляду, систему забезпечення якості тощо.

Рівні ефективності експлуатаційного утримання характеризують якісний стан дорожнього покриття, облаштування автомобільної дороги, стану дорожніх знаків та систем організації руху, догляду за рослинними насадженнями, догляду та утримання мостів, шляхопроводів, водопропускних труб, роботу метеостанцій, експлуатацію мереж комунікацій, дорожнє патрулювання тощо.

Такі рівні згідно з [38] мають відповідати наступним критеріям:

- зменшувати витрати на організацію дорожнього руху;
- мінімізувати вплив на навколишнє середовище;
- забезпечувати учасників дорожнього руху та інших користувачів доріг достатнім рівнем комфортності, швидкості та безпеки руху.

Таким чином, підрядник повинен забезпечувати проектні рішення, які сприятимуть задоволенню показників якості (рівнів обслуговування). При недотриманні даних показників оплата за послуги може бути зменшена, якщо це передбачено контрактом [50]. Тому, значною різницею між проектами, які реалізуються за традиційними контрактами на експлуатаційне утримання та ДККП є участь підрядника в розробці проекту, вирішенні питань технологічного характеру, вибору технології виконання робіт, матеріалів та підходів, зважаючи потреби користувачів доріг, державні норми та правила, вимоги місцевого характеру, характеристики безпеки, рівень комфорту користування.

Zietlow [26] підкреслює важливість розвитку тісної взаємодії між державним агентством автомобільних доріг та підрядником, адже даний тип контрактів є новою системою управління станом автомобільних доріг у фазі їх експлуатації, особливо для країн, які розвиваються, де старі правила та схеми відносин «замовник-виконавець» не працюють, а неправильно побудована сучасна система управління може призвести до зворотного ефекту та негативних наслідків.

Також Bulletal [47] вказує на особливості та переваги, які надає ДККП для органів державного управління автомобільними дорогами та приватного сектору, а саме, їх довготривалість на відміну від класичних контрактів, забезпечене постійне фінансування стимулює підрядні організації виконувати умови визначені контрактом для отримання постійних виплат та недопущення штрафів, а зобов'язання уряду щодо фінансування експлуатаційного утримання автомобільних доріг на термін не менш ніж 2 роки – зменшує витрати на виконання капітального ремонту та реконструкцію автомобільних доріг шляхом постійної підтримки достатнього рівня їх якісного стану.

На відміну від традиційної реалізації проектів експлуатаційного утримання доріг, згідно з головною ідеологією ДККП виконавець робіт не отримує прямих вказівок від замовника на рахунок робіт з утримання доріг та їх обсягу, дана функція цілком переходить до підрядника. Таким чином відбувається стимулювання виконавця робіт до дотримання визначених показників якісного стану (рівнів обслуговування). Така система може призвести не тільки до покращення стану доріг, а й до розвитку та впровадження нових технологій та інновацій. Отже, ефект від впровадження ДККП можуть отримати три сторони: учасники дорожнього руху (користувачі), дорожні адміністрації та приватні організації.

Як відмічають своїй роботі автори Schliessler та Gericke [51] за умови успішної реалізації ДККП всі сторони даного контракту отримують власні вигоди:

1. Дорожні адміністрації (без збільшення витрат) – кращий стан дорожніх активів, постійну систему обслуговування, розвиток відносин між державним та приватним секторами, довіра від користувачів.

2. Приватний сектор – зростання зайнятості, постійні фінансові виплати, збільшення досвіду.

3. Користувачі – прозора система утримання доріг, підвищення якості та комфорту, часткова участь у контролі якості виконання робіт.

Підчас подання заявки щодо участі у тендері на утримання доріг за ДККП підрядник повинен надати цінові характеристики своїм послугам (табл.1.5, рис. 1.20) [52].

Таблиця 1.5 – Цінові характеристики послуг за ДККП

Послуга	Цінові характеристики
Аварійні роботи	Одиничні ціни на аварійні роботи, виконуються у вигляді виплат за кожен надзвичайну ситуацію в розмірі одиничної виплати, яка оцінена підрядником та затверджена замовником
Одноразові роботи з обслуговування доріг	Одноразові виплат за проектування, покращення стану автомобільних доріг, виконання часткових робіт з будівництва
Послуги з експлуатаційного утримання	Одноразова щомісячна виплата, яка реалізується за виконання послуг з утримання дороги згідно з умовами контракту у визначеному часовому проміжку
Реабілітаційні роботи	Одноразова виплата за окремі роботи згідно чітко визначених обсягів, для досягнення відповідного рівня показників якості, з обов'язковим їх визначенням після виконання робіт



Рисунок 1.20 - Компоненти контракту ДККП

За досвідом Світового Банку [10] погоджена з двох сторін щомісячна періодична виплата буде виконана підрядній організації тільки за умови дотримання виконавцем показників якості на протязі всього періоду, за який виконується дана виплата. Окрім цього виконавець робіт повинен звітувати перед замовником за визначеними протягом експлуатаційного періоду показниками якості. Ці дані повинні контролюватися замовником безпосередньо або третьою стороною – підрядною організацією, яка виконуватиме за дорученням замовника моніторинг даних показників.

Велику роль в оцінці переваг, недоліків, перспектив використання ДККП в дорожній галузі має досвід країн світу. За даними [10] спостерігаються такі результати використання ДККП:

1. Зменшення витрат дорожніх агентств.

За різними даними [10, 26, 27, 30] ці заощадження становлять від 10 до 40% (рис.1.21), що було досягнуто за рахунок стимулювання організацій

виконавців до використання інновацій та збільшенні продуктивності шляхом використання систем фінансових винагород та штрафів; моніторингу показників якості; зменшення адміністративних витрат.

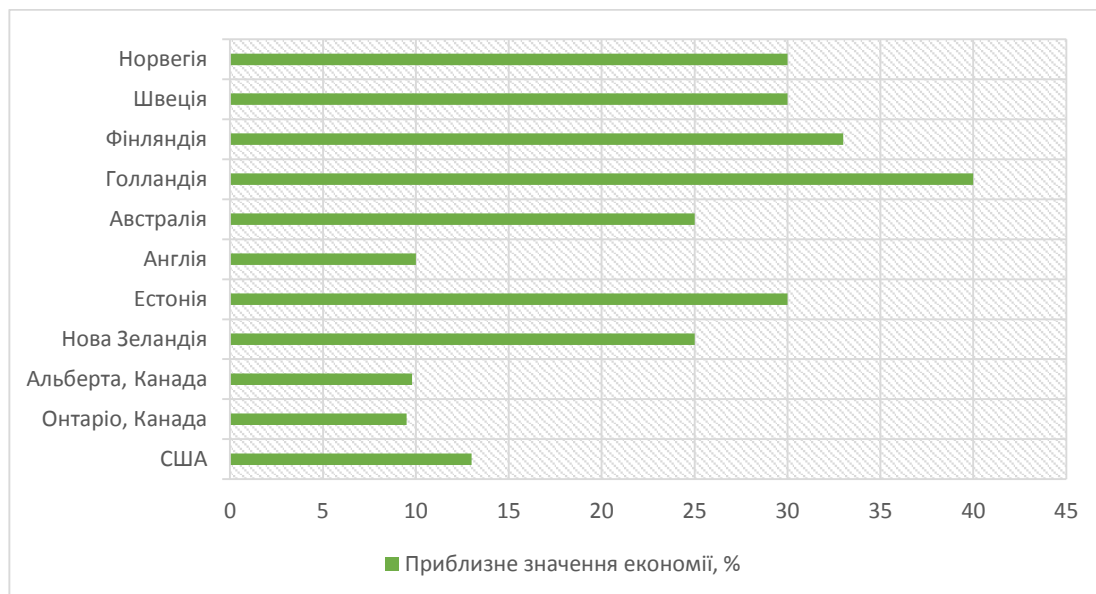


Рисунок 1.21 – Зменшення фінансових витрат дорожніх агентств різних країн світу

2. Зменшення внутрішньо адміністративних витрат за рахунок відносного вивільнення персоналу. Так, наприклад, згідно досвіду Естонії, кількість робітників, які необхідні дорожнім адміністраціям, дуже сильно зменшилась (майже в три рази). У 1999 році вона становила 2046 чол., а у 2003 році (після використання ДККП) – 692 чол. (рис. 1.22).

3. Зменшення доріг у незадовільному станом. В Аргентині за допомогою впровадження ДККП в дорожній галузі, кількість автомобільних доріг, які були в незадовільному стані скоротилась з 25% на 5%.

4. Довгострокове фінансування утримання автомобільних доріг. Відповідно до даних Департаменту транспорту Вашингтона, округ Колумбія даний тип контрактів почали використовувати через незадовільний стан автомобільних доріг, в даний час спостерігається збільшення кількості укладених контрактів ДККП з 19 до 28.

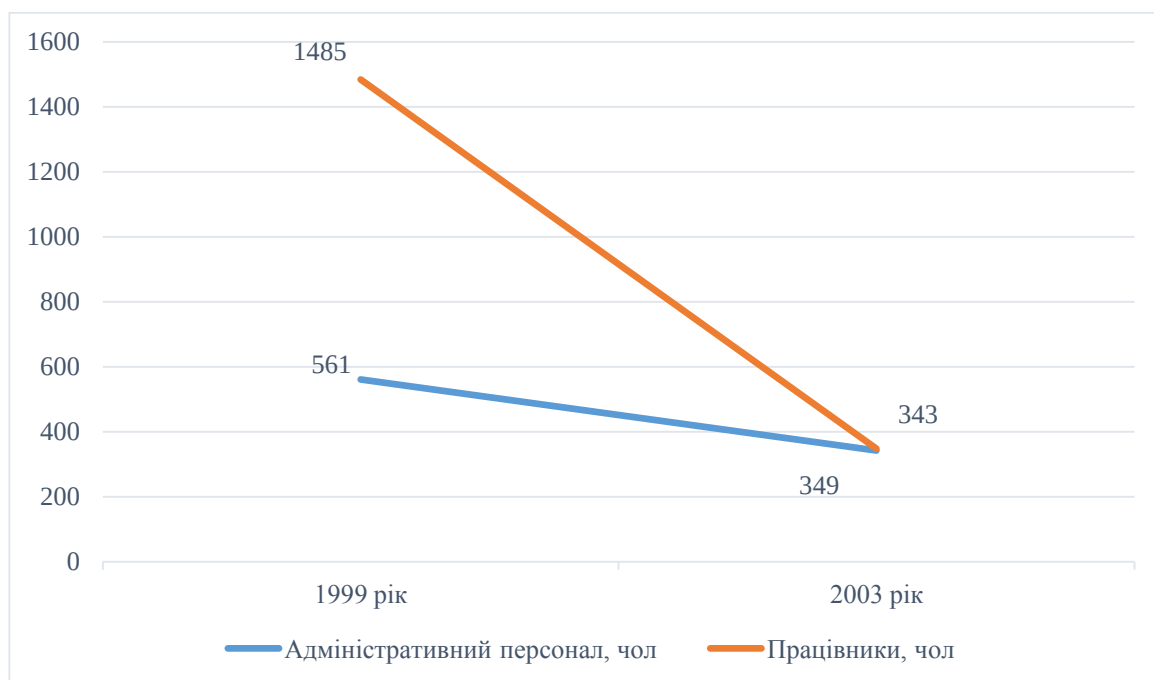


Рисунок 1.22 – Відносне вивільнення персоналу дорожніх служб Естонії

В дослідженні [53] був проведений регресійно-кореляційний аналіз на основі даних реалізації двох проектів ДККП (рис.1.23-1.24).

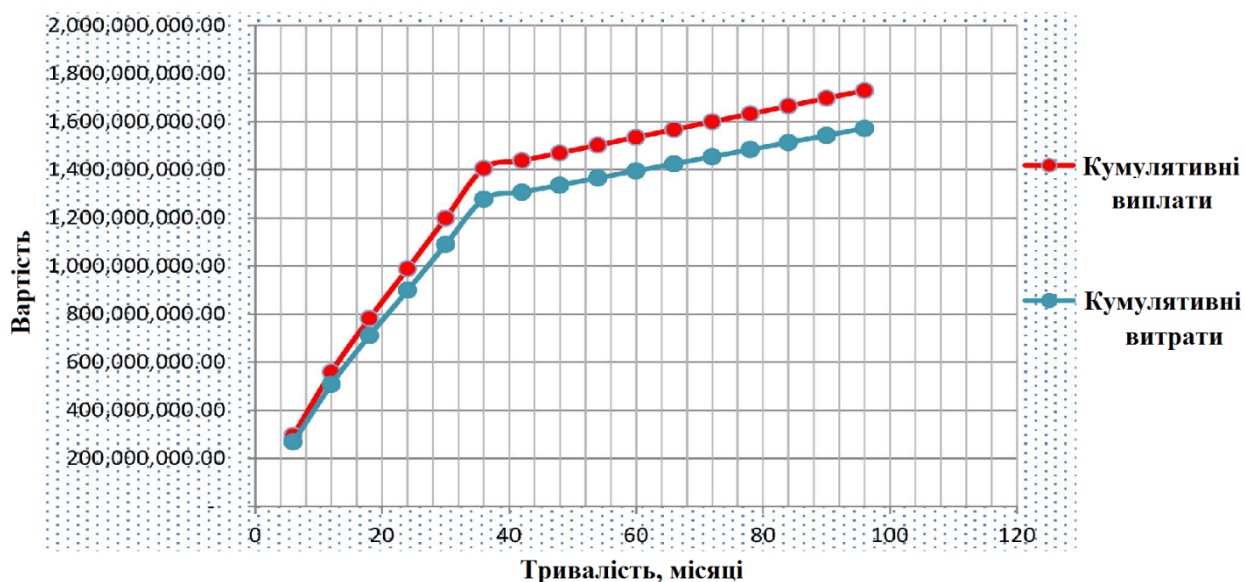


Рисунок 1.23 – Грошовий потік за Проектом 1

Проведений аналіз грошового потоку за проектом (рис.1.23) показав, що протягом усього терміну дії договору виконавець має позитивний грошовий потік, кумулятивні виплати переважають над кумулятивними витратами.

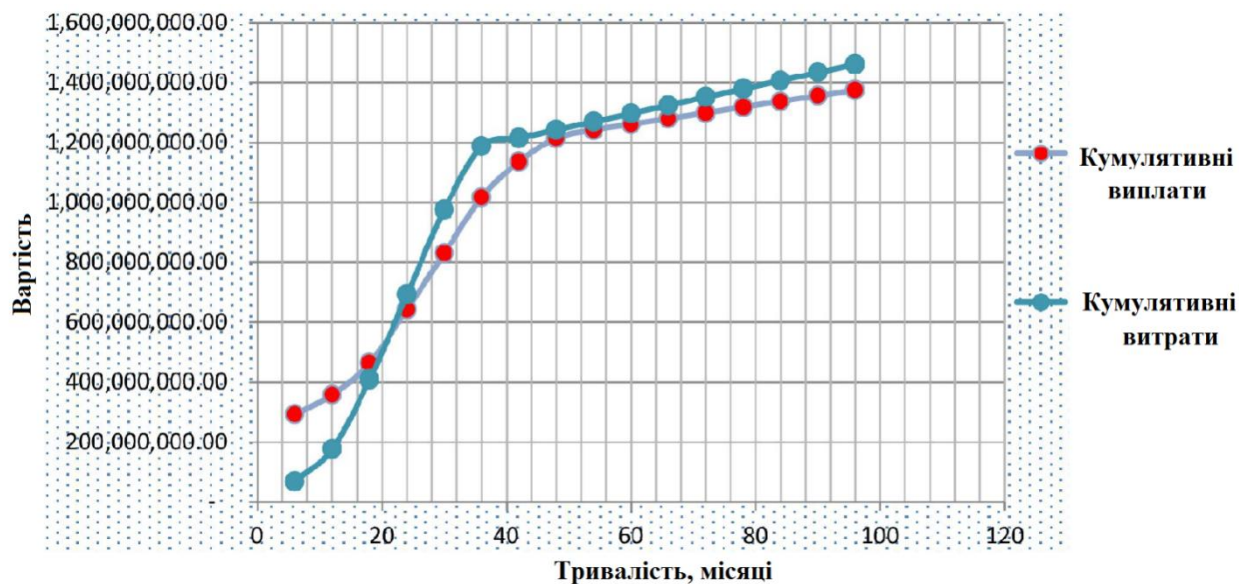


Рисунок 1.24 – Грошовий потік за Проектом 2

Реалізація проекту 2 показує інший досвід (рис.1.24) – спостерігається негативний грошовий потік у деякі періоди проекту, коли підрядник виконує великий обсяг будівельно-технічних робіт з недостатньою сумою коштів. Загальний грошовий потік показує, що проект не приносить прибутку, оскільки кумулятивні виплати менші ніж витрати.

Також в дослідженні [53] було проведене опитування думок стейкхолдерів проектів щодо якості, тривалості та вартості (рис.1.25).

З опитувальників, що роздавалися учасникам проектів ДККП з метою уявлення впливу управління процесами часу, вартості та якості на проект, можна зробити висновок, що вибір найкращої системи управління процесом вартості має першочергове значення для проектів ДККП. Вибір відповідної системи управління процесами вартості, якості та тривалості проектів вимагає пошуку оптимального співвідношення цих факторів ще на стадії передпроектного планування.

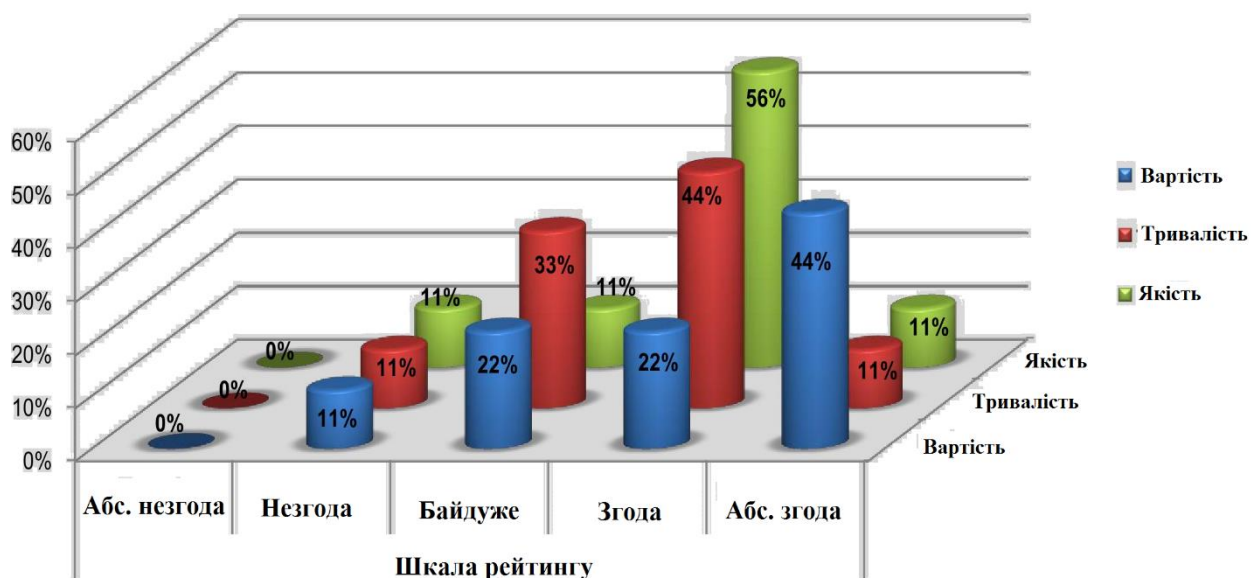


Рисунок 1.25 – Результати опитування стейкхолдерів щодо впливу системи управління якістю, тривалістю та вартістю проектів

В результаті оцінки реалізації проектів ДККП та опитування стейкхолдерів були виявлені та оцінені основні контрактні прогалини (рис.1.26) [52].

Ефекти виявлених викликів були оцінені і, відповідно до відповіді респондентів, ранжовані на основі їхнього пріоритету в залежності від оціненого впливу.

Більшість респондентів (крім учасників, які нейтрально проголосували за недоліки проектів) припустили, що виявлені прогалини, що вплинули на загальне досягнення ефективності реалізації проектів ДККП, обумовлені основними договірними положеннями та критеріями, закладеними ще у передпроектній фазі.

Крім того, також були виявлені такі додаткові контрактні прогалини:

- відсутність чітких контрактних заходів щодо невиконання підрядниками вимог до обслуговування та вдосконалення контракту;
- у контрактах бракує можливостей для виправлення будь-яких неплатежів підрядника (наприклад, проблем з грошовим потоком через затримку або відхилення від цільових часових рамок), коли заздалегідь визначені контрактні зобов'язання відхиляються від встановлених;

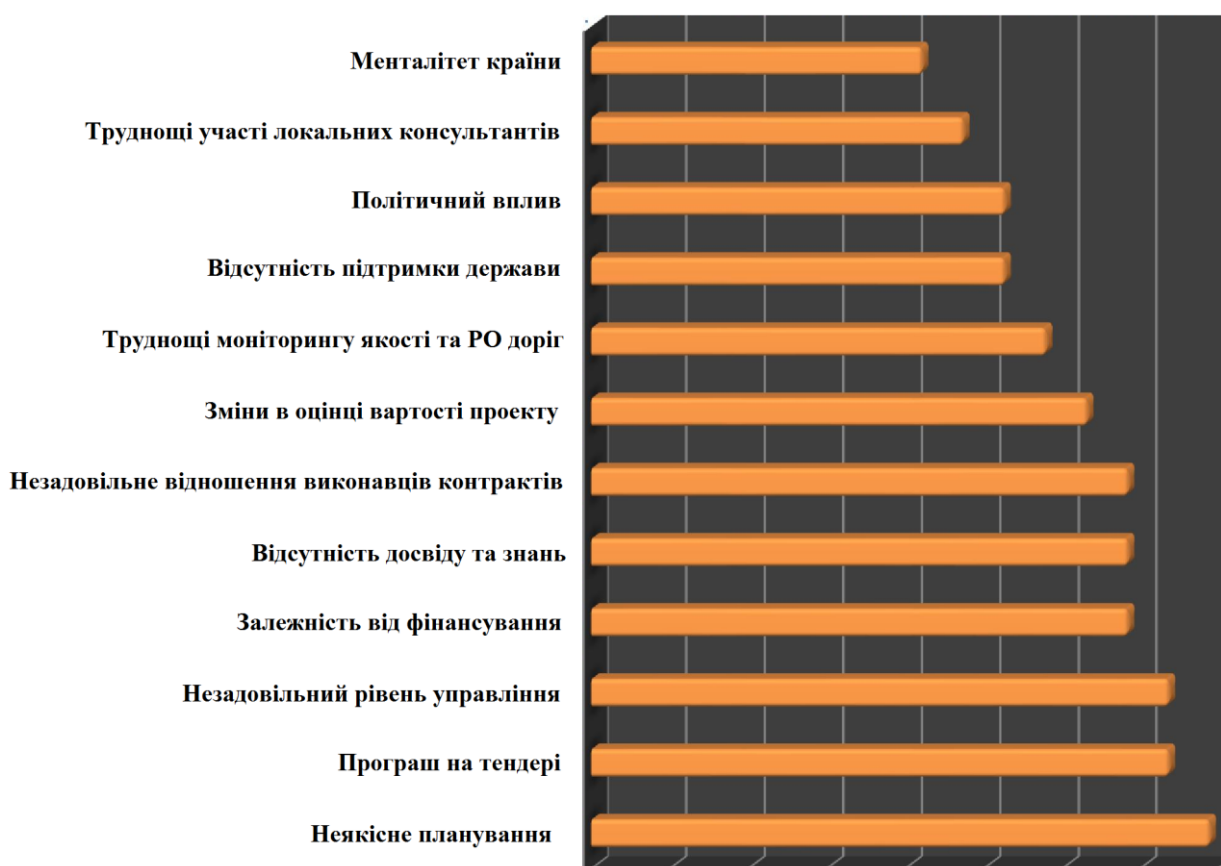


Рисунок 1.26 – Виклики проектів ДККП згідно опитувань стейкхолдерів

- фінансова модель підрядника повинна бути частиною критеріїв попередньої кваліфікації на стадії передпроектного планування;
- у підрядника відсутня реалістична програма, яка враховує прогнозування робіт, витрат та ризиків відхилення від умов контракту;
- у підрядника відсутнє розуміння потреб проекту, необхідного ресурсного забезпечення, неправильне сприйняття щодо виконання основних положень контракту;
- положення з контракту ДККП передбачає обмежений обсяг робіт із виконання планових ремонтно-відновлювальних заходів;
- зменшення функції контролю якості, дотримання рівнів обслуговування та обмеження ролі нагляду за оцінкою кінцевих показників створює так званий «ризик якості»;

- невиконання зобов'язань договірних сторін, що виникає через нерозуміння основних положень договору, ролей та відповідальності учасників;
- проблеми з оформленням штрафних санкцій у випадку, якщо дорожня адміністрація не зафіксувала факт недотримання рівнів обслуговування вчасно;
- для встановлення рівнів обслуговування та моніторингу показників необхідні чіткі базові (вхідні) дані про стан автомобільних доріг.

Отже, процес впровадження ДККП має свої особливості, під час якого можуть виникнути певні труднощі, які умовно можна поділити на дві категорії:

1. Внутрішньоадміністративні:

1) Чисельність працюючого персоналу дорожніх служб.

При переході до ДККП виникає необхідність скорочення персоналу адміністрації, так як потрібно менше ресурсів для управління та контролю ДККП.

2) Нові знання та відповідний рівень кваліфікації.

Так як ДККП є порівняно новим видом контрактів для України, адміністрації повинні дуже ретельно підготувати та перекваліфікувати робітників (за необхідності) для якісної розробки проектів з експлуатаційного утримання, управління процесом виконання ДККП та контролю за дотриманням якісних показників.

3) Визначення показників якості.

Від чітко і правильно визначених показників якості залежить вартість та якість експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Тому персонал дорожньої служби повинен мати гарні знання та досвід для визначення існуючого та бажаного стану доріг, для встановлення реально доступних показників якості, вказаних в ДККП.

2. Зовнішні:

1) Рівень розвитку ринку виконавців.

Для нормальної роботи підрядника потрібно визначити найефективніший тип ДККП, який відповідав би рівню розвитку ринку виконавців, та на рівні держави впливати на динаміку розвитку даного сегменту ринку.

2) Довгострокове фінансування проектів ДККП.

В Україні формування держбюджету виконується щороку. Отже, гарантувати фінансування багаторічних ДККП на кожен рік майже неможливо. Така проблема може бути вирішена тільки на рівні керівництва держави – зобов'язанням щорічного фінансування ДККП.

3) Партнерські відносини.

Міцні партнерські відносини між дорожньою службою і підрядником обумовлюють реалізацію ДККП і якість утримання автомобільних доріг. В першу чергу це залежить від рівня макроменеджменту замовника.

4) Мотиваційний механізм.

Як показує досвід країн, що вдало використовують ДККП, поштовхом для їх ефективного використання є мотиваційний механізм, метою якого є стимулювання виконавця дотримуватись рівня обслуговування (якісних показників) та терміну виконання (або навіть перевиконання) робіт заданих контрактом за рахунок дотримання умов фінансування, стимулювання та подальшого співробітництва замовником. Даний механізм дозволить дорожнім службам отримувати необхідний рівень якості та швидкості виконання робіт, а виконавцям – постійну зайнятість та надприбутки за рахунок дотримання умов контракту.

Висновки до розділу 1

1. Однією з найвагоміших фаз життєвого циклу інфраструктурного проекту є фаза експлуатації. Проект експлуатаційного утримання автомобільної дороги, який реалізується у фазі експлуатації життєвого циклу інфраструктурного проекту, в нашому розумінні – це сукупність всіх взаємопов'язаних процесів, що ініціюються та протікають у фазі експлуатації

автомобільної дороги, за допомогою впливу на які, шляхом застосування методів управління, розв'язується завдання в досягненні поставленої цілі – обґрунтування показників якості, тривалості та вартості при завданих ресурсних обмеженнях.

2. В Україні стан автомобільних доріг є незадовільним, значна кількість дорожніх активів потребують ремонтів, а відремонтовані дороги – заходів щодо збереження їх елементів у якісному стані. Згідно зарубіжного досвіду перспективними проектами експлуатаційного утримання щодо збереження якісного стану автомобільних доріг є так звані «довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках» (ДККП). Дані контракти мають чітку структуру, яка ґрунтується на рівнях обслуговування (показниках якості). Оплата за цими контрактами здійснюється узгодженими рівними платежами за дотримання відповідних рівнів обслуговування, що визначається за допомогою моніторингу, який виконує організація замовник чи зовнішній консультант. Фінансове стимулювання підрядника базується на системі стимулюючих виплат та штрафів.

3. Використання ДККП в дорожній галузі вимагає корінної зміни функцій державного сектора, починаючи від переходу функцій замовника матеріалів, виробів та техніки до підрядника. Це сприятиме розвитку відносин між державним та приватним секторами та накопиченню досвіду.

4. У підсумку слід зазначити, що враховуючи стан економіки, законодавчої бази, стан ринку підрядників та дорожньої галузі в цілому до основних проблем впровадження ДККП в Україні можна віднести:

- створення системи показників якості, за якою буде оцінюватись робота підрядної організації;
- рівень готовності законодавчої та нормативно-правової бази, для ефективного використання ДККП (багато нормативних актів і законопроектів суперечать потребам ДККП);
- готовність системи експлуатаційного утримання автомобільних доріг до стабільного та вчасного фінансування контрактів;

- впровадження сучасної дорожньо-будівельної техніки та обладнання, технології експлуатаційного утримання та матеріалів високого рівня якості, на зміну застарілих, які не дозволяють забезпечити необхідний рівень якості та термін експлуатації автомобільних доріг;
- вдосконалення системи моніторингу якості виконання робіт, та усунення монополізму в сфері експлуатаційного утримання автомобільних доріг;
- розроблення сучасної моделі оптимізації контрактів (проектів) експлуатаційного утримання автомобільних доріг (як приклад: модель оптимізація відношення «час-вартість-якість» процесу експлуатаційного утримання автомобільних доріг).

Тому, основним напрямком подальших досліджень буде вивчення процесів управління вартістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які базуються на кінцевих показниках якісного стану.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОШЕННЯ «ЧАС – ВАРТІСТЬ» ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА КІНЦЕВИХ ПОКАЗНИКАХ

2.1 Постановка проблеми оптимізації відношення «час-вартість»

Проект вважається успішно реалізованим лише тоді, коли він виконаний на 100% без грошових перевитрат і закінчений в найбільш оптимальний час. Отже, питання оптимізації відношення «час-вартість» є визначальним для успішності проекту ще на стадії ініціації проектів з експлуатаційного утримання доріг. Особливо велике значення дане питання займає для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках (ДККП), які використовуються для реалізації проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Адже, ДККП укладається на довгий термін, а експлуатаційне утримання доріг – є процесом, який виконується постійно, на відміну від будівництва [54].

Для успішної реалізації ДККП в дорожній галузі України, необхідно виконати аналіз методів оптимізації, які використовуються в управлінні проектами з метою подальшого визначення найбільш прогресивного та ефективного. Для цього спочатку визначимо основні принципи роботи ДККП.

Як вже було відмічено, основна різниця між ДККП та звичайним контрактом полягає у зменшенні відповідальності дорожніх служб, тобто, значна кількість ризику і обов'язків, які раніше несла дорожня служба (замовник), тепер покладені на підрядника (виконавця) [55]. В контрактах, які використовують на даний час, підряднику сплачують за виконані роботи в натурально-об'ємному вимірюванні (м, км, м² тощо), що дуже відрізняється від ДККП, де підставою для оплати, наприклад, є не кількість ліквідованих вибоїн, а те, що після закінчення терміну, обумовленого в контракті, вибоїни взагалі будуть відсутні (тобто «100% усунено») [15, 56]. Принцип роботи

контрактів за видами робіт та ДККП представлений у вигляді схем на рис. 2.1 – 2.2.

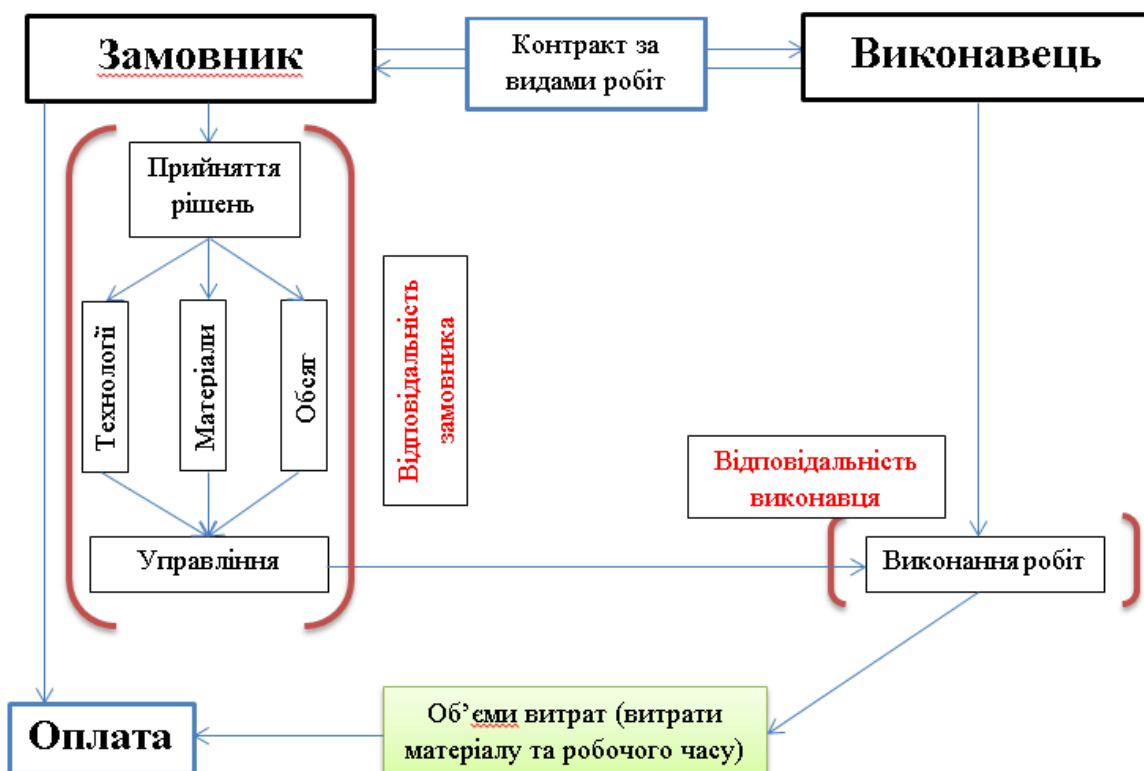


Рисунок 2.1 – Принцип роботи контрактів за видами робіт (короткострокові контракти)

При використанні ДККП (рис.2.2) замовник не обмежує виконавця у прийнятті рішень, виконавець може обирати і впроваджувати нові технології з метою зниження витрат та підвищення ефективності робіт, але при цьому якість послуг не повинна бути нижчою ніж зазначено в контракті [55]. Тобто, підрядник відповідає за виявлення кращих засобів для досягнення бажаного стану активу в рамках контракту [55].



Рисунок 2.2 – Принцип роботи ДККП (довгострокові контракти)

Підчас укладання контракту замовником задаються показники якості (наприклад, рівність покриття – 100 %), яких виконавець повинен дотримуватись при наданні послуг. У разі їх дотримання оплата за виконання робіт виконується рівномірними платежами в обсязі, обумовленому в контракті. Якщо показники якості недотримані, замовник накладає штраф, що впливає на розмір оплати, тобто зменшує дохід замовника [10, 29, 55]. Окрім цього, виконавець несе повну відповідальність за управління проектом. Відповідальність підрядника за управління наведена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Відповідальність підрядника за управління проектом
(адаптовано з [10])

У дослідженні [51] Schliessler та Gericke підкреслюють те, що виплата за послуги виконавцю робіт, відповідно до даного типу контрактів зможе покрити всі затрати, які він поніс під час утримання доріг (окрім непередбачуваних витрат, які оплачуються окремо). Оскільки, для того, щоб отримати вчасно та в повному обсязі виплати, виконавець робіт повинен забезпечити рівень обслуговування відповідно до зазначених у контракті показників якості, може спостерігатися нерівномірність вкладених ресурсів підрядником [51]. На початкових етапах реалізації контракту витрати підрядника зазвичай будуть значними, але з часом, коли завдання підрядної організації буде полягати лише в підтримці забезпечених рівнів обслуговування, витрати зменшаться, а виплати залишаться ті самі, що й дозволить підряднику отримати достатній прибуток.

Тривалість ДККП зазвичай довше традиційних контрактів. Це обумовлене тим, що на підрядника покладається більше ризиків і відповідальності, а також підрядник зобов'язаний проводити деякі роботи по експлуатаційному утриманню автомобільних доріг з періодичністю в декілька років [57].

Залежно від кількості включених у ДККП активів (елементів автомобільних доріг) розрізняють два типи контрактів [55]:

1. Простий – контракт, предметом якого є один елемент автомобільної дороги (утримання захисних огорожень, утримання укосів тощо).
2. Комплексний – контракт, предметом якого є всі елементи автомобільних доріг (утримання захисних огорожень, знаків, покриття, узбіч тощо).

Відповідно до Американської асоціації інженерів-будівельників, залежно від призначення контракту ДККП класифікують на 9 типів (табл. 2.1) [55, 57].

Таблиця 2.1 - Класифікація контрактів ДККП відповідно до Американської асоціації інженерів-будівельників (адаптовано з [55, 57])

№	Тип	Призначення та особливості	Приклад
1	2	3	4
1.	Простий (Single activity)	Для утримання одного елементу чи об'єкту автомобільної дороги	Експлуатаційне утримання огорожень
2.	Один актив (Single asset)	Для утримання одного виду активів. Може включати перелік робіт з ремонту та утримання	Прибирання мосту, очищення труб
3.	Набір відповідних заходів або Комплексний (Set of related activities)	Для утримання всіх елементів і об'єктів автомобільної дороги. Включає набір відповідних заходів з ремонту та утримання	Контракт на експлуатаційне утримання певної дороги
4.	Коридорний (Corridor)	Для ділянок доріг обмеженого доступу. Включає набір заходів з ремонту та утримання	Платні автомагістралі, автомобільні дороги великих підприємств
5.	Гнучкий або Охоплюючий (Area-wide)	Для мережі доріг у певній області, районі чи місті розташування підрядника. Включає набір відповідних заходів щодо їх підтримки	Експлуатаційне утримання автомобільних доріг у місті Чикаго
6.	Гібридний (Hybrid)	Поєднує окремі елементи традиційних контрактів та контрактів що засновані на показниках якості	Деякі роботи оплачуються на основі вартості за одиницю, а інші - пов'язані з ключовими показниками якості
7.	Агентство до агентства (Agency-to-agency)	Для утримання доріг певного регіону. Украдається між двома державними дорожніми підприємствами. Можливо укласти з містами	Штат Мічіган

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
8.	Гарантійний (Warranty-based)	Зобов'язує підрядника підтримувати актив у вказаному чи забезпеченому стані на визначений час.	Забезпечення рівності покриття на 100% протягом 1-го року
9.	Мультифазовий (Multiphase)	Включає більше ніж одну фазу життєвого циклу активу, а також можуть включати в себе самофінансування підрядника	Експлуатаційне утримання покриття протягом 3 років

Ще однією особливістю ДККП є обов'язкове визначення гарантій. Відповідно до [58] гарантії за ДККП можна розподілити на: короткострокові, довгострокові та гарантійне обслуговування. Короткострокові гарантії – це гарантії, які забезпечують захист інтересів замовника від ризику неякісного виконання прихованих робіт (наприклад робіт, які виконувались щодо конструкції дорожнього одягу). Терміни дії гарантії варіюють від 2 до 10 років після виконання робіт (відповідно до умов контракту) та можуть включати тільки роботи косметичного характеру без суттєвого втручання. На рисунку 2.4 наведено етапи життєвого циклу короткострокових гарантій.

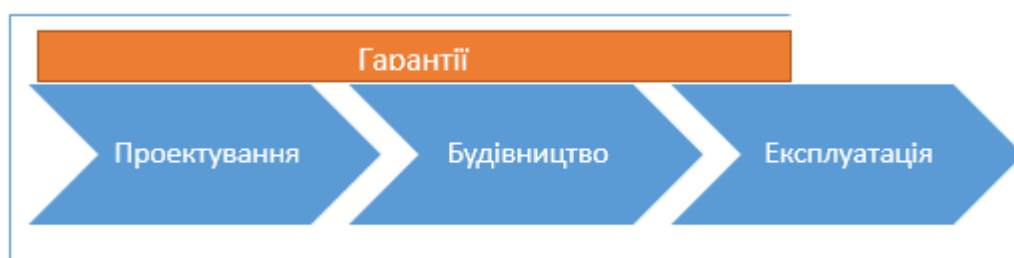


Рисунок 2.4 – Етапи життєвого циклу короткострокових гарантій

Отже, короткострокові гарантії забезпечують захист від ризиків лише на певний період життєвого циклу автомобільної дороги, яка експлуатується. Дорожні агентства можуть перекласти всі ризики, пов'язані з якістю виконання робіт та послуг з утримання, на підрядну організацію, використовуючи довгострокові гарантії, які охоплюють повністю весь життєвий цикл

автомобільної дороги і можуть включати не тільки утримання, а й ремонт (рис. 2.5).

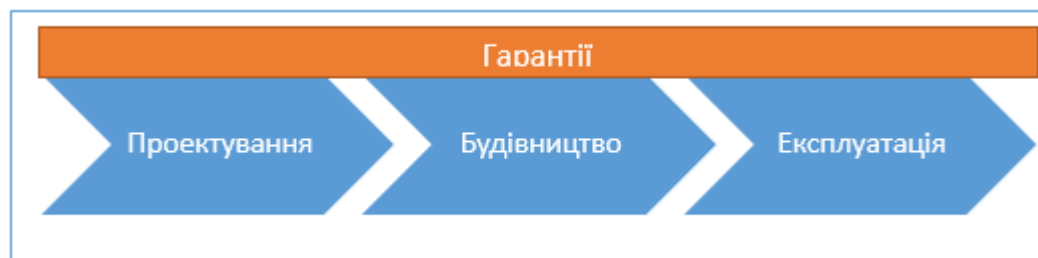


Рисунок 2.5 – Етапи життєвого циклу автомобільної дороги при використанні довгострокових гарантій

На відміну від інших видів гарантій гарантійне обслуговування не розповсюджується на етапи проектування та будівництва і відноситься тільки до експлуатаційного утримання доріг (рис. 2.6).

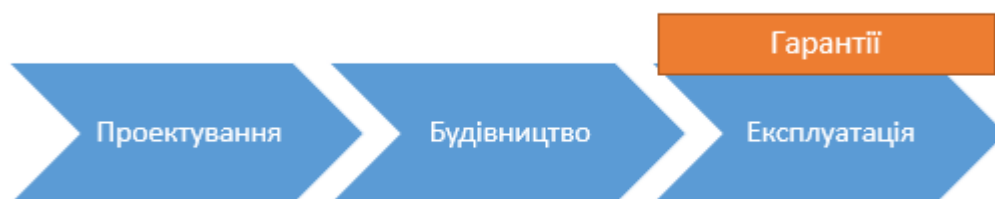


Рисунок 2.6 – Фази життєвого циклу при використанні гарантійного обслуговування

Як відзначається в дослідженні [59] в основному ризики за проектами ДККП порівнюють з подіями, умовами, процесами, які неможливо передбачити на етапі планування, а їх виникнення може призвести до негативних наслідків та які можуть погано вплинути на кінцевий результат. Як приклад в [60] відзначають чотири основні груп ризиків: на етапі закупівлі; ризики фінансування; ризики по завершенню; операційні ризики. На відміну від класичних контрактів за видами робіт ДККП дозволяє врахувати наступні види ризиків [61]:

- стан основи дорожнього одягу;
- використання вторинних або невипробуваних матеріалів;
- збільшення термінів утримання;
- нечітко визначені значення показників якості;
- недостатній контроль якості;
- різниця в методах вимірювання;
- взаємодія між сторонами контракту та чітке розуміння його філософії.

Найбільшим ризиком при використанні ДККП для експлуатаційного утримання доріг є недотримання вимог експлуатаційних характеристик (показників якості) протягом обумовленого періоду експлуатації. Якщо враховуються дані ризики, економічні наслідки за недотримання умов контракту лягають на підрядника, а компенсація ризиків може бути виконана за рахунок вартості контракту.

Для врахування всіх ризиків, які можуть виникнути потрібно визначити фактори, що впливають на експлуатаційні якості доріг та термін експлуатації дорожніх активів. Оскільки, у випадку виникнення передчасного руйнування або погіршення стану, що невраховане в проекті, підрядник повинен буде покрити всі пов'язані з цим витрати за рахунок власних резервів. Разом з визначенням всіх факторів та ризиків потрібно чітко розуміти показники якості або рівні обслуговування, які вимагають дорожні агентства, з метою уникнення двозначності та непорозумінь.

У ДККП основні ризики, які можуть виникнути в процесі утримання та реалізації контракту перекладаються на сторону, яка виконує управління процесом реалізації проекту. В такому випадку основні ризики перекладаються на підрядну організацію, адже вона має найбільший вплив на процес здійснення проекту з експлуатаційного утримання автомобільної дороги, реалізацію та управління контрактом.

Більшість літературних джерел, присвячених дослідженню ризиків здійснення проектів з експлуатаційного утримання доріг, зосереджені на

визначенні ризиків для контрактів за видами робіт та носять скоріш суб'єктивний характер, оскільки, вони розглядають узагальнено процес та важливість управління ризиками.

В [62] визначено, що для успішного управління ризиками в ДККП необхідно здійснювати моніторинг стану автомобільної дороги на стадії ініціації проекту та на момент укладання довгострокового контракту, а також виконувати подальший контроль в майбутньому.

Процес оцінки утримання доріг на основі довгострокових контрактів повинен забезпечити виконання оцінки фінансових потреб, які необхідні для ефективного утримання доріг відповідно вказаним рівням обслуговування. Створення чіткої програми робіт базується на можливості точного прогнозування потреб, а також визначенні ефективних варіантів вирішення даних потреб.

Більшість моделей, розроблених для фінансового планування, базуються на очікуваному або середньому значенні майбутнього стану автомобільних доріг, а ризики пов'язані з очікуваним станом взагалі за часту ігноруються. Даний фактор ризику може бути визначений як прогнозована зміна стану покриття [62]. Проте, слід зазначити, що фактичний ресурс дорожніх активів не обов'язково може співпадати з середнім значенням, він може бути як більшим, так і меншим.

Казаков і Кук [63] приводять приклад – якщо вартість реконструкції становить 1 мільярд доларів, а прогнозована тривалість міжремонтного строку – 14 років, в такому випадку за даний період 1/14 мережі потребуватиме для утримання дорожнього 71,4 мільйона доларів на рік. А якщо термін експлуатації становитиме не 14, а 15 років – вартість утримання складе 66,7 мільйона доларів на рік.

Таким чином, враховуючи особливості експлуатації автомобільних доріг, їх життєвий цикл є важко прогнозованою величиною, що містить ризики невизначеності. Дані ризики необхідно враховувати не тільки через складність визначення тривалості життєвого циклу, а й для обґрунтування показників

якості (рівня обслуговування). При зниженні критичного рівня показників якості значення терміну служби активу теж буде знижуватись, і навпаки. Таким чином показник якості теж ускладнює процес визначення вартості утримання автомобільних доріг та створює певні ризики. Для спрощення даної ситуації можна утримувати мережу, яка відповідатиме критичному рівню, але це може створити ще більше фінансове навантаження на дорожні агентства. Таким чином, можна припустити, що номінальна частина доріг може утримуватися нижче прийнятого критичного рівня без суттєвого впливу на рівні обслуговування (показники якості).

Moynihanet та співавтори [64] звертають увагу на те, що як державні агентства, так і підрядні організації не мають точних методичних підходів для визначення вартості гарантійних витрат. Відсутність такої моделі пояснюється тим, що система гарантій багатьох країн створена порівняно недавно, а недостатність даних не дозволяє якісно спрогнозувати майбутні витрати.

Емері [65] розглядає кількісну модель, яка може бути використана для оцінки та визначення ризиків, обґрунтування вартості управління дорожніми активами, яка заснована на розподілі Пуассона. Дана модель використовує підхід стохастичного управління активами, що зазвичай використовується дорожніми агенціями в США. Розрахунок гарантій починається з матриці відмов, ймовірностей, обсягів та виду робіт (табл.2.2-2.3).

Таблиця 2.2 – Матриця відмов, ймовірностей, обсягу та ремонту [65]

Пошкодження	Ймовірність	Обсяг	Вид робіт
Шорсткість та тріщини	5%	5000 м2	Поверхнева обробка
Колії	5%	Повністю	Усунення колійності
Тріщини у покритті	1%	Повністю	Поверхнева обробка з модифікованими в'язучими
Вологість покриття	5%	Повністю	Влаштування дренажного шару
Випотівання в'язучого	5%	Повністю	Поверхнева обробка

Таблиця 2.3 – Вартість гарантій [65]

Пошкодження	Ймовірність (P)	Обсяг (Q)	Показник вартості	Вартість (C), дол. США	P x C
Шорсткість та тріщини	5%	5000 м2	0,6	2976,2	148,9
Колії	5%	Повністю	0,87	42603,2	2130,2
Тріщини у покритті	1%	Повністю	1,03	50349,2	503,5
Вологість покриття	5%	Повністю	0,71	34857,1	1742,9
Випотівання в'язучого	5%	Повністю	1,03	50349,2	2517,5
Всього					7043,0

Класичний спосіб визначення вартості проекту експлуатаційного утримання автомобільних доріг абсолютно не підходить для визначення вартості довгострокових контрактів, які потребують врахування декількох показників якості (рівнів обслуговування).

Запропонована модель в [65] була апробована для визначення вартості гарантій за проектом. Проте, процес утримання автомобільних доріг має декілька циклів ремонту та зносу покриття протягом гарантійного терміну, що не було враховано в даній моделі.

Автори Дем'янович та Чжан [66] використали для оцінки вартості короткострокової гарантії структурний метод, заснований на надійності. Для визначення кількісного значення вартості гарантій була розроблена методологія системного аналізу. Проте, даний метод неефективний при плануванні на довгострокову перспективу.

Ряд авторів [67-69] підкреслюють, що для стимулювання підрядних організацій в рамках реалізації ДККП доцільно використовувати схему «витрата+час» та «заохочення / стримування».

Зокрема, Herbsman та Glagola [67] звертають увагу на те, що схема «заохочення / стримування» (З/С) сприяє розвитку та заохочує підрядні

організації раніше завершувати поставлені перед ним завдання, що зазначені контрактом.

Bordat [70] звертає увагу на проблему перевитрат дорожніх агентств на утримання автомобільних доріг, особливо враховуючи зростання рівня комфорту та проблему недофінансування даного сектора. Визначення факторів, які призводять до перевитрат коштів є дуже важливою задачею, дослідженням якої займалося багато науковців, зокрема, Rowland [71], Jahren and Ashe [72], Al-Momani [73], Chang [74] та ін.

Однак, одним із обмежень минулих досліджень є припущення (як правило, через недолік даних), що перевитрата коштів, поряд з іншими характеристиками витрат, поводить ся однаково за різних методичних підходів [75].

Дослідження витрат на основі підходу державно-приватного партнерства в проектах експлуатаційного утримання доріг, може дозволити більш точно прогнозувати ймовірність та об'єм перевитрат.

Критерій оцінки перевитрат можна представити у вигляді формули [75]:

$$\% CO_{ki} = 100 \times [(C_{Fki} - C_{WBki}) / C_{WBki}], \quad (2.1)$$

де $\% CO_{ki}$ – це відсоток перевитрати проекту i відносно проекту k , %;

C_{WBki} – проектна вартість;

C_{Fki} – фактична вартість після завершення та здачі проекту.

Відповідно до рівняння (2.1) перевищення витрат має позитивний характер, коли фактична кінцева вартість CF вища ніж запроектована CWB і негативний характер – коли процес протікає навпаки.

Одним із методів визначення ймовірності виникнення одного з цих двох результатів прогнозування перевитрат є використання дискретних моделей для категоріальних змінних так званих «бінарних», тобто результатів може бути тільки два – 0 або 1.

Таким чином були розроблені дві бінарні моделі – «probit» та «logit» [75]. Перша забезпечує вищий рівень статистичної відповідності. Ймовірність перевитрат за бінарною probit моделлю визначається наступним чином:

$$P_{ki}(CO) = \Phi[(\beta_{CO}X_{COki} - \beta_{CU}X_{CUki})/\sigma], \quad (2.2)$$

де $P_{ki}(CO)$ – ймовірність спостереження і у підході ДПП к із перевищенням витрат,

Φ – стандартизований кумулятивний нормальний розподіл,

X_{COki} та X_{CUki} – вектори факторів, що впливають на ймовірності наслідків перевитрати або відсутність перевитрати (включаючи недооцінку витрат) CO і CU відповідно;

σ – масштабний параметр, який визначає дискретні результати ($\sigma=1$).

За даними [76] для визначення параметра β можна використати методи максимальної вірогідності. Величина перевитрат, яка може бути розрахована у відсотковому значенні за допомогою рівняння 2.1 є постійною змінною, яка може мати як позитивні, так і негативні значення відповідно до можливості врахувати перевитрати. В даному випадку лінійна регресія може бути використана для моделювання взаємозв'язку між неперервною залежною змінною або кількома незалежними змінними:

$$\%CO_{ki} = \beta_{ki} + \beta_{CO}X_{COki} + \varepsilon_k, \quad (2.3)$$

де $\%CO_{ki}$ – залежна змінна (як визначено у рівнянні 2.1);

β_{ki} і β_{CO} – константи;

X_{COki} – незалежна змінна для спостереження і ($i = 1, 2, \dots, n$) у проекті k ;

ε_k – проміжок часу, при якому відбувається перевитрата.

З метою точності визначення всі витрати на проекти можуть бути перераховані в поточних цінах за формулою:

$$C^* = C_{ref} * \frac{I^*}{I_{ref}}, \quad (2.4)$$

де C^* – вартість проекту (наприклад, вартість виграшного контракту, фактична кінцева вартість тощо) у будь-якому році;

C_{ref} – вартість проекту у контрольному році;

I^* – індекс ціни для року C^* ;

I_{ref} – індекс цін для контрольного року.

Далі потрібно встановити, чи можна виразити параметри моделі уніфіковано, іншими словами – чи є параметри моделі просторово переданими (чи є показники однаковими як для США, так, наприклад, для країн Азії). Така просторова гнучкість забезпечить точність в розрахунках.

Для уникнення непорозумінь та забезпеченні просторової передаваності параметрів використовують коефіцієнт ймовірності, який визначається за формулою [75] (2.5):

$$X^2 = -2 * [LL(\beta_j) - LL(\beta_{US}) - LL(\beta_A)], \quad (2.5)$$

де US та A – представляють два регіони (в даному прикладі США та Азія);

$LL(\beta_j)$ – це вірогідність збіжності моделі J, оціненої за даними обох регіонів;

$LL(\beta_{US})$ – це вірогідність збіжності моделі за аналізом проектів США;

$LL(\beta_A)$ – це вірогідність збіжності моделі за аналізом проектів, реалізованих в Азії.

Проведене попереднє оцінювання реалізованих проектів на довгострокове експлуатаційне утримання автомобільних доріг визначило коефіцієнт ймовірності у 90% [75]. Таким чином, результати даної моделі вважаються узгодженими у всіх просторових областях.

За формулою (2.6) були виконані коррахунки перевірки на альтернативні коефіцієнти ймовірності:

$$-2[LL(\beta_{ba}) - LL(\beta_a)] \text{ та } -2[LL(\beta_{ab}) - LL(\beta_b)] , \quad (2.6)$$

де $LL(\beta_{ba})$ – логарифмічна вірогідність при збіжності моделі з використанням зведених параметрів з області b (використовуючи лише дані з області b) щодо даних області a (обмежуючи параметри, що приймаються як розрахункові параметри області b);

$LL(\beta_{ab})$ – це логарифмічна вірогідність при збіжності моделі з використанням зведених параметрів з області a (використовуючи лише дані з області a) на дані області b (обмежуючи параметри, що приймаються як розрахункові параметри області a);

$LL(\beta_a)$ та $LL(\beta_b)$ – це логарифмічна вірогідність при збіжності моделі, використовуючи дані області a та b відповідно.

Статистична оцінка виражається як коефіцієнт ймовірності X^2 зі ступенями свободи, які рівні кількості оцінювальних параметрів β_{ba} чи β_{ab} . Дана оцінка враховує ймовірність того, що проекти різних країн мають різноманітні параметри.

Результати, які були отримані за альтернативними моделями були майже еквівалентними тесту на коефіцієнт вірогідності, який наведений в рівнянні 2.5. А гіпотеза відповідності параметрів моделей різних країн має рівень достовірності 0,9 [75]. Дані, які були отримані в результаті розрахунків за даним методичним підходом доказують, що регіональні моделі забезпечують статистично схожі дані.

Також було з'ясовано, що чим довша тривалість проектів ДККП, тим менше ймовірність перевитрат. Зокрема, збільшення одиниці запланованої вартості призведе до наступного ймовірного значення перевитрат – 0,3% [75].

Такий аналіз вимагає подальшого розгляду методів оптимізації параметрів проектів експлуатаційного утримання доріг, таких як «час», «вартість», «якість».

2.2 Методи оптимізації відношення «час-вартість»

Оптимізація відношення «час-вартість» є дуже складним процесом особливо в умовах невизначеності. Внаслідок того, що ДККП укладається не менш ніж на 2 роки, а для якісного експлуатаційного утримання автомобільних доріг їх фінансування повинно виконуватись постійно і без затримок, вибір необхідного методу оптимізації є дуже складним процесом. Отже, обрати метод оптимізації відношення «час-вартість» дуже складно внаслідок присутності багатьох факторів та цілей контракту, які обумовлені особливостями проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг. З кожним роком методи еволюціонують та вдосконалюються, формуючи все більше і більше моделей, алгоритмів та різноманітних підходів і способів до оптимізації відношення «час-вартість» [77].

В роботах [78-89] розглядаються математичні методи, які забезпечують точність результату, але потребують великої кількості розрахунків. В роботах [90-105] автори використали евристичні методи, які були простішими ніж математичні, але не забезпечували глобальну оптимізацію. В роботах [106-110] наведені змішані (метаевристичні) методи, які поєднують в собі як математичні, так і евристичні підходи до оптимізації.

Отже, для виконання вимог щодо управління процесами тривалості та вартості проектів, методи оптимізації поділяються на [111]: математичні, евристичні та змішані (метаевристичні) (рис. 2.7).

Математичні методи базуються на визначенні основних показників, які впливають на залежність між часом та вартістю контрактів з метою формування задачі у вигляді математичної моделі з використанням лінійного, нелінійного, цілочисленного та динамічного програмування для їх вирішення.

Перевагою даного класу методів є точність та обґрунтованість, але значна кількість активів в проекті вимагає виконання великої кількості математичних розрахунків, що ускладнює процес оптимізації [111].

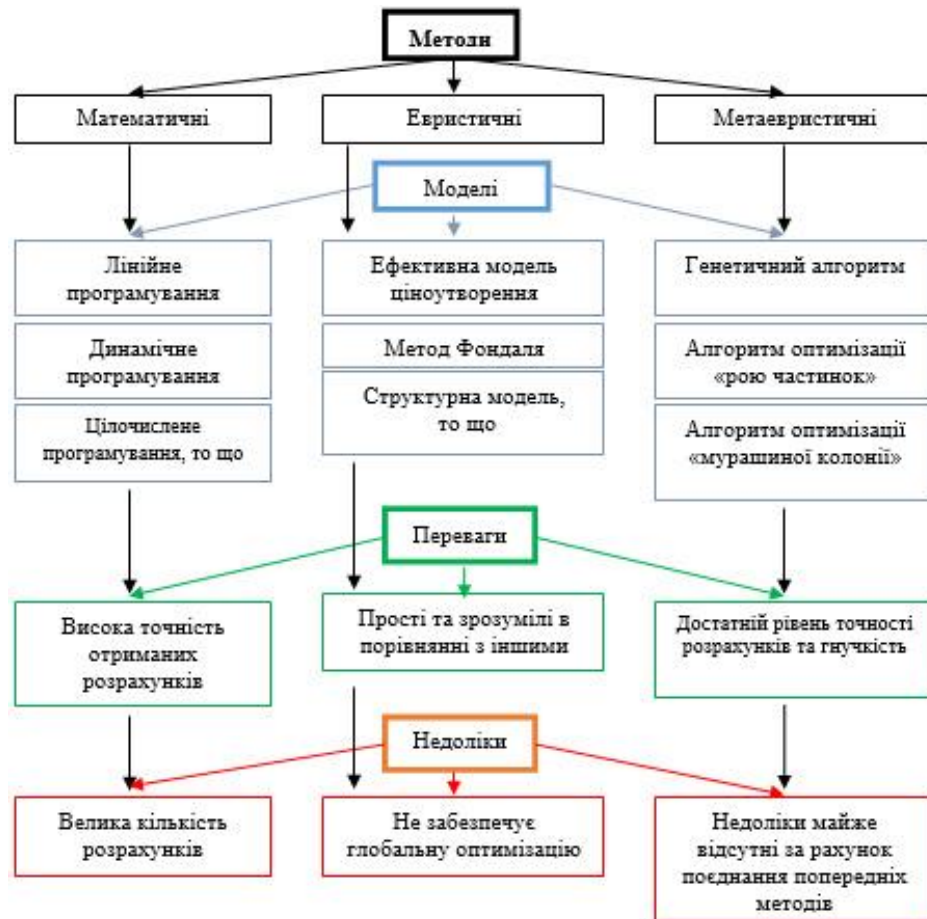


Рисунок 2.7 - Методи та моделі оптимізації часу, вартості та якості проектів [77]

Евристичні методи використовують послідовні алгоритми, розроблені для визначення і прийняття найбільш оптимального рішення, які базуються на основних принципах і вимогах задачі. Дані алгоритми є дуже простими та зрозумілими, що дозволяє прийняти вигідне рішення, але брак математичної обґрунтованості та незабезпечення глобальної оптимізації є великим їх недоліком [111].

Змішані або метаевристичні методи, на відміну від попередніх, є більш гнучкими та сучасними завдяки одночасному поєднанню математичного та

евристичного підходів до оптимізації. Методи даного класу використовуються на різних рівнях процесу оптимізації, тим самим забезпечуючи якість та відносну точність отриманих результатів. Тобто створюються так звані еволюційні алгоритми. Найбільш поширеними є генетичні алгоритми, оптимізація «мурашиної колонії» та інші [111].

Усі методи оптимізації, які можна застосувати до відношення «час-вартість», мають ряд своїх особливостей, переваг та недоліків, які необхідно враховувати при визначенні найбільш підходящого для вирішення конкретної задачі. Аналіз найбільш прогресивних методів оптимізації часу та вартості проектів наведено в таблиці 2.4 [77].

Таблиця 2.4 – Аналіз методів оптимізації часу та вартості проектів

Мето	Моделі, підходи та алгоритми	Автори та рік	Примітка
1	2	3	4
Математичні	Лінійне програмування (ЛП)	Kelly E., James Jr.. [78] 1961 p.	В роботі «Critical path planning and scheduling: mathematical basis» запропонована математична модель, як основа для методу критичного шляху (МКШ), який використовується в плануванні та координації інженерних проектів. Вагомою складовою даного методу є параметрична лінійна програма, яка враховувала інформацію про час та затрати, які необхідні на різних етапах проекту.
		Hendrickson C. [79] 1989 p.	Назва роботи: «Project Management for Construction»
		Pagnoni A. [80] 1990 p.	Назва роботи: «Project Engineering: Computer Oriented Planning and Operational Decision Making»
	Динамічне програмування (ДП)	Butcher W.S. [81] 1967 p.	Назва роботи: «Dynamic programming for project cost-time curve»
		Robinson D. R. [82] 1993 p.	Назва роботи: « A dynamic programming solution to cost-time tradeoff for CPM»
Математичні	Динамічне програмування (ДП)	Moselhi El., Rayes K. [83] 1993 p.	Назва роботи: «Scheduling of repetitive project with cost optimization». Була запропонована модель ДП з введеними змінними грошових витрат в процес оптимізації. Дана модель складалася з двох етапів. В першому виконується аналіз відношення «час-вартість» для визначення локального мінімуму, а на другому виконується визначення процесу, який забезпечує досягнення необхідного результату.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
		Elmaghraby S. E. [84] 1993 p.	В роботі «Resource allocation via dynamic programming in activity networks» автор використав ДП для вирішення питання розподілу ресурсів у проекті для зменшення часових термінів його виконання.
	Гібридні ЛП/ДП/ЦП	De P., Dunne E. J., Wells C. E. [85] 1995 p.	Назва роботи: «The discrete time-cost trade-off problem revisited»
		Burns S.A., Liu L., Feng C.W. [86] 1995 p.	Назва роботи: «The LP/IP hybrid method for construction time-cost trade-off analysis». Автори використали математичну модель ЛП для визначення найбільш оптимальних часових термінів для проектів в будівництві. Даний метод має суттєвий недолік – для створення математичної моделі необхідно визначити основну цільову функцію та обмеження, що потребує багато часу.
		Burns S.A., Liu L., Feng C.W. [87] 1996 p.	Назва роботи: «The linear programming and integer programming hybrid method for construction time-cost trade-off analysis». Оптимізацію відношення «час-вартість» автори виконали за допомогою гібридної математичної моделі ЛП/ЦП. Для вирішення проблеми модель має два етапи: в першому визначається мінімум, а на другому використовувалось ЦП для визначення кінцевого точного результату.
	Цілочислене програмування (ЦП)	Mayer W. L., Shaffer L.R. [88] 1963 p.	Назва роботи: «Extension of the critical path method through the application of integer programming» та «A horizon-varying, zero-one approach to project scheduling». Проблему оптимізації відношення «час-вартість» автори вирішили за допомогою ЦП, враховуючи, як лінійну так і дискретну залежність між часом та вартістю. Недолік - ЦП потребує великої кількості розрахунків.
		Patterson J. H., Huber D. [89] 1974 p.	
Евристичні	Метод Фондаля	Fondahl J. W. [90] 1961 p.	Назва роботи: «A non-computer approach to the critical path method for the construction industry». Fondahl J. W. розробив альтернативний МКШ. Він використав кругову та контактну лінійну діаграми для оптимізації відношення. Перевага - легкість використання методу. Недолік – неможливість виконання глобального оптимального вирішення.
	Структурна модель	Prager W. [91] 1963 p.	Назва роботи: «A structured method of computing project cost polygons». Prager W. р використав модель ЛП Келлі та формування мережевого потоку Фальксона, створивши модель для оптимізації. Недолік – можливість використання тільки при лінійній залежності між часом та вартістю.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
Евристичні	Ефективна модель ціноутворення	Siemens N. [92] 1971 p.	Назва роботи: «A simple CPM time-cost trade-off algorithm». За допомогою даного алгоритму можна скоротити часові витрати проекту, якщо він виходить з заздалегідь визначених меж. Переваги – легкість в використанні та відсутність потреби використання комп'ютера в порівнянні з ЛП та подібними методами. Недолік – незабезпечення глобальної оптимізації.
	Модель структурної жорсткості	Moselhi O. [93] 1993 p.	Назва роботи: «Schedule compression using the direct stiffness method». Автор запропонував модель оптимізації часу на основі мінімальної вартості. Дана модель базується на методі прямої жорсткості.
Евристичні	Модель з врахуванням багато-профільних ресурсів	Hegazy T., Shabeeb A.K., Elbeitagi E. Cheema T. [94] 2000 p.	Назва роботи: «Algorithm for scheduling with multi-skilled construction resources». Автори вдосконалили евристичний метод, шляхом врахування багато-профільних ресурсів. Перевага – врахування інформації про ресурси. За допомогою такої бази даних менш важливі ресурси можна використовувати в період дефіциту основних, тим самим зменшивши витрати часу
		Zheng H., Li H., Tan C.M. [95] 2006 p.	Назва роботи: «Heuristic scheduling of resource constrained, multiple mode and repetitive project». У цьому методі всі операції в проекті згруповані у всі можливі комбінації і заплановані у відповідні групи. Евристичний алгоритм класифікує всі можливі комбінації та аналізує їх з подальшим вибором найбільш підходящої, яка потребує менших витрат часу. Недолік – не враховує ефект впливу часу проекту на прямі витрати, а отже і на загальні.
	Генетичний алгоритм (ГА)	Li H., Love P. [96] 1997 p.	Назва роботи: «Using improved genetic algorithms to facilitate time-cost optimization». Li та Love запропонували модель, яка дозволяє зменшити обсяг розрахунків для оптимізації. Це реалізувалося за допомогою вдосконаленої моделі ГА для оптимізації часу, вартості та ресурсів. Переваги – зменшення кількості розрахунків.
		Hegazy T. [97] 1999 p.	Назва роботи: «Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms». За допомогою ГА було виконано пошуку шляху оптимізації, який дозволив зменшити загальну вартість проекту, яка була прийнята в якості об'єктивної функції з врахуванням специфіки необхідної вартості та терміну реалізації проекту. Для вирішення ГА автори використали програмне забезпечення MS Project 4.1. Переваги – врахування строків реалізації проекту, щоденних стимулів, щоденних потреби на ліквідацію втрат та щоденних непрямих витрат. Недолік – вимагає великої кількості розрахунків для великих сітьових проблем.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
Змішані (метаевристичні)	Генетичний алгоритм (ГА)	Leu S., Yang S. [98] 1999 p.	Назва роботи: «Genetic algorithm based multi-criteria optimal model for construction scheduling». Автори розробили багатокритеріальну оптимізаційну модель ГА для будівельних проектів. Недолік – необхідна велика кількість розрахунків.
		Li H., Cao and Love [99] 1999 p.	Назва роботи: «Using machine learning and genetic algorithm to solve time-cost trade-off problem». В роботі розглянута нелінійна залежність між часом та вартістю. Для цього автори створили квадратичну криву часових витрат для формування об'єктивної функції, яка в свою чергу розраховується за допомогою ГА. Недолік – квадратична залежність часу та вартості не може бути використана для великих проектів.
		Senouci N., Eldin N. [100] 2004 p.	Назва роботи: «Use of GA in resource scheduling of construction project». Автори розробили розширену лагранжеву модель ГА для планування ресурсів. Вони врахували відношення пріоритетних задач, мінімізацію вартості проекту та вплив на часові терміни його виконання. Також розглянули нелінійну та лінійну залежність для створення цільової функції.
		Chen P.H., Weng H. A [101] 2009 p.	Назва роботи: «Two phase genetic algorithm model for resource constrained project scheduling». Для вирішення питання планування ресурсів для реалізації будівельних проектів автори розробили двофазну модель ГА. На першому етапі якої за допомогою ГА створюється розклад для кожного виду діяльності, з врахуванням відношення «час-вартість». На другому – планування ресурсів з врахуванням часових та грошових вимог визначених на першому етапі.
		Shahsavari N., Ghamginzaden A., Pour M.. [102] 2012 p.	Назва роботи: «A new approach to solve the time-cost trade-off problem based on genetic algorithm and fuzzy theory». Шарзавари та співавтори запропонували вирішити проблему оптимізації за допомогою ГА та нечіткого (fuzzy) підходу. В даному методі автори використали підхід Тагучі для задання параметрів моделі. А також розглянули умови невизначеності для будівельних проектів.

Закінчення таблиці 2.4

1	2	3	4
Змішані (метаевристичні)	Генетичний алгоритм (ГА)	Feng C.W., Liu L., Burns S.A. [103] 1997 p.	Назва роботи: «Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems». Автори вирішили питання оптимізації даного відношення за допомогою ГА з використанням принципу Парето. Недолік – модель не може враховувати ресурсні обмеження та використовується на фінішні стадії.
		Gen M., Cheng R. [104] 2000 p.	Назва роботи: «Genetic Algorithms & Engineering Optimization»
		Zheng X.M., Ng S.T. [105] 2004 p.	Назва роботи: «Kumaraswamy Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization»
	Алгоритм оптимізації «рою частинок» (АОРЧ)	Yang I.T. [106] 2007 p.	Назва роботи: «Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis». Ян використав ГА з принципом Парето. Модель була розроблена для вирішення таких цілей: отримання всього фронту Парето за один підхід; розглянути всі функції залежності «час-вартість» (лінійну, нелінійну, дискретну, переривчасту та гібридну). Даний метод модифікує пошукову процедуру у вигляді популяції «рою частинок».
	Алгоритм оптимізації «мурашиної колонії» (АОМК)	Xiong Y., Kuang Y. [107] 2008 p.	Назва роботи: «Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time–cost trade-off»
		Ng S.T., Zhang Y. [108] 2008 p.	Назва роботи: «Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach»
	Алгоритм «пошуку гармонії» (АПГ)	Geem Z. W. [109] 2010 p	Назва роботи: «Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search»
	Багато-цільовий оптимізаційний підхід	Shrivastava R., Singh S., Dubey G.C. [110] 2012 p.	Назва роботи: «Multi-objective optimization of time-cost-quality-quantity using multi colony Ant algorithm». В роботі автор використовує багатоцільовий оптимізаційний підхід для оптимізації відношення «час-вартість-якість» на основі підходу АОМК. Цільова функція була отримана шляхом кількісної оцінки часу реалізації, вартості та якості проекту.
		Sultana P., Surajit K. S. [111] 2012 p.	Назва роботи: «GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration». Автор використовує багатоцільовий підхід на основі ГА. В дослідженні використовується дискретна залежність між часом проекту та ресурсами.

Для вирішення задачі управління процесами вартості та тривалості проектів у галузі транспортного будівництва Burns та співавтори [89-87] використовували метод цілочисленного програмування, Li та Love [99], Hegazy [97], Leu [96] використовували генетичний алгоритм.

Багато авторів розробили удосконалені моделі, в яких виконали спробу оптимізувати значення часу та вартості з урахуванням процесів невизначеності. До них відносяться роботи Feng [103], Leu, Yang [104], Zheng [105], в яких автори використовували генетичний алгоритм для вирішення задачі оптимізації відношення «час-вартість». У 2000 році Feng із співавторами [103] використали спільно метод моделювання та генетичний алгоритм. Згодом, у 2004 році Zheng [105] розробив адаптивний підхід до використання генетичних алгоритмів, а у 2005 році Zheng разом з Thomas [105] використали теорію нечітких множин для стохастичної задачі оптимізації витрат часу.

Використання алгоритму мурашиної колонії для вирішення питання оптимізації відношення «час-вартість» запропонував Afshar у 2009 році [112].

Останнім часом дослідження в даній області зосередились на необхідності включення до процесу управління показниками тривалості та вартості проектів параметру «якість». Так, у 1996 році Babu та Suresh [113] за допомогою лінійного програмування зробили спробу оптимізувати час, вартість та якість. На основі даної моделі дослідники Khang та Myint [114] розглянули реальний будівельний проект, з подальшим вдосконаленням даного методу, визначення його придатності до практичних умов та ефективності. Згодом, у 2005 році, використовуючи генетичний алгоритм El-Rayes та Kandil [115], зробили спробу надати параметру «якість» проекту експлуатаційного утримання доріг кількісного значення, в той час як інші дослідники такий підхід не використовували.

У 2010 році Lakshminarayanan з співавторами [116], представили параметри якості, як фактори ризику, на основі опитування керівників проектів

та підрядних організацій, а Santosh у 2013 році разом з співавторами [117] використали для вирішення даної задачі нечіткий генетичний алгоритм.

Аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість» вказує на складність даного процесу, який зумовлений різноманітністю інженерних проектів, які мають свої особливості і потреби. На шляху знаходження найбільш ефективного методу, автори використовували різноманітні моделі з постійним переходом від простих до більш складних, з подальшим їх вдосконаленням. Головним завданням процесу вибору методів оптимізації є зменшення обсягу розрахунків та отримання більш точних та глобальних результатів. Так, останнім часом змішані методи – такі як генетичні алгоритми займають провідне положення в цій сфері. Всі наступні покоління методів та моделей оптимізації використовують генетичні алгоритми як основу (наприклад такі алгоритм оптимізації «мурашиної колонії»). Але деякі з них мають певні недоліки. Наприклад, в дослідженні [110] автори спробували вирішити проблему оптимізації шляхом розгляду нелінійної залежності між часом і вартістю. Для цього вони створили квадратичну криву часових витрат для формування об'єктивної функції, яка в свою чергу розраховується за допомогою генетичного алгоритму, але квадратичне відношення «час-вартість» є неефективним для розрахунку в великих довготривалих проектах на експлуатаційне утримання доріг.

Беручи до уваги недоліки деяких генетичних алгоритмів фахівці намагаються вдосконалити цей метод для виконання глобальної оптимізації показників проектів. Велика кількість моделей побудованих на основі генетичних алгоритмів (чи з його врахуванням) вказують на значну популярність даного методу, що свідчить про його ефективність. Отже, генетичний алгоритм може бути найбільш оптимальним методом, який забезпечить об'єктивну оптимізацію відношення «час-вартість» для реалізації проектів ДККП в дорожній галузі України.

2.3 Побудова факторіальної моделі управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання доріг

Для успішної реалізації будь-яких проектів потрібно визначити всі можливі фактори, які можуть впливати на процес їх реалізації. Довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках, які використовуються для реалізації проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг не є виключенням. З попередніх проведених досліджень визначено, що процес реалізації проектів експлуатаційного утримання доріг залежить від таких трьох основних складових, як час, вартість та якість. Таким чином, виникає так званий «срібний трикутник», складові якого безпосередньо пов'язані між собою і кожна з них має ряд факторів, які впливають на взаємозв'язок між відношенням «час-вартість-якість» [118]. Зважаючи на складність визначення взаємозв'язку відношення, виникає необхідність у обґрунтуванні основних складових факторів, які впливають на час, вартість та якість реалізації контрактів.

Срібний трикутник часу, вартості та якості був розроблений у середині 1980-х років доктором Мартіном Барнсом, коли він вперше створив Трикутник цілей [119]. Трикутник демонструє, що якість, вартість та час взаємопов'язані. Фокусування або вирішення однієї мети трикутника впливає на інші два фокуси.

Фактори, які впливають на параметри моделі «срібного трикутника» у свій час розглядали Вайдман Р.М. [120], Разу М.Л. [121], Мазур І.І. [122], Шاپіро В.Д. [123], Ольдерогге Н.Г. [124], Милошевич Д.З. [125], Рач В.А. [126], Воркут Т.А. [127], Цюцюра С.В. [128], Криворучко О.В. [129], Хрутьба В.О. [130], Кульбовський І.І. [131].

Аналіз приведених досліджень дозволив сформулювати основні сутнісні характеристики срібного трикутника (рис. 2.8).

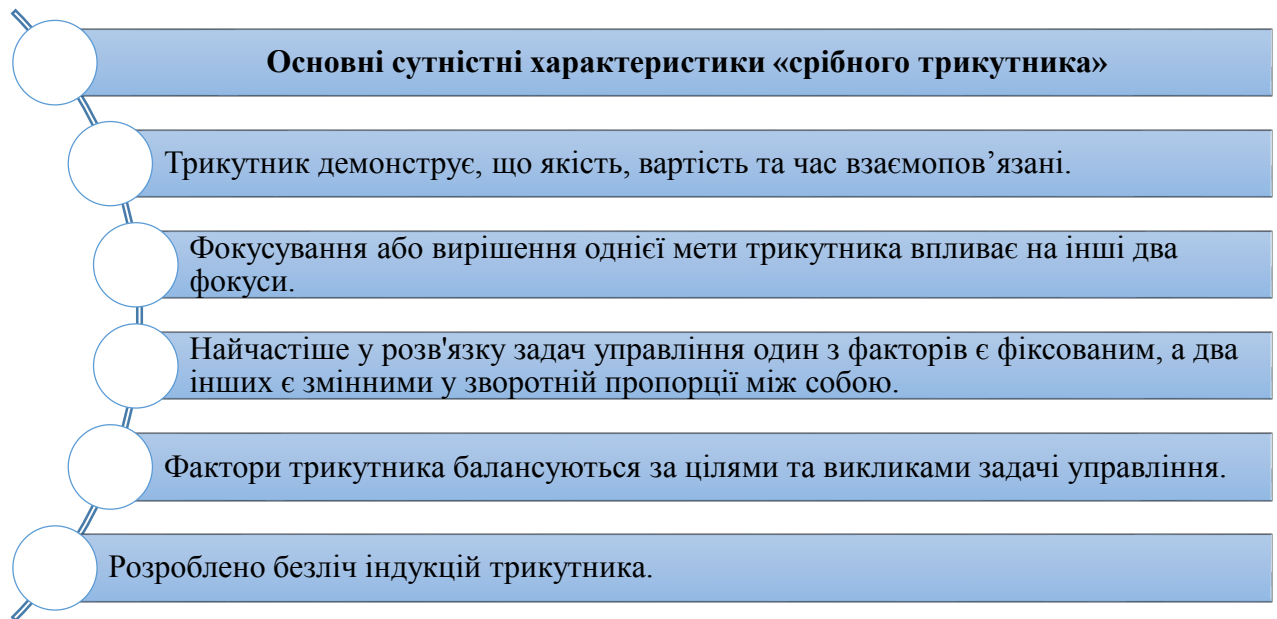


Рисунок 2.8 – Сутнісні характеристики «срібного трикутника»

Отже, для успішної реалізації проекту на експлуатаційне утримання автомобільних доріг потрібно здійснювати ефективне управління часом, вартістю та якістю контрактів [4, 118]:

1. Управління часом – багатоетапний процес, який необхідний для своєчасного виконання робіт зазначених у контракті (ідентифікація головних операцій, визначення зав'язків між ними, визначення їх тривалості тощо).

2. Управління вартістю – процес, який забезпечує моніторинг та контролювання бюджету контракту та складається з багатьох послідовних невід'ємно пов'язаних етапів (визначення необхідних ресурсів, визначення вартості, планування бюджету, аналізування ресурсних відхилень тощо).

3. Управління якістю – процес, який виконується на всіх етапах реалізації контракту та забезпечує аналіз та перевірку відповідності заданим рівням якості, визначеним на початковому етапі розробки контракту, які відповідають потребам споживачів.

Як бачимо, для успішності реалізації проектів виникає необхідність визначити фактори, які впливають на такі основні його складові як: час (Т), вартість (С) та якість (Q) (надалі - ТСQ). Тобто потрібно проаналізувати

складові так званого «срібного трикутника» (рис.2.9) та визначити основні фактори, які впливають на ТСQ.

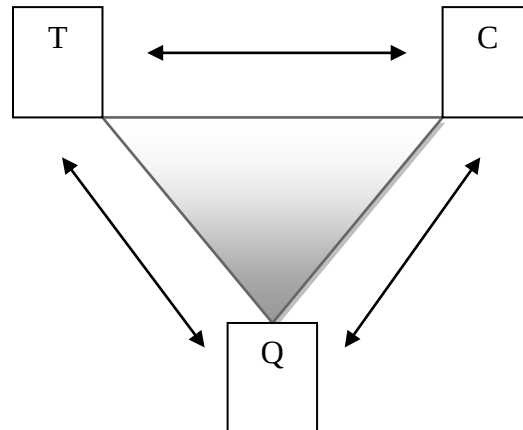
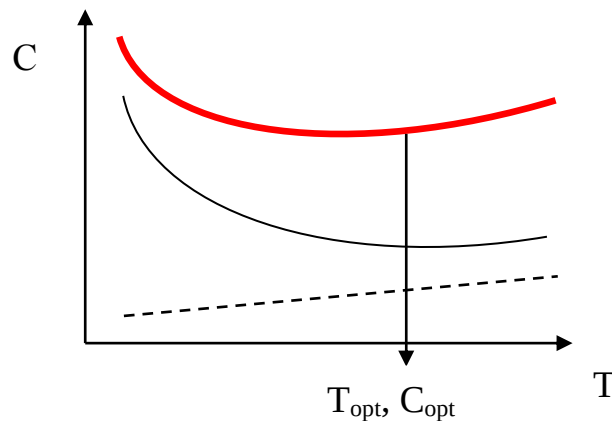


Рисунок 2.9 – Срібний трикутник ТСQ (адаптовано з [132])

Взаємозв'язок ТСQ є дуже складним і неоднозначним, це зумовлено присутністю великої кількості різного роду факторів, які впливають один на одного та безпосередньо на одну або декілька складових ТСQ. Ще одна складність полягає в постійній зміні цих факторів, кількість яких залежить від особливостей проекту експлуатаційного утримання автомобільних доріг та умов, в яких він повинен бути реалізований, а саме: термін дії контракту, економічний стан виконавця та замовника, якість фінансування, рівень інфляції, рівень матеріального та технічного забезпечення виконавця, кліматичні та ґрунтово-геологічні умови, достатність досвіду у виконанні робіт визначених у контракті тощо. Як бачимо, задача визначення факторів, які впливають на час, вартість та якість реалізації контракту дуже складна, особливо в довгострокових контрактах (ДККП укладається не менше ніж на 2 роки), які використовуються для експлуатаційного утримання автомобільних доріг, адже експлуатаційне утримання виконується на протязі всього життєвого циклу автомобільної дороги. Звертаючи увагу на складність визначення ключових факторів необхідно виконати спробу зрозуміти чіткий взаємозв'язок ТСQ.

Відомо, що вартість (C) залежить від витрат, які необхідні для виконання контракту. Витрати в свою чергу поділяються на прямі (пов'язані безпосередньо з виробництвом) та непрямі (адміністративні, тощо) (рис.2.10) [132], що в часі (T) мають різних характер дії. Так, прямі витрати з плином часу зменшуються, а непрямі – збільшуються. Завдання ще більше ускладняється з введенням третьої складової – якості (Q). Тобто, виникає тривимірна модель, де кількість ключових факторів впливу збільшується, тобто факторів стає втричі більше.



Умовні позначення: - - - - непрямі витрати; ----- прямі витрати; ---- загальні витрати;
 T_{opt} , C_{opt} – оптимальні часові та грошові витрати.

Рисунок 2.10 – Взаємозв'язок часу та вартості контрактів (ТС)
 (адаптовано з [132])

Процес взаємозв'язку часу, вартості та якості визначається за допомогою функції (2.7) [133]:

$$F = \{X, Y, Z\}, \quad (2.7)$$

де X – оптимізоване значення часу (T);

Y – оптимізоване значення вартості (C);

Z – оптимізоване значення якості (Q).

За допомогою функції (2.7), підставивши складові-фактори, можна виконати оптимізацію часу, вартості та якості виконання проектів. Для

визначення ключових факторів, які впливатимуть на TCQ (X,Y,Z), розглянемо її складові окремо. Важливо враховувати особливості контрактів та умови, в яких він реалізується, тому кількість факторів, які ми визначили може змінюватись.

Наприклад на час (T) реалізації контракту найбільш суттєво будуть впливати фактори, які пов'язані з часом, який є необхідним для виконання основних операцій, місцем розташування об'єкту та різного роду затримок, які можуть виникнути підчас виконання робіт.

До таких факторів, які впливають на функцію часу (X) відносять [134-136]:

- тривалість виконання основних (запланованих) робіт (x_1);
- тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт (x_2);
- особливість кліматичних та ґрунтово-геологічні умови, який залежить від географічне місце знаходження об'єкту (x_3);
- швидкість роботи робочого персоналу, який залежить від кваліфікованість та досвід роботи організації виконавця (x_4);
- тривалість затримок, які виникли підчас реалізації контракту (x_5).

Відповідно до виконаного аналізу час реалізації контракту, можна визначити за допомогою формули (2.8):

$$X = f\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}, \quad (2.8)$$

де x_1 - тривалість виконання основних (запланованих) робіт;

x_2 - тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт;

x_3 - особливість кліматичних та ґрунтово-геологічні умови;

x_4 - швидкість роботи робочого персоналу;

x_5 – затримки.

Вартість реалізації контракту (C) найбільше залежить від вартості матеріалів та виробів, вартості роботи персоналу, непередбачуваних витрат, штрафів та премій, рівня інфляції, тощо.

До факторів, які впливають на функцію вартості (Y) відносять [134-136]:

- вартість матеріалів, технічного забезпечення, виробів та напівфабрикатів, яка залежить від їх якості (y_1);
- обсяг робіт (y_2);
- вартість виконання робіт, яка залежить від рівня кваліфікації та досвідченості робочого персоналу (y_3);
- рівень складності виконання робіт, яка залежить від специфіки об'єкту та його категорії (y_4);
- штрафи та стимулюючі виплати (y_5);
- інфляція (y_6);
- якість фінансування контракту на різних етапах його виконання, яка залежить від умов контракту та економічного стану замовника (y_7).

Вартість реалізації контракту, можна визначити за допомогою формули:

$$Y = f\{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7\}, \quad (2.9)$$

де y_1 - вартість матеріально-технічного забезпечення;

y_2 - обсяг робіт;

y_3 - вартість виконання робіт;

y_4 - рівень складності виконання робіт;

y_5 – штрафи та стимулюючі виплати;

y_6 –інфляція;

y_7 – якість фінансування контракту.

Якість (Q) є вихідним критерієм, який залежить від потреб користувачів, державних вимог якості виконання робіт, міжнародних правил та норм та інші.

До факторів, які впливають на функцію якості (Z) відносять:

- державні вимоги до якості виконання робіт, які залежать від рівня якості, що вказані, наприклад, в ДБН, ВБН, ДСТУ, ТУ тощо, і не можуть бути порушені тобто бути меншими ніж зазначено в технічній документації ($z_1 = LOS_{\text{норм.}}$);

- споживчі вимоги та потреби, які залежать від потреб місцевого населення та необхідного рівня якості конкретного регіону чи району, вони можуть бути більшими ніж нормативні ($z_2 = LOS_{\text{спож.}}$);

- міжнародні вимоги та норми, які залежать від норм та правил, що прийняті та затверджені на міжнародному рівні ($z_3 = LOS_{\text{міжнародн.}}$).

Якість реалізації контракту, можна визначити за допомогою формули (2.10):

$$Z = f\{z_1, z_2, z_3\}, \quad (2.10)$$

де z_1 - державні вимоги;

z_2 - споживчі вимоги та потреби;

z_3 - міжнародні вимоги та норми.

Фактори, які були визначені і проаналізовані не є сталими, вони можуть постійно змінюватись відповідно до особливостей проекту, що обумовлена специфікою виконання робіт та іншими умовами. Деяке узагальнення факторів, які складають факторіальну модель управління вартістю та тривалістю проектів експлуатаційного утримання доріг можна представити у вигляді таблиці (табл.2.5).

Таблиця 2.5 – Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації ДККП для експлуатаційного утримання доріг

Складові ТСQ	Ключові фактори	Особливості
1	2	3
Час	Тривалість виконання основних (запланованих) робіт	Залежить від особливості та складності робіт (наприклад: зимове утримання автомобільної дороги I-ї категорії)
	Тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт	Залежать від особливостей та рівня складності основних робіт
	Особливість кліматичних та ґрунтово-геологічні умови	Залежить від географічного місця розташування об'єкту (виконання робіт в регіонах з підвищеною вологістю та великою кількістю опадів чи з складним рельєфом ЕУАД буде більш ускладнене та потребуватиме більше витрат часу)

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Час	Швидкість роботи робочого персоналу	Залежить від кваліфікованість, організованості та досвід роботи робочого персоналу організації виконавця (робітник VI - го розряду має більшу продуктивність роботи ніж робітник III - го, а отже він працює швидше)
	Затримки	Залежать від рівня організації виконання робіт, можуть виникати внаслідок невчасного задоволення матеріально-технічних потреб, порушенням державних норм та правил, недосвідченістю робочого персоналу, неправильною організацією робіт, невчасним виконанням поточних робіт, тощо
Вартість	Вартість матеріально-технічного забезпечення	Залежить від якості матеріалів, техніки, виробів, напівфабрикатів, тощо
	Обсяг робіт	Залежить від визначеного контрактом обсягу робіт (ЕУАД I-ї та IV мають різний обсяг)
	Вартість виконання робіт	Залежить від рівня кваліфікації та досвідченості робочого персоналу (чим вищий розряд робітника тим дорожче вартість робіт)
	Рівень складності виконання робіт	Залежить від специфіки об'єкту та його категорії складності (наприклад різниця ЕУАД I-ї та II-ї категорій, тощо)
	Штрафи та стимулюючі виплати	Залежить від вчасно виконаної роботи та від рівня її якості (штрафи стимулюють вчасно виконувати роботи та виправляти помилки без грошових втрат, а премії для перевищення рівня якості чи випередження графіку робіт. Можуть бути передбачені чи ні)
	Інфляція	Залежить від економічного стану регіону
	Якість фінансування контракту	Залежить від умов контракту, якості фінансування державними установами виконавців, фінансовою політикою держави до інфраструктури країни, тощо
Якість	Державні вимоги до якості виконання робіт	Залежать від рівня та вимог до якості робіт, що вказані в нормативно-технічній документації (наприклад в ДБН, ВБН, ДСТУ, ТУ тощо) і не можуть бути порушені, тобто бути меншими ніж зазначено в технічній документації
	Споживчі вимоги та потреби	Залежать від конкретних потреб та побажань місцевого населення, влади та необхідного рівня якості конкретного регіону чи району. Вони можуть бути більшими ніж нормативні, але не меншими

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Якість	Міжнародні вимоги та норми	Залежать від норм та правил, що прийняті та затверджені на міжнародному рівні. Також, як і державні не можуть бути порушені і бути меншими ніж зазначено в вимогах і нормах (наприклад: ЕУАД міжнародного значення Е95)

Аналізуючи наведену таблицю 2.2 можна зробити висновок, що якість управління проектом експлуатаційного утримання автомобільних доріг і, як наслідок, повна і якісна його реалізація залежить від багатьох факторів, які сильно пов'язані між собою. Для ефективного управління контрактом потрібно чітко розуміти і визначити умови в яких контракт повинен буде реалізуватися для врахування всіх факторів з метою побудови реалістичної залежності між часом, вартістю та якістю контрактів. Важкість даної роботи обумовлена постійними змінами умов в яких контракт реалізується, а отже і факторів, які впливають на вигляд вихідної моделі.

Модель управління процесами вартості та тривалості проектів при сталих показниках якості можна представити у вигляді наступної схеми (рис.2.11) [137].

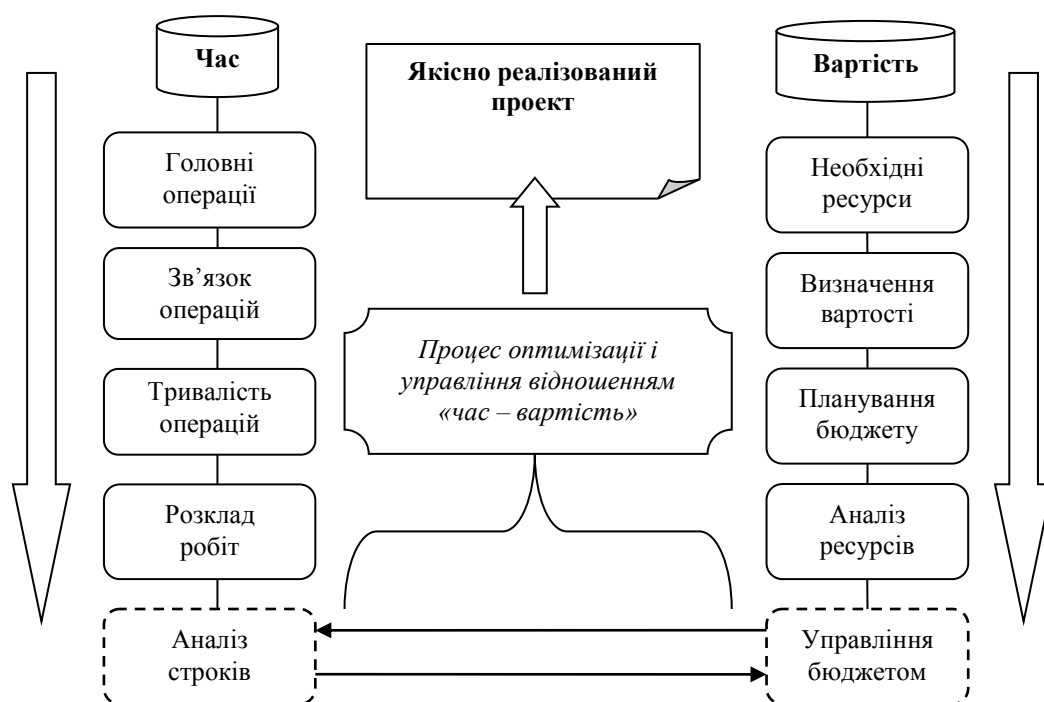


Рисунок 2.11 - Процес управління вартістю та тривалістю проектів

Час та вартість проектів експлуатаційного утримання доріг є взаємозалежні величини, тому велику увагу при розгляді питання управління процесами тривалості та вартості проектів займають різного роду затримки, які збільшують час виконання робіт, що в свою чергу призводить до перевитрат коштів [134]. Загалом, відмічено, що майже всі проекти, особливо масштабні, пов'язані з інфраструктурою, мають значні затримки в часі і, як наслідок, перевитрати коштів. Внаслідок даних затримок як замовник, так і виконавець несуть великі збитки. За даними Міністерства транспорту США в штаті Огайо у 2001 році перевитрати пов'язані з затримками становили 17,03 млн. доларів, що склало 9 % від загальної суми всіх контрактів за поточний рік [135]. В основному ці затримки пов'язані з матеріалами, обладнанням, трудовими ресурсами, фінансуванням, плануванням, затримками субпідряду, відсутністю контролю, технічним забезпеченням та іншими факторами [135].

Виникнення затримок, внаслідок впливу основних факторів «срібного трикутника» можна схематично представити наступним чином (рис. 2.12).

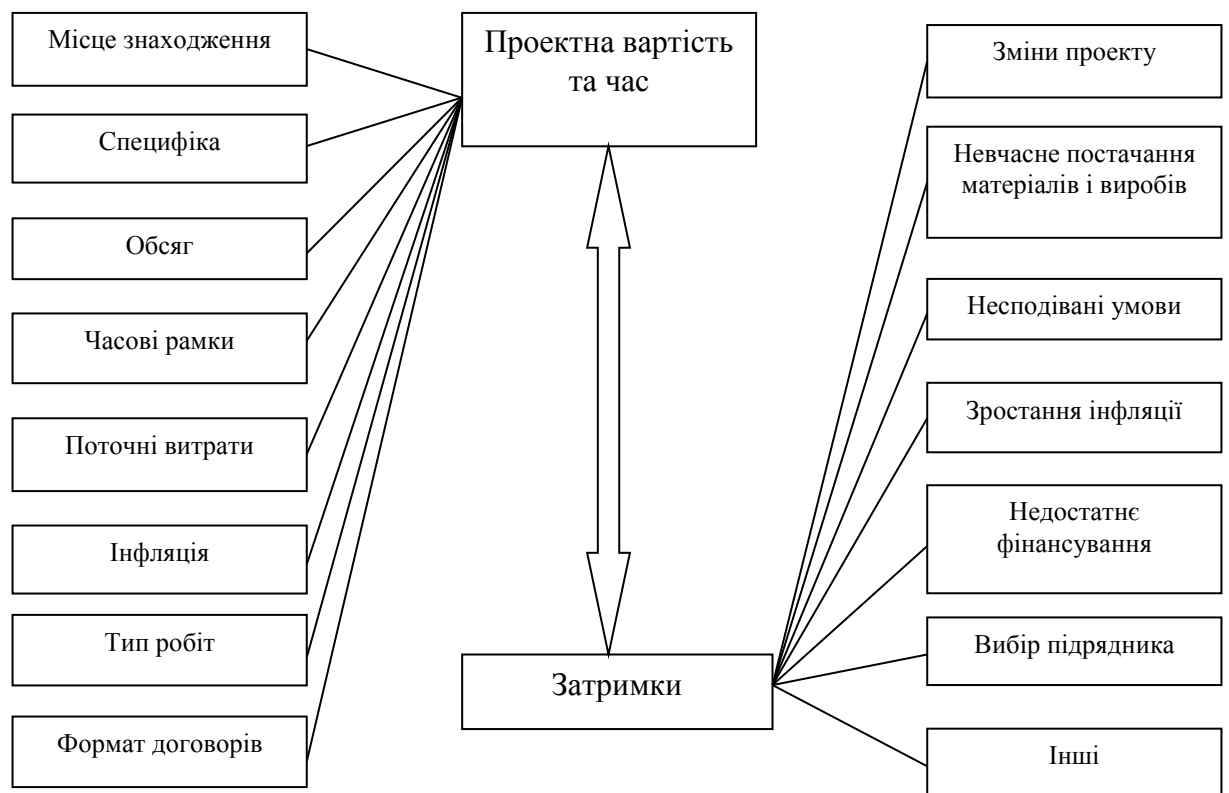
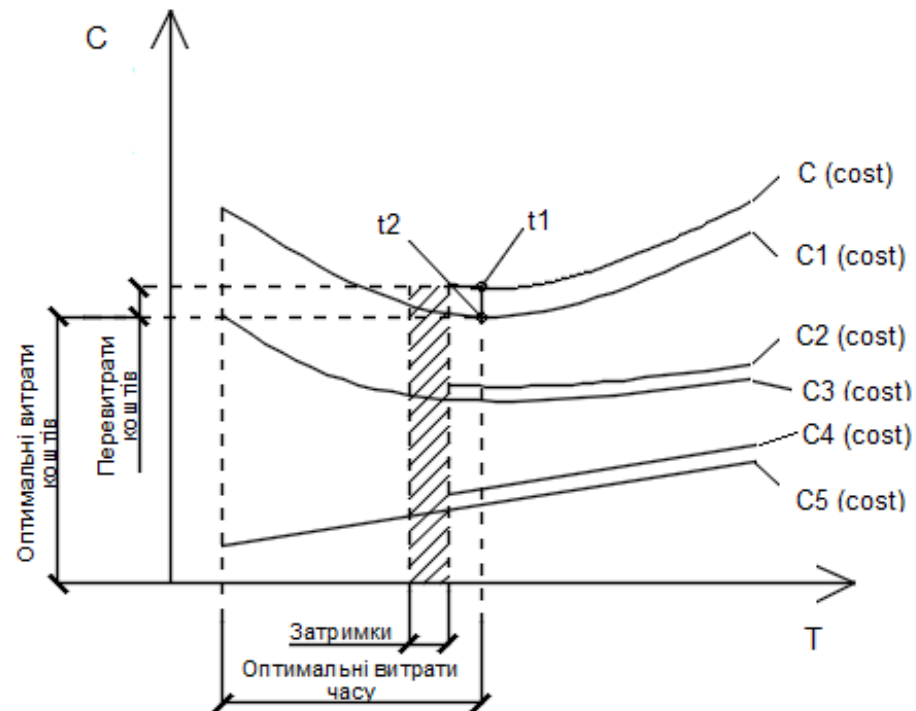


Рисунок 2.12 –Показники та затримки (адаптовано з [136])

Відношення грошових витрат проекту до часу з урахуванням затримок та перевитрат зображено на рисунку 2.13.



Умовні позначення:

- C (cost) – загальні заплановані витрати;
- C1 (cost) – загальні витрати внаслідок затримок;
- C2 (cost) – прямі заплановані витрати;
- C3 (cost) – прямі витрати внаслідок затримок;
- C4 (cost) – непрямі заплановані витрати;
- C5 (cost) – непрямі витрати внаслідок затримок;
- t1 – точка перевитрат;
- t2 – точка оптимальних витрат.

Рисунок 2.13 – Відношення грошових витрат проекту до часу (адаптовано з [138])

Якщо розглядати ці витрати в часових рамках, то вони мають різний характер. Відповідно до графіку зображеному на рис. 2.5 можна помітити, що прямі витрати з збільшенням часу зменшуються, але дії або умови, які будуть зменшувати час призводять до збільшення витрат [9]. Точка оптимальних витрат (t2) вказує на найбільш оптимальні загальні витрати коштів і часу на реалізацію проекту, тому при управлінні відношенням «час-вартість» важливо врахувати всі фактори. Відповідно до графіку затримки будь-якого роду збільшують витрати, як часові так і грошові.

Взаємозв'язок «час - вартість - якість» та їх вплив на успішність реалізації проекту та якісне експлуатаційне утримання автомобільних доріг схематично представимо у вигляді рис. 2.14.

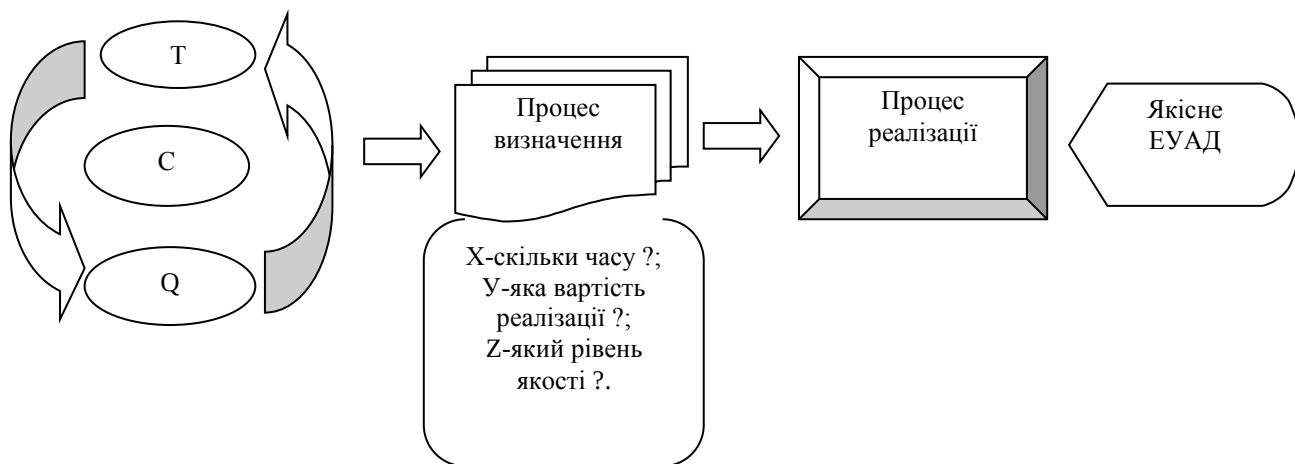


Рисунок 2.14 – Взаємозв'язок «час - вартість - якість» та їх вплив на успішність реалізації проекту

Проведене моделювання факторів, які впливають на параметри «срібного трикутника» дозволило побудувати 3-D модель (рис.2.15) на основі запропонованих параметрів (табл.2.2) і реальних чисельних значень реалізації проекту [139].

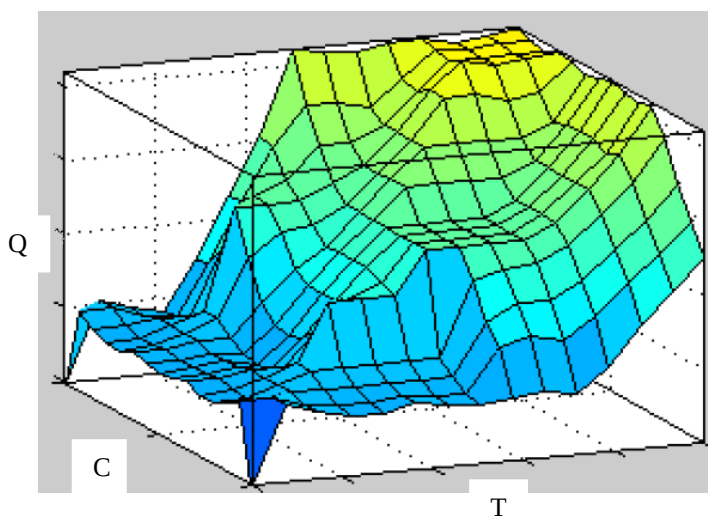


Рисунок 2.15 – Графічна 3-D модель взаємозв'язку часу, вартості та якості контрактів за «срібним трикутником» (TCQ)

Якість моделі визначає рівень якості та правильності виконання процесу управління часом, вартістю та якістю, що дозволяє полегшити роботу, зменшити грошові та часові витрати та усунути можливі затримки з забезпеченням відповідного рівня реалізації ДККП з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Висновки до розділу 2

На основі виконаного дослідження можна зробити такі підсумовуючі висновки, як:

1. Оптимізація відношення «час-вартість» – це дуже складний процес, особливо в умовах невизначеності. В наслідок того, що ДККП укладається на довготривалий термін, а для якісного експлуатаційного утримання автомобільних доріг їх фінансування повинно виконуватись постійно і без затримок, вибір необхідного методу оптимізації є дуже складним процесом. Методи оптимізації можна умовно поділити на: математичні (лінійне програмування, динамічне програмування та ін.), евристичні (метод Фондаля, структурна модель та ін.) та змішані (матеевристичні) (генетичний алгоритм, оптимізація «мурашиної колонії», «пошук гармонії» та ін.). Кожен з методів має ряд переваг та недоліків. Так математичні методи дають точні значення, але потребують великої кількості розрахунків. Евристичні – прості в використанні, але не забезпечують глобальної оптимізації. Змішаний метод має меншу кількість недоліків, що забезпечується гармонійним поєднанням в ньому математичних та евристичних підходів. Внаслідок проведеного аналізу літературних джерел та методів оптимізації відношення «час-вартість» було визначено, що найбільш оптимальним та прогресивним методом є змішаний, а саме, генетичні алгоритми. Це підтверджується значною кількістю наукових досліджень, в яких генетичний алгоритм розглядається, як основа

оптимізаційного процесу. Проте, дана теза потребує подальшого дослідження та апробації на реальних прикладах.

2. Успішність реалізації контракту залежить від умов в яких він повинен бути реалізованим, які в свою чергу визначають фактори, що впливають на час, вартість та якість проектів.

3. Для визначення факторів необхідно розуміти взаємозв'язок трьох основних складових контракту: часу, вартості та якості. Було визначено, що з плином часу прямі витрати зменшуються, а непрямі – збільшуються, що ще більше ускладнює процес визначення факторів, які впливають на взаємозв'язок тривалості та вартості проектів. Ввівши в відношення «час – вартість» показник якості, виникла складна трьохвимірна модель, яка називається «срібним трикутником».

4. Регулюючи час, вартість та якість викає процес управління контрактом. Для опису взаємозв'язку часу, вартості та якості була запропонована математична функція, яка обумовлює побудову факторіальної моделі. Розглянувши складові функції окремо один від одного ми отримали такі фактори для часу, як: тривалість виконання основних (запланованих) робіт; тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт; особливості кліматичних та ґрунтово-геологічні умови; швидкість роботи робочого персоналу; тривалість затримок. Для вартості: вартість матеріально-технічного забезпечення; обсяг робіт; вартість виконання робіт; рівень складності виконання робіт; штрафи та стимулюючі виплати; інфляція; якість фінансування контракту на різних етапах його виконання. Для якості: державні вимоги до якості виконання робіт; споживчі вимоги та потреби; міжнародні вимоги та норми. Кількість факторів, які увійшли у модель, не є сталою, вони можуть змінюватись відповідно до особливостей контракту, які обумовлені специфікою робіт та іншими умовами. Отже, фактори та їх кількість будуть визначатися індивідуально для кожного контракту.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЧАСУ, ВАРТОСІ ТА ЯКОСТІ ПРОЕКТІВ НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДККП

3.1 Дослідження генетичного алгоритму, як методу оптимізації відношення «час – вартість»

В результаті проведеного попереднього аналізу виявилось, що найбільш ефективним та прогресивним є метаевристичний (еволюційний) алгоритм – генетичний алгоритм.

Генетичні алгоритми (ГА) – це ефективні глобальні алгоритми і методи пошуку та оптимізації, які ґрунтуються на законах природного відбору та подальшого використання найбільш оптимальних варіантів вирішення задач за допомогою накопичення інформації з простору пошуку та адаптації до найбільш оптимального варіанту [140, 141].

Вперше ГА був запропонований Джоном Холландом у 1975 році, який базував свій метод на принципі природного відбору Чальза Дарвіна [142]. Своєю популярністю ГА завдячує ряду задач, для вирішення яких він використовується, зокрема, це задачі оптимізації, розкладів, визначення найбільш коротшого шляху вирішення задачі, задачі компонування, біонформатики, створення штучного інтелекту та інші [143].

Так як ГА базується на принципі природного відбору Ч. Дарвіна, для вирішення задачі оптимізації від оперує такими основними поняттями, як популяція та її хромосом. Тобто ГА оперує популяцією осіб, в хромосомі (генотипі) яких введений можливий правильний варіант відповіді (фенотип) – шлях вирішення задачі [143].

До переваг ГА відносять (рис.3.1) [140, 143]:

- 1) ефективно вирішують великомасштабні оптимізаційні задачі;

- 2) використання кодів, які не залежать від аргументів цільової функції;
- 3) достатній рівень продуктивності;
- 4) використання двох механізмів вирішення задачі: детермінованого та імовірнісного;
- 5) простота концепції;
- 6) використання широкого простору пошуку;
- 7) можливість поєднання з іншими методами.

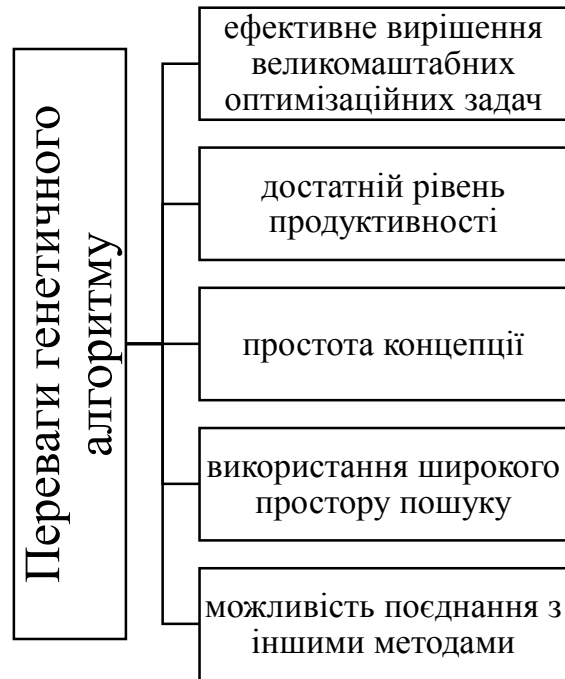


Рисунок 3.1 – Переваги генетичних алгоритмів

Науковці Зорін Ю. М. та Ажнюк Я. Б. [144], розроблюючи генетичний алгоритм для вирішення питання планування проектних робіт, підкреслюють важливість процесу мутації, а головним її завданням вважають – забезпечення пертурбації хромосом з метою збільшення різноманітності популяції.

Юр'єв А.Г. та Ключев С.В. вивчали ГА [145] як метод оптимізації будівельних конструкцій, для визначення найбільш оптимального варіанту конструкції металевої рами, прийшли до висновку, що ГА є достатньо потужним пошуковим методом та незважаючи, на те, що отримані значення розрахунків були субоптимальними, даний метод можна використовувати для пошуку глобальних екстремумів для оптимізації будівельних конструкцій.

В Україні генетичні алгоритми були застосовані для оптимізації процесів, що стосуються прийняття управлінських рішень у дорожньому господарстві, такими дослідниками як Канін О.П. [146], Лантух-Лященко А.І. [147] та їх послідовниками.

Зокрема, в дослідженнях [148] Канін О.П., Боднар Л.П., Халай Т.О. використовували ГА як метод вирішення задачі розробки моделі обґрунтування стратегії ремонту мостів. В результаті тестування створеного алгоритму автори прийшли до висновку, що даний метод є достатньо ефективним для багатьох задач управління станом мостів та елементів автомобільних доріг.

Генетичний алгоритм був використаний в дослідженнях Каніна О.П. та Ігнатюк В.В. [149] як метод оптимізації програм ремонтів дорожнього одягу. Використовуючи можливість генетичного алгоритму, автори створили закодовані хромосоми враховуючи деградацію покриття та різні типи ремонтів автомобільних доріг. В кінцевому результаті були зроблені такі висновки: по-перше, автори відзначили ефективність використання ГА для приведення існуючого стану автомобільних доріг до нормативного протягом декількох років, по друге – визначено, що ГА дозволяє враховувати допустиму послідовність виконання робіт, які залежать від ступеню деградації доріг, а дані особливості можуть бути обумовлені за допомогою кросоверу хромосом та мутацією генів.

Татусь В.В. [150] використовуючи генетичний алгоритм, для вирішення питання оптимізації ризиків в управлінні проектами автомобільних доріг, відзначає, що генетичні алгоритми достатньо ефективні для визначення оптимального резерву зменшення (пом'якшення) ризиків. За даними автора, генетичні алгоритми ефективні в вирішенні багатьох складних задач практичного характеру, коли математичні моделі за рахунок багатопараметричної структури дуже сильно ускладнені.

Дослідники Корецький А.С. та Руденок Л.О. [151] під керівництвом Лантуха-Лященко А.І. вивчаючи генетичні алгоритми для проектування

елементів транспортних споруд, та відзначили, що методика оптимізації проектування елементів мостових конструкцій на основі ГА може слугувати підґрунтям для створення програмних комплексів, завданням яких буде забезпечення можливості проектувати оптимальні варіанти будівельних конструкцій, а не просто допустимі. Також автори відзначають переваги даного методу в контексті пошуку оптимальних варіантів за багатьма можливими показниками одночасно (міцність, вартість, тощо).

Таким чином, враховуючи напрацювання щодо використання генетичних алгоритмів у дорожній галузі, побудову ГА для реалізації ДККП розпочнемо з таких етапів (блоків) [140, 143, 152] (рис.3.2):

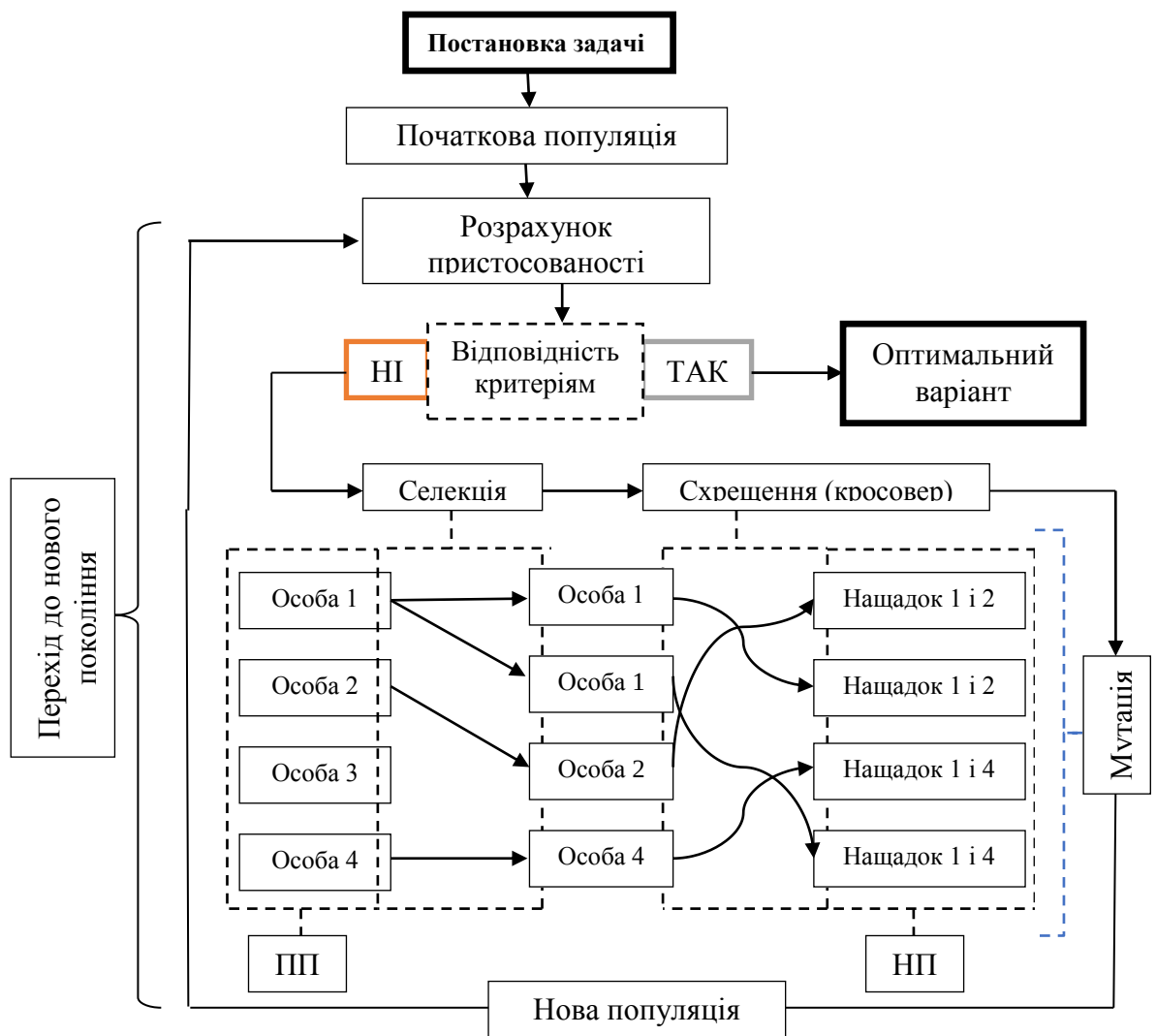


Рисунок 3.2 – Принцип роботи генетичного алгоритму

1. Постановки задачі. На даному етапі визначаються основні вимоги та умови задачі, на основі яких буду формуватися вимоги до популяцій.

Остаточна відповідь та вирішення задачі повинні задовольняти поставленим вимогам.

2. Формування початкової популяції. Після постановки задачі випадковим чином формується початкова популяція (ПП), яка має вихідний хромосом.

3. Розрахунок пристосованості або оцінка популяції. Для визначення відповідності осіб популяції поставленим вимогам початкова популяція повинна пройти блок «розрахунок пристосованості» або «оцінка популяції». Якщо початкова популяція відповідає критерію пристосованості, тобто відповідає оптимальному рішення, то дана модель приймається як остаточний варіант відповіді, якщо ні – початкова популяція проходить такі наступні оператори ГА як: селекція, схрещення, мутація.

4. Селекція. На даному етапі на основі оцінки початкової популяції відбираються найбільш пристосовані її особи для проходження оператору «схрещення». Даний оператор та його властивості дуже сильно впливають на середній час отримання результату та розкид при незалежних етапах процесу еволюції.

5. Схрещення (кросовер). Після відбору найбільш придатних осіб в операторі кросовер виконується схрещення між особами початкової популяції, в результаті чого формуються так звані нащадки (нове потомство). Генетична інформація даних нащадків створюється завдяки поєднанню та перехрещенню інформації хромосом між їх «батьками».

6. Мутація. Після проходження схрещення створені нові нащадки формують нову популяцію (НП), частина осіб якої мутує з випадковим зміненням їх генотипу.

Згодом створена вже нова популяція проходить знову блок (етап) «Розрахунку пристосованості», на якому оцінюють критерій пристосованості НП до висунутих вимог. Якщо вимоги задовольняються то отримана модель є остаточною і найбільш оптимальною, якщо ні – нова популяція проходить

знову оператор «Селекція», «Схрещення» та «Мутація». Таким чином всі дії виконуються до моменту отримання бажаного результату.

Базуючись на підході дослідника J. Magalhães-Mendes [153], для подальшого вдосконалення ГА для оптимізації параметрів «срібного трикутника» проектів експлуатаційного утримання доріг використаємо гібридний (мультиоб'єктивний) генетичний алгоритм (ГГА). При цьому, для вирішення задачі кожний хромосом проходить такі фази:

- Параметри переходу.
- Перехідний процес.
- Декодування між першим і другим рівнем.
- Якісний хромосом.

Кожна хромосома являє собою спосіб вирішення задачі і формується у вектор випадкових ключів (чисел) [153]. Кожне рішення закодоване, як початкова хромосома (перший рівень) і має $mn+n$ генів, де n – кількість активів, а m – кількість режимів виконання.

Перехід між першим та другим рівнями полягає у виборі варіанту дорожньо-ремонтних робіт m_j для кожної діяльності j для кожного активу. Внаслідок переходу отримуємо хромосому, яка складається з $2n$ генів (другий рівень). В даному випадку не враховуються вимоги до типу, кількості та якості ресурсів, які необхідні для реалізації задачі.

Структура хромосоми та перехід на другий рівень наведено в таблиці 3.1. Декодування виконується за допомогою формули (3.1) [154-155]:

$$PRIORIT_j = \frac{LLP_j}{LCP} \times \left[\frac{1+gene_{mj}}{2} \right], \quad (3.1)$$

де LLP_j – є найдовшим шляхом від початку роботи j до кінця контракту;
 LCP – довжина критичного шляху контракту;
 m_j – є вибраним режимом роботи j ;
 $j=1, \dots, n$.

Таблиця 3.1 - Структура хромосоми та перехід на другий рівень

Рівень перший			Перехід	Рівень другий		
Робота 1	Режим 1	Ген ₁₁		Робота 1	Режим 1	Ген ₁₁
	Режим 2	Ген ₁₂				
						
	Режим m	Ген _{1m}				
	Затримка 1	Ген _{1m+1}			Затримка 1	Ген _{1m+1}
Робота 2	Режим 1	Ген ₂₁		Робота 2	Режим 2	Ген ₂₂
	Режим 2	Ген ₂₂				
						
	Режим m	Ген _{2m}				
	Затримка 2	Ген _{2m+1}			Затримка 2	Ген _{2m+1}
.....						
Робота n	Режим 1	Ген _{n1}		Робота n	Режим 1	Ген _{n1}
	Режим 2	Ген _{n2}				
						
	Режим m	Ген _{nm}				
	Затримка n	Ген _{nm+1}			Затримка n	Ген _{nm+1}
Примітка: 1 – ген обирається за найвищим пріоритетом; 2 – автоматично переходить на другий рівень.						

Ген j_{m+1} тривалості затримки при плануванні робіт. Тривалість затримки, які потрібні для кожного виду робіт, визначається за допомогою формули (3.2):

$$Delay\ time = gene_{jm+1} \times 1,5 \times MaxDur, \quad (3.2)$$

де $MaxDur$ – максимальна тривалість всіх видів робіт;

1,5 – коефіцієнт затримки (визначається експериментально).

Схема генерування розкладу (СГР) є основою більшості евристичних підходів [153]. В подальшому дослідженні необхідно використати параметризований активний графік у якості СГР. В цьому випадку розклад складається з графіків, в яких враховується, що жодний ресурс не знаходиться в режимі очікування більше ніж у заздалегідь зазначений часовий проміжок. Якщо період розрахований до нуля, отримаємо графік без затримок.

Локальний пошук виконується переходячи від рішення до рішення в просторі кандидатів в напрямку до оптимального рішення чи критерію зупинки. Запропоновано використовувати зворотній та прямий шлях пошуку. Спочатку оптимізація відбувається вперед від початку реалізації проекту ДККП, після цього рухаються в зворотному напрямку, намагаючись знайти найкращий варіант рішення.

Використовуючи пропорційну модель (колесо рулетки), для якої характерний стохастичний відбір претендентів, визначається ймовірність обрання шуканого рішення. Якщо f_i – придатність індивідуума i до популяції, його ймовірність обрання визначається за допомогою формули (3.3):

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i}, \quad (3.3)$$

де $i = 1, \dots, n$.

Після відбору претендентів схрещення проходить між заново відібраними (відтвореними) хромосомами випадковим чином. Оператор мутації застосовується до кожного нащадка популяції з заздалегідь визначеною ймовірністю, яка в дослідженні прийнята 5%.

Не звертаючи увагу на складність налаштування параметрів генетичного алгоритму, за допомогою даного методу отримано гарні результати: розмір популяції – 5 x кількість видів діяльності; ймовірність мутації – 0,05; 1% попередніх хромосом переходять в наступного покоління; критерій зупинки – 50 поколінь.

Об'єктивність оцінки та перевірка ефективності даного методу виконана за допомогою порівняння з схожими методами інших провідних спеціалістів з генетичного алгоритмування Gen M., Cheng R. [156], Zheng D.X.M., Ng, S.T. та Kumaraswamy M.M. [157], шляхом проведення оптимізації реальної задачі (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Терміни та вартість кожного варіанту та режиму робіт

Номер дії (робіт)	Назва дії (роботи)	Режим	Варіант	Прямі витрати, грн
1		2	3	4
1	підготовка будівельного майданчика	-	1	647450,00
			2	506700,00
			3	337800,00
2	влаштування опалубки та арматурних каркасів	1	1	84450,00
			2	67560,00
			3	50670,00
			4	42225,00
			5	28150,00
3	земляні роботи	1	1	126675,00
			2	112600,00
			3	90080,00
4	влаштування залізобетонної ферми	1	1	1266750,00
			2	985250,00
			3	844500,00
5	бетонування фундаментів та колон	2.3	1	563000,00
			2	492625,00
			3	422250,00
			4	281500,00
6	транспортування залізобетонних балок з заводу	4	1	1126000,00
			2	900800,00
			3	506700,00
7	монтаж залізобетонних балок	5.6	1	844500,00
			2	675600,00
			3	619300,00

Дані з таблиці 3.2 використали для виконання розрахунків і порівняння методів. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3, рис.3.3-3.4.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків

Метод	Номер популяції	Час, дні	Вартість, грн.
1	2	3	4
Gen M., Cheng R.	0	83	6854525,00
	1	80	6823560,00
	2	80	7372485,00
	3	79	7217660,00
	4	79	7217660,00
	5	79	7217660,00
Zheng D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy M.M.	0	73	7079725,00
	1	73	7079725,00
	2	73	7079725,00
	3	66	6657475,00
	4	66	6657475,00
	5	66	6657475,00
Удосконалений підхід J. Magalhães-Mendes	0	73	6558950,00
	1	68	6347825,00
	2	63	6347825,00

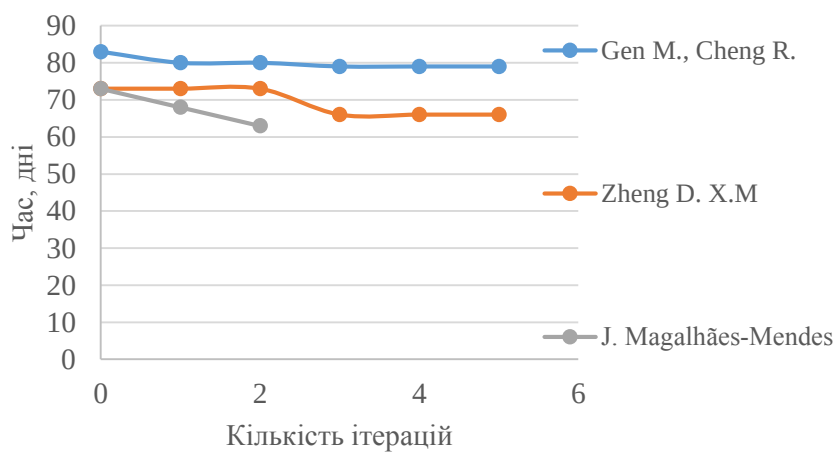


Рисунок 3.3 – Апробація запропонованого удосконаленого методу до оптимізації часу

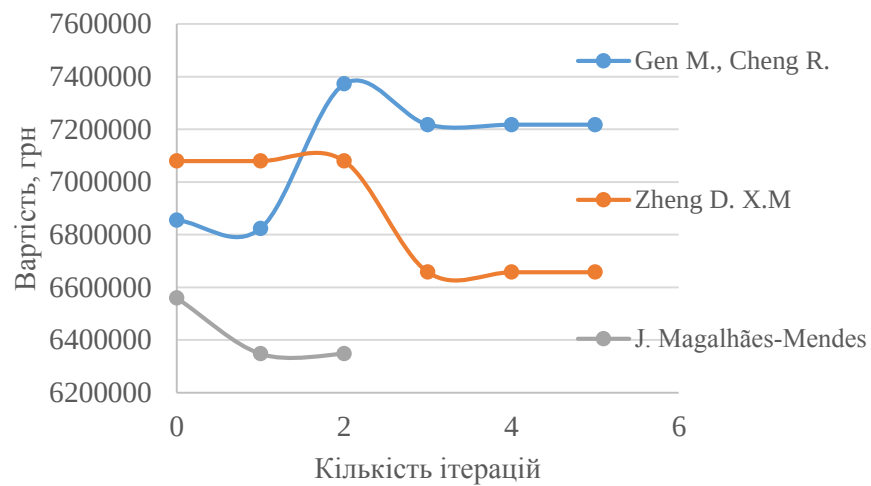


Рисунок 3.4 – Апробація запропонованого удосконаленого методу до оптимізації вартості

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що удосконалений метод вже на 3 поколінні дає кращі результати ніж інші методи. Тому цей метод є достатньо ефективною для вирішення питання оптимізації відношення «час-вартість» проектів ДККП при сталому параметрі якості.

3.2 Побудова математичного вирішення задачі

Для успішної реалізації будь яких контрактів (проектів) менеджери проектів повинні чітко розуміти взаємозв'язок між трьома основними складовими: часом, вартістю та якістю. Відомо, що вартість (C) та час (T) є найважливішими складовими контракту, але якість (Q) – є не менш важливим елементом, особливо для експлуатаційного утримання автомобільних доріг. При реалізації проектів з експлуатаційного утримання на основі довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках (ДККП), якість має велике значення, адже саме цей показник безпосередньо впливає на рівень життя населення та безпеку дорожнього руху.

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 «срібного трикутника» проекту експлуатаційного утримання доріг.

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

$$\text{Min } T = \max_{Lp \in L} \sum_{i \in Lp} \sum_{j=1}^{Mj} d_{ij} x_{ij}, \quad (3.4)$$

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 проектів складається з прямих (всі витрати в рамках проекту) та непрямих витрат (витрати на підчас реалізації проекту).

Цільову функцію, що відображає загальну вартість проекту, можна виразити за допомогою формули (3.5):

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_j} c_{ij} + IC \times T, \quad (3.5)$$

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. Цільова функція, що виражає якість проекту, може бути виражена за допомогою формули (3.6):

$$\text{Max } Q = \sum_{i=1}^N wt_i \sum_{l=1}^L wt_{i,l} g_{i,j,l} x_{ij}, \quad (3.6)$$

де $q_{ij,l}$ – 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 i порівняно з іншими видами робіт проекту.

В роботі запропоновано здійснювати багатоцільову оптимізацію моделі за двома методами. Цільова функція за першим методом визначається за формулою (3.7):

$$\text{Min } Z = \left[W_t * \left[\frac{T - T_{\min} + \gamma}{T_{\max} - T_{\min} + \gamma} \right] + W_c * \left[\frac{C - C_{\min} + \gamma}{C_{\max} - C_{\min} + \gamma} \right] + W_q * \left[\frac{Q_{\max} - Q + \gamma}{Q_{\max} - Q_{\min} + \gamma} \right] \right], \quad (3.7)$$

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

Адаптивні значення часу, вартості, якості визначаються за формулами:

$$W_t = \frac{V_t}{V}; \quad (3.9)$$

$$W_c = \frac{V_c}{V}; \quad (3.10)$$

$$W_q = \frac{V_q}{V}, \quad (3.11)$$

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

Критерій часу визначаються за формулами:

$$V_t = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}; \quad (3.12)$$

$$V_c = \frac{C_{min}}{C_{max}-C_{min}}; \quad (3.13)$$

$$V_q = \frac{Q_{max}}{Q_{max}-Q_{min}}, \quad (3.14)$$

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

Сукупний критерій V визначається за формулою:

$$V = V_t + V_c + V_q; \quad (3.15)$$

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

Цільова функція за другим методом має вигляд:

$$\text{Min } U = \left[W_t * \left[\frac{T-T_{min}}{T_{max}-T_{min}} \right]^2 + W_c * \left[\frac{C-C_{min}}{C_{max}-C_{min}} \right]^2 + W_q * \left[\frac{Q_{max}-Q}{Q_{max}-Q_{min}} \right]^2 \right]^{1/2}, \quad (3.16)$$

де W_t , W_c та W_q – адаптивні значення часу, вартості та якості, які визначаються за формулами (3.9-3.11).

Далі будемо вирішення задачі за допомогою алгоритму диференціальної еволюції (DE) [159]. Алгоритм використовує оператори кросовер, відбір та мутація, для вирішення даної задачі. Таким чином Алгоритм диференційної еволюції – це стохастичний алгоритм оптимізації побудований на основі операторів кросовер, відбір та мутація (як за запропонованою схемою в п.3.1).

Даний метод визначає найкращі варіанти вирішення ітеративно, до моменту досягнення вказаного критерію зупинки, що вимагає початкову присутність сукупність (набору) векторів або індивідів так званих рішень-кандидатів, що генеруються випадковим чином. Рішення-кандидат яке

отримується з вихідної сукупності підлягає обчисленню відповідно до цільової функції яка була задана на початку процесу.

На початку два рішення-кандидати обираються рандомним методом з сукупності векторів, різниця між ними проходить обчислення, а її середнє значення обчислюється множенням на коефіцієнт мутації, даний процес отримує назву мутація. Потім мутований (зважений) вектор обчислюється з наступним третім, випадково обраним вектором (рішенням-кандидатом).

В результаті даного процесу отриманий вектор має назву «шумний» вектор, який потім переходить до процесу під назвою кросовер з цільовим вектором отриманим з сукупності векторів. В результаті так званого процесу схрещення (оператор кросовер), має назву «пробний» вектор.

Після цього вектор який найбільше відповідає цільовій функції використовують, як рішення кандидат для створення наступного покоління. Наступне покоління, яке було отримане з попередніх розрахунків проходить ті самі етапи, що й на початку, а їх кількість відповідає чисельності популяцій.

Таким чином виконується процес до моменту отримання необхідної відповіді тобто відповідності цільовій функції. Розглянемо більш детально даний процес:

1. Рішення-кандидат генеруються і створюють початкову сукупність рішень і називається першим поколінням ($G = 1$).

Для створення випадкового рішення використовуємо такий вираз 3.17:

$$d_{i,j}^0 = d_j^{(L)} + r_{i,j}^G \left(d_j^{(U)} - d_j^{(L)} \right), \forall i = 1 \dots s, \forall j = 1 \dots n, \quad (3.17)$$

де $r_{i,j}^G$ - рівномірно розподілені випадкові значення в межах від 0,0 до 1,0;

$d_j^{(U)}$ та $d_j^{(L)}$ - верхня та нижня межі змінної d_j .

2. На даному етапі мутований (зважений) вектор обчислюється множенням коефіцієнта мутації F з диференціальним вектором, який визначається шляхом визначення різниці двох рандомно обраними векторами

із сукупності векторів. Дане значення отримується за рахунок використання формули:

$$W_j^G = F * (d_{A,j}^G - d_{B,j}^G), \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3.18)$$

Де F – коефіцієнт мутації, який приймається в діапазоні від 0,4 до 1,0.

3. Далі формується популяція P ($G+1$) який формується наступним чином:

$$d_{i,j}^{G+1} = \begin{cases} d_{c,j}^{(G)} + w_j^G & \text{if } r_{i,j} \leq C_r; \\ d_{c,j}^{(G)} & \text{other wise} \end{cases} \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3.19)$$

де $i = 1, \dots, pop_size$

$A \in [1, \dots, pop_size], \quad B \in [1, \dots, pop_size],$

$C \in [1, \dots, pop_size], \quad A \neq B \neq C \neq i,$

$C_r \in [0 \dots 1], \quad F \in [0 \dots 1], \quad r[0 \dots 1].$

де C_r – константа перехрещення.

Константа перехрещення сприяє створенню нового покоління.

4. Сукупність нового покоління P ($G+1$) створюється таким чином:

$$x_{i,j}^{G+1} = \begin{cases} d_{c,j}^{(G+1)} & \text{if } f(d_i^{(G+1)}) \leq f(d_i^{(G)}) \\ d_{c,j}^{(G)} & \text{other wise} \end{cases} \quad (3.20)$$

де $f(d_i^{(G)})$ – вартість i -их особин в G – му поколінні.

Проаналізовано приклад проекту, щоб проілюструвати використання даної моделі оптимізації та пояснити її можливості. Даний приклад складається з семи видів робіт (табл.3.4), які виконувались при експлуатаційному утриманні дороги в США [160].

Таблиця 3.4 – Приклад даних для розрахунку

Актив (елемент)	Роботи	Варіанти ресурсів	Тривалість, дні	Вартість, долари США	Обсяг робіт, %	Якість, %
1		1	14	23000	8	98
		2	20	18000		89
		3	24	12000		84
2	1	1	15	3000	6	99
		2	18	2400		95
		3	20	1800		85
		4	30	1200		70
		5	60	600		59
3	1	1	15	4500	14	98
		2	22	4000		81
		3	33	3200		63
4	1	1	12	45000	19	94
		2	16	35000		76
		3	20	30000		64
5	2.3	1	22	20000	17	99
		2	24	17500		89
		3	28	15000		72
		4	30	10000		61
6	4	1	14	40000	19	100
		2	18	32000		79
		3	24	18000		68
7	5.6	1	9	30000	17	93
		2	15	24000		71
		3	18	22000		67

Інший приклад проекту експлуатаційного утримання (США) [115] використаємо для зображення відношення між вартістю та тривалістю при оцінці багатоцільової моделі за алгоритмом диференціальної еволюції з введенням показника якості, тобто для оптимізації параметрів «срібного трикутника» (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Дані з показником якості для прикладу 2

Актив	Роботи	Варіанти ресурсів	Час, дні	Вартість, долари США	Адаптивний показник (%) (wt_i)	Показник обсягу, ($wt_{i,j}$)	Показник якості ($q_{i,j,i}$)	Показник обсягу, ($wt_{i,j}$)	Показник якості ($q_{i,j,i}$)	Показник обсягу, ($wt_{i,j}$)	Показник якості ($q_{i,j,i}$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	14	2400	3	50	100	30	96	20	98
		2	15	2150			90		89		89
		3	16	1500			86		77		84
		4	21	1500			75		72		73
		5	24	1200			63		60		65
2	0	1	15	3000	5	40	98	40	94	20	99
		2	18	2400			87		94		95
		3	20	1800			81		92		85
		4	23	1500			77		72		70
		5	25	1000			60		66		59
3	0	1	15	4000	8	70	100	15	97	15	98
		2	22	4000			80		82		81
		3	33	3200			62		60		63
4	0	1	12	45000	11	50	99	35	91	15	94
		2	16	35000			74		71		76
		3	20	30000			59		63		64
5	1	1	22	20000	10	60	100	20	97	20	99
		2	24	17500			93		89		89
		3	28	15000			77		71		72
		4	30	10000			61		64		61
6	1	1	14	40000	11	50	95	25	95	25	100
		2	18	32000			76		74		79
		3	24	18000			59		62		63
7	5	1	9	30000	10	30	97	30	99	40	93
		2	15	24000			70		73		71
		3	18	22000			61		62		67
8	6	1	14	220	1	100	95	0	NA	0	NA
		2	15	215			83				
		3	16	200			75				
		4	21	208			68				
		5	24	120			61				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	6	1	15	300	1	50	100	50	99	0	NA
		2	18	240			97		92		
		3	20	180			81		88		
		4	23	150			71		75		
		5	25	100			63		64		
10	6	1	15	450	1	60	94	40	97	0	NA
		2	22	400			79		83		
		3	33	320			63		69		
11	7	1	12	450	2	70	96	30	95	0	NA
		2	16	350			72		75		
		3	20	300			61		66		
12	5,9,10	1	22	2000	3	50	99	35	98	15	95
		2	24	1750			89		85		87
		3	28	1500			70		71		79
		4	30	1000			62		61		63
13	3	1	14	4000	7	40	99	40	96	20	97
		2	18	3200			73		71		76
		3	24	1800			60		62		63
14	4,10	1	9	3000	6	80	100	10	95	10	98
		2	15	2400			79		82		81
		3	18	2200			63		67		66
15	12	1	16	3500	7	70	100	30	98	0	NA
16	13,14	1	20	3000	3	30	97	30	96	40	98
		2	22	2000			89		85		87
		3	24	1750			81		79		78
		4	28	1500			72		73		74
		5	30	1000			67		60		62
17	11,14,15	1	14	4000	6	70	98	20	97	10	99
		2	18	3200			73		75		72
		3	24	1800			62		65		61
18	17,16	1	9	3000	5	30	98	45	99	25	94
		2	15	2400			75		77		71
		3	18	2200			63		66		67

Для оптимізації відношення «час-вартість-якість» сформульована модель вирішується за допомогою диференційного алгоритму еволюції. В даному дослідженні еволюційна модель була створена на платформі Eclipse Java.

Оптимальним критерієм для припинення процесу оптимізації встановили довільне значення 100, розмір популяції ($p=30$), ймовірність кросоверу ($Cr=0,5$) та коефіцієнт мутації ($F=0,8$).

Таблиця 3.6 – Результати оптимізації – найкращий набір рішень із планом підряду для прикладу 1

Час, дні	Вартість, %	Якість, %	Режими використання ресурсів						
60	143500	90	1	1	1	1	1	3	1
60	165500	97	1	1	1	1	1	1	1
63	131000	85	1	1	1	2		3	1
63	133500	87	1	1	1	2	1	3	1
65	141300	86	1	3	1	3	1	2	1
65	142300	90	1	3	1	1	1	3	1
66	128500	90	1	1	1	2	3	3	1
69	136900	86	1	2	1	1	1	3	2
75	118000	76	1	1	2	3	4	3	1
74	112500	75	1	1	1	3	4	3	2
78	142200	86	1	1	3	1	1	3	1
81	106900	77	3		1	3	4	3	1
84	101500	73	3	1	1	3	4	3	2
85	108500	76	3	1	2	3	2	3	2
87	99500	73	3	1	1	3	4	3	3
91	101000	71	3	1	2	3	4	3	2
94	97300	70	3	3	2	3	4	3	3
105	97000	67	3	3	3	3	4	3	3
132	95800	65	3	5	3	3	4	3	3

На рис.3.5-3.7 показано середнє значення показників часу, вартості та якості згідно розрахунків за запропонованими методами.

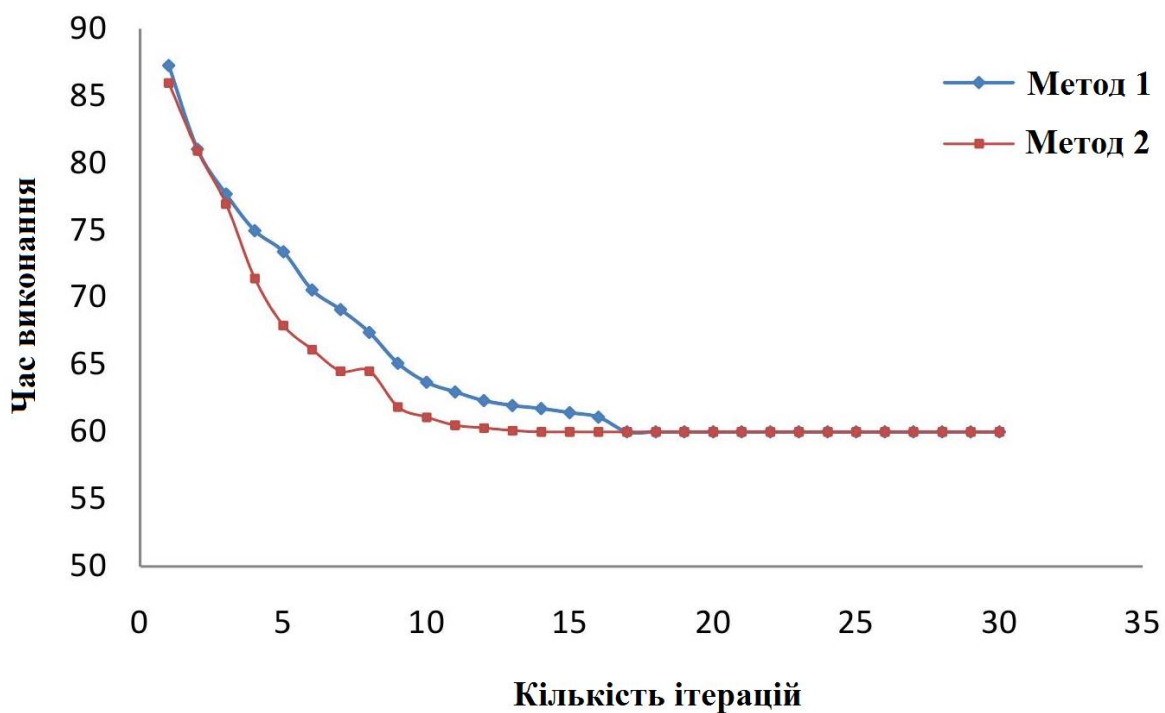


Рисунок 3.5 – Середнє значення часу

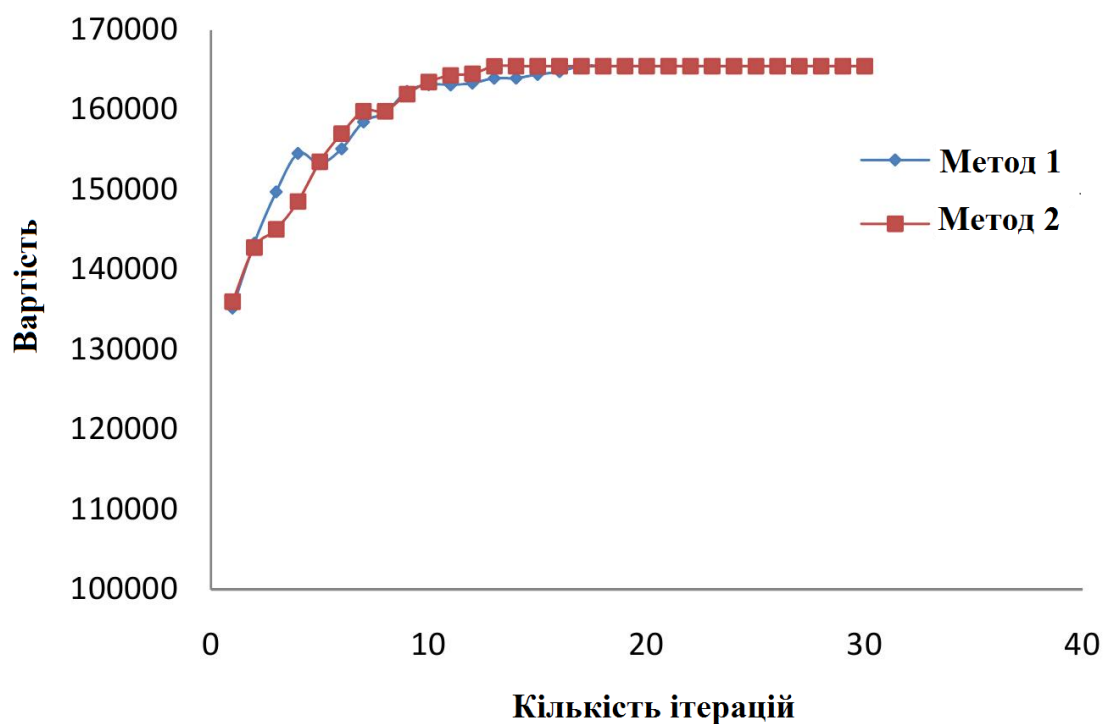


Рисунок 3.6 – Середнє значення вартості

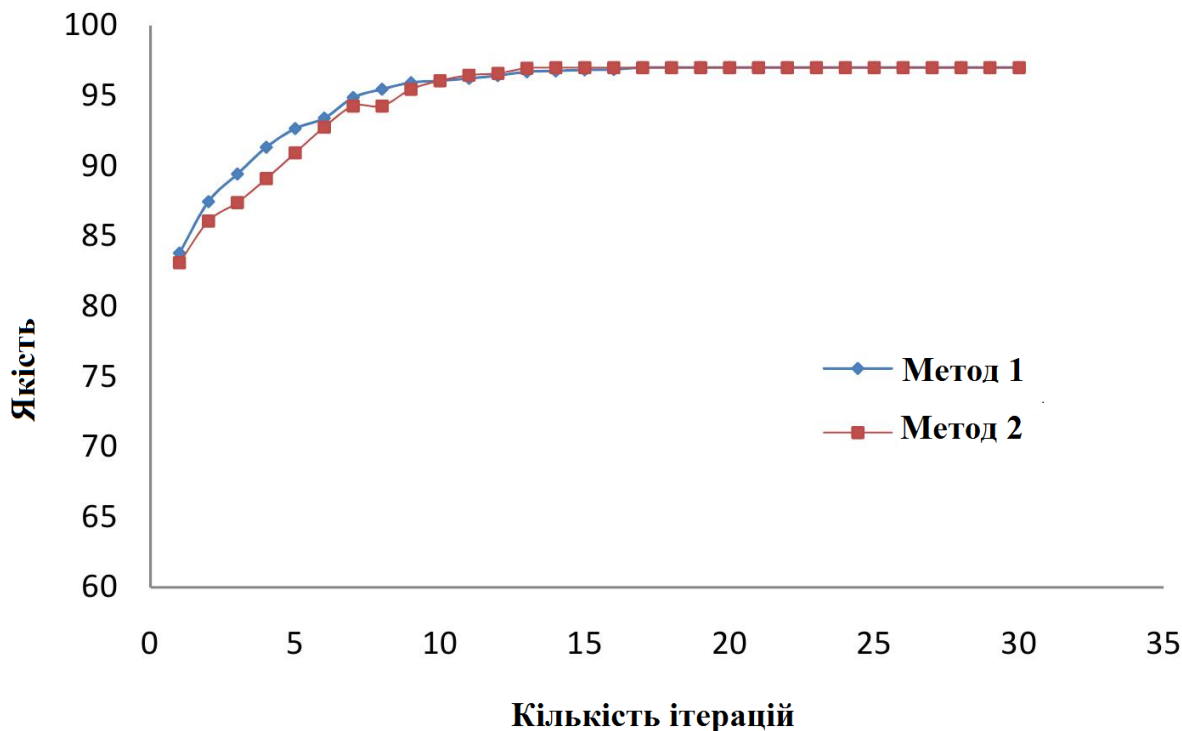


Рисунок 3.7 – Середнє значення параметру «якість» проекту

Відповідно до рис.3.5-3.7 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 проектів за методом №2 менш гнучка в порівнянні з першим.

Оптимальне рішення за моделлю приведено в табл.3.7. Значення методу №2 наведені в таблиці 3.8. Внаслідок того, що пошуковий простір методу №2 більший в порівнянні з методом №1 кількість ітерацій становить 200. Аналізуючи таблицю 3.8 можна відзначити, що дані отримані обома методами, мають однакові показники часу, а показники вартості та якості різні. Метод №1 має меншу вартість в порівнянні з методом №2, але і показники якості менші.

Для перетворення задачі оптимізації часу, вартості та якості в завдання оптимізації часу та вартості, значення якості будуть становити значення 0. Для вирішення питання оптимізації вартості й часу, метод № 1 надає такі значення – витрати часу 114 днів, вартості - 105270 дол. США і якості 70%. В такому

випадку найбільш оптимальним методом використання ресурсів є [1,5,3,3,4,3,3,5,1,1,3,1,3,3,1,5,1,1]. Відповідно до методу №2 показники становитимуть: час - 104 дні; вартості - 132270 дол. США і якості - 75%. Шлях використання ресурсів [1,5,3,3,3,1,3,5,1,1,3,1,3,3,1,5,1,1].

Таблиця 3.7 - Оптимальне рішення для виконання робіт

Метод	Час, дні	Вартість, долари США	Якість, %	Кількість пробних запусків шляхом зміни випадкового хромосому	POP_size (розмір популяції)	Кількість ітерацій	Мінімальна кількість ітерацій, при яких середнє покоління відповідає рішенням
1	104	152620	92	10	30	200	90
2	104	167770	96	10	30	200	55

Таблиця 3.8 – Порівняльна таблиця методів

№	Модель*	Час, дні	Вартість, долари США	Якість, %	Варіанти ресурсів																	
1	ГА	104	166320	95	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	200, 30 (Метод № 1)	104	152620	92	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	200, 30 (Метод № 2)	104	167770	96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1

*Примітка 200, 30 - 200 - це кількість ітерацій та 30 - розмір популяції відповідно

Таблиця 3.9 – Порівняння розглянутих методів з методом DE

Номер	Модель*	Час, дні	Вартість
1	DE	105	127320
2	200,30 - (Метод № 1)	114	103270
3	200,30 - (Метод № 2)	104	132270

*Примітка 200, 30 - 200 - це кількість ітерацій та 30 - розмір популяції відповідно

Таблиця 3.10 - Оптимальні рішення при різних адаптивних значеннях
(приклад 2)

Метод	Wt	Wc	Wq	Час, дні	Вартість, долари США	Якість, %	Варіанти ресурсів																							
1	0.333	0.334	0.333	114	112220	81	1	2	1	3	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1						
1	0.2	0.2	0.6	104	167770	96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1						
1	0.6	0.2	0.2	104	1423870	88	1	3	1	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1						
1	0.2	0.6	0.2	114	107565	76	1	5	1	3	4	3	3	2	1	2	1	1	3	1	1	5	1	1						
1	0.3	0.3	0.2	105	133115	84	1	3	1	3	4	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1						
1	0.5	0.2	0.3	104	152620	92	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
1	0.3	0.5	0.2	114	110615	80	1	3	1	3	4	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1						
1	0.3	0.2	0.5	104	167770	96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1						
2	0.333	0.334	0.333	114	110570	80	1	3	1	3	4	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	5	1	1						
2	0.2	0.2	0.6	114	119570	84	1	3	1	3	4	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1						
2	0.6	0.2	0.2	114	110570	80	1	3	1	3	4	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	5	1	1						
2	0.2	0.6	0.2	114	108315	77	1	3	1	3	4	3	3	2	1	1	2	1	3	1	1	5	1	1						
2	0.5	0.3	0.2	114	110570	80	1	3	1	3	4	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	5	1	1						
2	0.5	0.2	0.3	114	112220	81	1	2	1	3	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1						
2	0.3	0.5	0.2	114	110570	80	1	3	1	3	4	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	5	1	1						
2	0.3	0.2	0.5	114	114770	82	1	1	1	3	4	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1						

На рисунках 3.8-3.10 вказані середні значення показників часу, вартості та якості для обох методів.

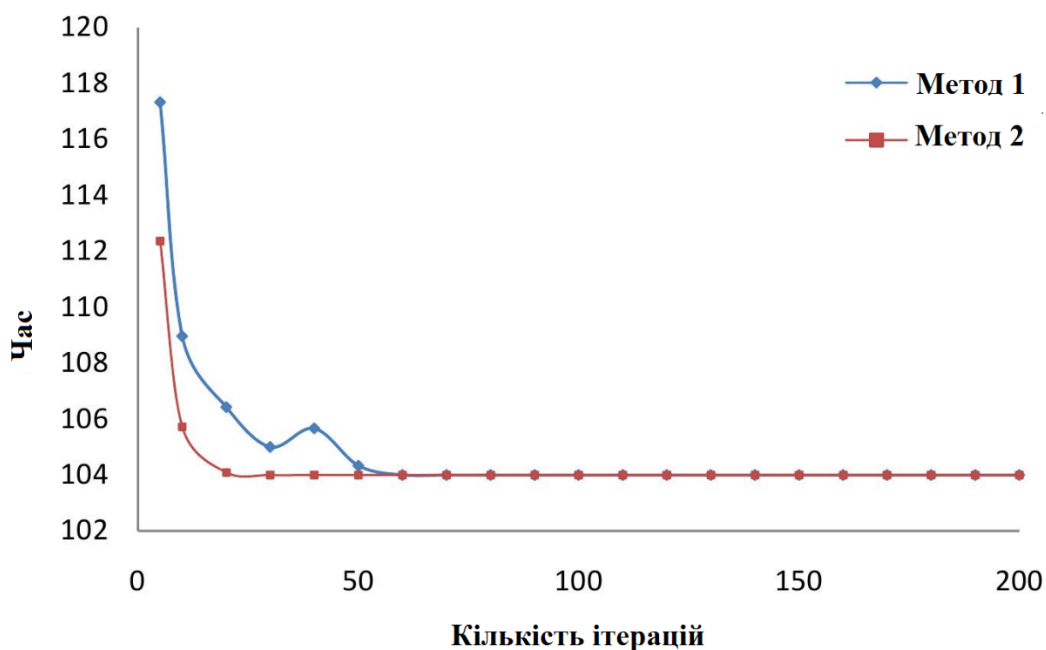


Рисунок 3.8 – Середні значення часу

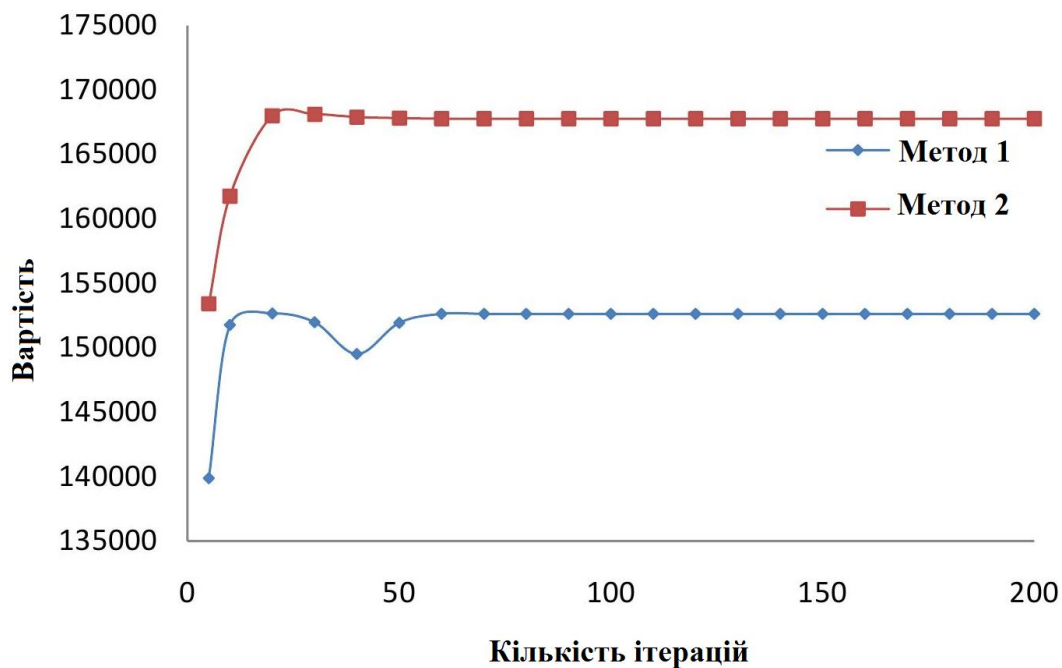


Рисунок 3.9 – Середнє значення вартості

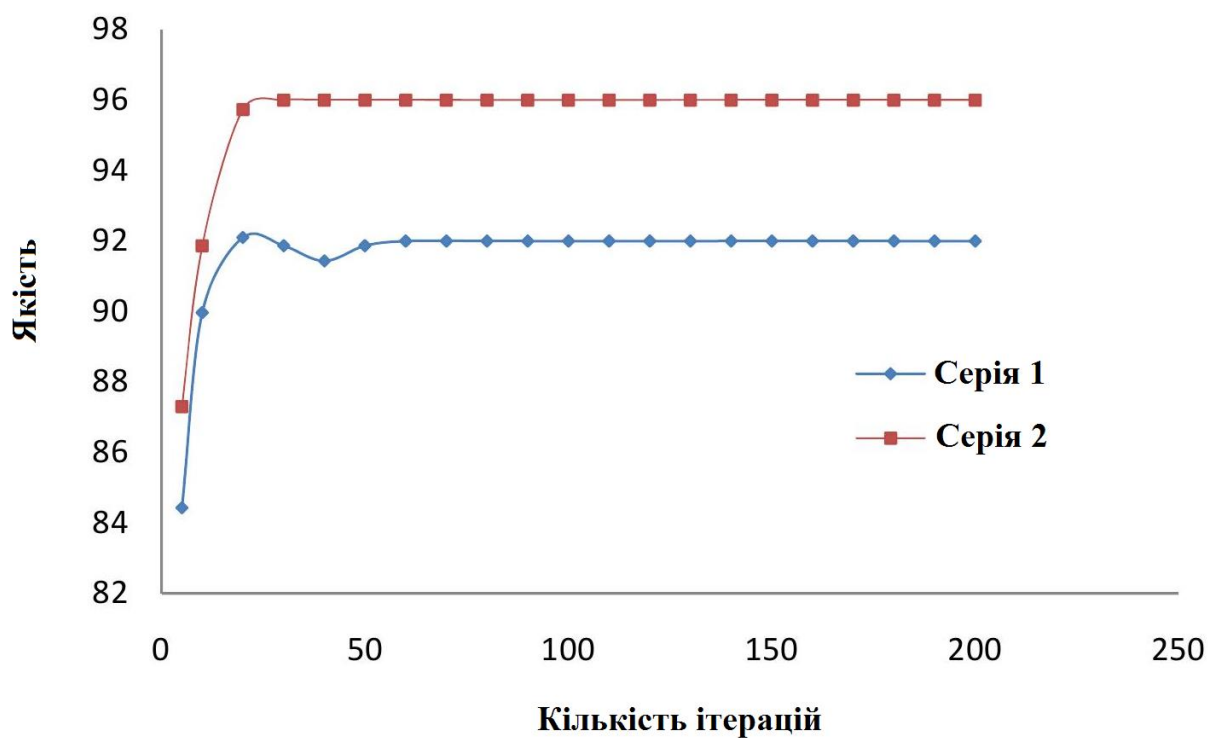


Рисунок 3.10 – Середнє значення якості

Метод №1 отримує менші витрати, але порівняно низький рівень якості з методом №2. Метод № 2 надає значення часу дещо менші від значення методу №1, але здатність вносити зміни значно нижча.

Виконуючи висновки, можна сказати, що метод диференційної еволюції можна використовувати для вирішення оптимізаційної задачі часу, вартості та якості. Дані методи розроблені з метою побудови оптимальних графіків підрядних організацій та можуть слугувати механізмом зменшення витрат часу та вартості проектів з забезпеченням достатнього рівня якості. Ці ствердження доводяться шляхом порівняння розроблених методів з іншими підходами до вирішення питання оптимізації часу, вартості та якості. Крім того, запропонована модель забезпечує можливість вирішення багатоцільових задач оптимізації.

3.3 Адаптація запропонованого методу до проектів довгострокового експлуатаційного утримання доріг

Для кожного ресурсу проекту довгострокового експлуатаційного утримання доріг необхідно визначити найбільш важливі показники (фактори, що було запропоновано у 2 розділі даного дослідження): продуктивність праці, вартість праці, трудомісткість робіт, якість робіт, вартість матеріалів, якість матеріалів, продуктивність будівельної техніки, вартість будівельної техніки, кількість будівельної техніки, якість будівельної техніки, вартість адміністрування, якість адміністрування. Для вирішення проблеми оптимізації ТСQ опишемо проект довгострокового експлуатаційного утримання доріг мережевою моделлю activity-on-node (дія-на-вузлі) в якій n представляємо як певну дію або актив, і опишемо її як ациклічний граф (3.21):

$$G = (A), \quad (3.21)$$

де $A = \{0, \dots, n+1\}$ – кількість вузлів (дій, активів);

P – це сума всіх шляхів в мережі activity-on-node.

Починаючи від діяльності 0 і закінчуючи $n+1$;

P_l – це сума дій (робіт, активів), які знаходяться на шляху $l \in P$.

Таблиця 3.11 – Структура моделі (адаптовано з [158])

Проект (Контракт)							Всього Σ
Роботи							
Робота (1)	Робота (...)	Робота (i)				Робота (..n..)	
Ресурси							
.....		Робоча сила (L _i)	Будівельні матеріали i вироби (M _i)	Будівельна техніка та обладнання (E _i)	Адмініструва ння робіт (A _i)		
Основні показники (фактори) ресурсів							
.....		Продуктивн ість праці; Вартість праці; Трудомісткі стю робіт; Якість робіт	Вартість матеріалів i виробів; Якість матеріалів i виробів	Продуктивність будівельної техніки; Вартістю будівельної техніки; Кількістю будівельної техніки; Якістю будівельної техніки	Вартість адмініструва ння; Якість управління		
Час-Вартість-Якість							
.....		Час (i)					Σ Час
.....		Вартість L _i (i)	Вартість M _i (i)	Вартість E _i (i)	Вартість A _i (i)		Σ Вартість
.....		Якість L _i (i)	Якість M _i (i)	Якість E _i (i)	Якість A _i (i)		Σ Якість

Для подальшої побудови моделі необхідно визначити взаємодію між показниками ресурсів, які найбільше впливають на час, вартість та якість контрактів (проектів).

Згідно проведених раніше досліджень для наступних ресурсів найбільш впливатиме взаємодія таких факторів:

1. *Робоча сила (L)*. Для даного ресурсу найбільш важливим буде взаємозв'язком між продуктивністю праці (LPRD) та якістю робіт (LQ). Для визначення даної взаємодії скористаємося формулою (3.22):

$$LPRD_{(i)} = LPRD_i^{max} - LQK_i \times (LQ_{(i)} - LQ_i^{min}), \quad (3.22)$$

де, $LQ_{(i)}$ - фактичний рівень якості роботи (i), задіяних в діяльності (i),
 $LQ_{(i)} \in (LQ_i^{min}, LQ_i^{max})$;

LQ_i^{min}, LQ_i^{max} - мінімальний та максимальний рівень якості роботи (i),
 задіяних в діяльності (i);

$$LQK_{(i)} = (LPRD_i^{max} - LPRD_i^{min}) / (LQ_i^{max} - LQ_i^{min}), \quad (3.23)$$

$LPRD_i^{min}, LPRD_i^{max}$ - мінімальний та максимальний рівень продуктивності праці (i), задіяних в діяльності (i);

$LPRD_{(i)}$ - фактичний рівень продуктивності праці (i), задіяних в діяльності (i), $LPRD_{(i)} \in (LPRD_i^{min}, LPRD_i^{max})$.

2. *Будівельні матеріали та вироби (M)*. Даний ресурс буде залежати від взаємозв'язку вартості матеріалів, виробів та їх якості. Залежність між якістю матеріалів та їх вартості можна описати формулою (3.24):

$$MC_{(i)} = MC_i^{min} - MQK_i \times (MQ_{(i)} - MQ_i^{min}), \quad (3.24)$$

де $MQ_{(i)}$ - фактичний рівень якості матеріалів (i), $MQ_{(i)} \in (MQ_i^{min}, MQ_i^{max})$;

MQ_i^{min}, MQ_i^{max} - мінімальний та максимальний рівень якості матеріалів (i), який визначається за формулою:

$$MQK_i = (MC_i^{max} - MC_i^{min}) / (MQ_i^{max} - MQ_i^{min}), \quad (3.25)$$

де MC_i^{min}, MC_i^{max} - мінімальна та максимальна вартість матеріалів в діяльності (i);

$MC_{(i)}$ - фактична вартість матеріалів задіяних в діяльності (i), $MC_{(i)} \in (MC_i^{min}, MC_i^{max})$.

3. *Будівельна техніка та обладнання (E)*. Для будівельної техніки та обладнання важливими факторами будуть: продуктивність будівельної техніки, її вартість та якість. Так як будівельна техніка є фактором, який дуже сильно впливає на час, якість та вартість реалізації проекту, потрібно ввести модифікаційний коефіцієнт, що враховує вплив даної техніки на час виконання робіт по проекту (3.26):

$$PRD_{(i)} = LPRD_{(i)} \times DEK_{(i)}, \quad (3.26)$$

де $PRD_{(i)}$ - фактична продуктивність на діяльності (i) ;

$DEK_{(i)}$ - модифікаційний фактор продуктивності праці (i) , що враховує параметри будівельного обладнання;

$LPRD_{(i)}$ - продуктивність праці в діяльності (i) .

Модифікаційний коефіцієнт може бути отриманий з залежності між якістю будівельної техніки та продуктивністю праці (3.27):

$$DEK_{(i)} = DEK_i^{min} + DQK_i \times (EQ_{(i)} - EQ_i^{min}), \quad (3.27)$$

де $DEK_{(i)}$ - модифікаційний фактор продуктивності діяльності (i) ;

$LPRD_{(i)}$ - продуктивність праці в діяльності (i) , яка визначається за формулою:

$$DQK_i = (DEK_i^{max} - DEK_i^{min}) / (EQ_i^{max} - EQ_i^{min}), \quad (3.28)$$

де EQ_i^{min}, EQ_i^{max} - мінімальна та максимальна якість будівельної техніки та обладнання (i) в діяльності (i) .

Для визначення взаємозв'язку якості обладнання та його вартості варто використати таку саму лінійну залежність, як і для матеріалів та виробів:

$$EC_{(i)} = EC_i^{min} - EQK_i \times (EQ_{(i)} - EQ_i^{min}), \quad (3.29)$$

де $EQ_{(i)}$ - фактичний рівень якості будівельної техніки та обладнання (i) в діяльності (i) , $EQ_{(i)} \in (EQ_i^{min}, EQ_i^{max})$;

EQ_i^{min}, EQ_i^{max} - мінімальний та максимальний рівень якості будівельної техніки та обладнання (i) в діяльності (i) ;

$$EQK_i = (EC_i^{max} - EC_i^{min}) / (EQ_i^{max} - EQ_i^{min}); \quad (3.30)$$

де EC_i^{min}, EC_i^{max} - мінімальна та максимальна вартість будівельної техніки та обладнання (i) в діяльності (i);

$EC_{(i)}$ - фактична вартість будівельної техніки та обладнання задіяних в діяльності (i), $EC_{(i)} \in (EC_i^{min}, EC_i^{max})$.

Відомо, що на будівельній ділянці, а особливо на ділянках автомобільних доріг, на яких виконується експлуатаційне утримання, виникає необхідність виконання робіт понаднормово (як, приклад, прибирання снігового покриву з проїзної частини 24 години на добу), що в свою чергу знижує продуктивність праці та збільшує вартість. Тобто, для об'єктивного визначення вартості робіт в такому випадку потрібно буде використовувати коефіцієнт зміни вартості будівельної техніки та обладнання для понаднормових робіт α_i (3.31):

$$\begin{aligned} EC_{(i)} &= (EC_i^{min} - EQK_i \times (EQ_{(i)} - EQ_i^{min})) \times \alpha_i = \\ &= (EC_i^{min} - EQK_i \times (EQ_{(i)} - EQ_i^{min})) \times (1 + (DPK_{(i)} - 1) \times EOK_i), \end{aligned} \quad (3.31)$$

де α_i - коефіцієнт зміни вартості будівельної техніки та обладнання для понаднормових робіт (пов'язаний з збільшенням кількості використаної будівельної техніки і обладнання):

$$\alpha_i = [1 + (DPK_{(i)} - 1) \times EOK_i]; \quad (3.32)$$

EOK_i - коефіцієнт зниження продуктивності робіт (приймаємо рівним 20%).

4. *Адміністрування робіт (А).* Як для будівельної техніки, так і для обладнання для процесу адміністрування проектом найбільш важливим буде залежність між якістю та вартістю управління роботами (3.33):

$$AC_{(i)} = AC_i^{min} - AQK_i \times (AQ_{(i)} - AQ_i^{min}), \quad (3.33)$$

де $AQ_{(i)}$ - фактичний рівень якості адміністрування роботи (i) в діяльності (i) , $AQ_{(i)} \in (AQ_i^{min}, AQ_i^{max})$;

AQ_i^{min}, AQ_i^{max} - мінімальний та максимальний рівень якості адміністрування роботи (i) в діяльності (i) ;

$$AQK_i = (AC_i^{max} - AC_i^{min}) / (AQ_i^{max} - AQ_i^{min}); \quad (3.34)$$

AC_i^{min}, AC_i^{max} - мінімальна та максимальна вартість адміністрування роботи (i) в діяльності (i) ;

$AC_{(i)}$ - фактична вартість адміністрування роботи (i) в діяльності (i) , $AC_{(i)} \in (AC_i^{min}, AC_i^{max})$.

Визначено, що підчас понаднормових робіт збільшується вартість будівельної техніки та обладнання для відповідних робіт. Вартість адміністрування робіт, в даному випадку, теж буде збільшуватись. Тому для об'єктивного визначення вартості адміністрування робіт в понаднормовий час, необхідно ввести відповідний коефіцієнт збільшення вартості адміністрування робіт в понаднормовий час β_i :

$$\begin{aligned} AC_{(i)} &= \left(AC_i^{min} - AQK_i \times (AQ_{(i)} - AQ_i^{min}) \right) \times \beta_i = \\ &= \left(AC_i^{min} - AQK_i \times (AQ_{(i)} - AQ_i^{min}) \right) \times \left(ACRK_i + 1 - \frac{ACRK_i}{DPK_{(i)}} \right), \end{aligned} \quad (3.35)$$

де β_i - коефіцієнт зміни вартості адміністрування для понаднормових робіт (пов'язаний із збільшенням кількості використаної будівельної техніки і обладнання):

$$\beta_i = (ACRK_i + 1 - \frac{ACRK_i}{DPK_{(i)}}), \quad (3.36)$$

де $ACRK_i$ – погодинний коефіцієнт адміністрування робіт в понаднормовій час (приймаємо рівним 2.0).

Для остаточного завершення визначення основних взаємозв'язків моделі потрібно визначити яким чином робоча сила впливає на час діяльності (робіт) і навпаки. Для визначення часу який необхідний для реалізації певної діяльності необхідно знати обсяг робіт, фактичну продуктивність робіт та фактори, які обумовлюють понаднормові роботи чи ні (3.37):

$$DUR_{(i)} = QNT_{(i)} / PRD_{(i)} \times DPK_{(i)}, \quad (3.37)$$

де $DUR_{(i)}$ – час реалізації діяльності (i);

$QNT_{(i)}$ – обсяг діяльності (i);

$PRD_{(i)}$ – фактична продуктивність в діяльності (i);

$DPK_{(i)}$ – коефіцієнт понаднормових робіт, $DPK_{(i)} \in [1,0,1,5]$ – якщо роботи в понаднормовий час виконуються від 0 до 4 годин на добу (так як робочий день складає 8 год/доб), $DPK_{(i)} = 1.0$ – якщо понаднормові роботи відсутні.

Вартість робочої сили визначається відповідно собівартості діяльності (i) та понаднормових робіт (якщо такі присутні):

$$\begin{aligned} LC_{(i)} &= LCD_i^S \times DUR_{(i)} + (DPK_{(i)} - 1) \times (LCRK_{(i)} \times LCD_i^S) \times DUR_{(i)} = \\ &= LCD_i^S \times DUR_{(i)} \times [1 + (DPK_{(i)} - 1) \times CRK_{(i)}] = \\ &= (LCD_i^S \times QNT_{(i)}) \times ([LPRD_i^{max} - LQK_i \times (LQ_{(i)} - LQ_i^{min})] \times \\ &\times [DEK_i^{min} + DQK_i \times (EQ_{(i)} - EQ_i^{min})])^{-1} \times (LCRK_i + 1 - LCRK_i / DPK_{(i)}), \end{aligned} \quad (3.38)$$

де $LC_{(i)}$ – вартість робочої сили в діяльності (i);

LCD_i^S – вартість робіт за одиницю часу (приклад: день) діяльності (i);

$LCRK_{(i)}$ – коефіцієнт врахування вартості робіт діяльності (i) в понаднормовий час (приймаємо рівним 2.0).

Визначивши основні взаємозв'язки показників (факторів) ресурсів можна остаточно описати модель запропоновану [158]. Для цього опишемо формули, які допоможуть визначити час (формула 3.42), вартість (формула 3.43) та якість (формула 3.44):

1. *Загальний час (T):*

$$T = \max_{i=1,n} (EST_{(i)} + Dur_{(i)}), \quad (3.39)$$

де T – загальна тривалість проекту (контракту);

$EST_{(i)} = \max_{h=1,i-1} (EST_{(h)} + Dur_{(h)})$, ранній початок діяльності (i), який відповідає кінцю попередньої роботи та першої $EST_{(h)} = 0$.

2. *Загальна вартість (C):*

$$C = \sum_{i=1}^n (LC_{(i)} + MC_{(i)} + EC_{(i)} + AC_{(i)}), \quad (3.40)$$

де C – загальна вартість робіт;

$LC_{(i)}, MC_{(i)}, EC_{(i)}, AC_{(i)}$ – вартість робіт, матеріалів та виробів, будівельної техніки та обладнання, адміністрування діяльності (i);

n – кількість робіт.

3. *Загальна якість (Q):*

$$Q = \sum_{i=1}^n (WT_i \times AQP_{(i)}), \quad (3.41)$$

де, Q – загальна якість проекту;

n – кількість робіт в проекті;

WT_i – показник якості кожної діяльності (i), $\sum_{i=1}^n WT_i = WT_i = 1.0$;

$AQP_{(i)}$ – якість виконання діяльності (i), розрахована з врахуванням якості робіт, матеріалів, виробів, будівельної техніки та обладнання, адміністрування:

$$AQP_{(i)} = LWT_i \times LQ_{(i)} + MWT_i \times MQ_{(i)} + EWT_i \times EQ_{(i)} + AWT_i \times AQ_{(i)} \quad (3.42)$$

$LWT_i, MWT_i, EWT_i, AWT_i$ – показники якості робіт, матеріалів та виробів, будівельної техніки та обладнання, адміністрування діяльності (i);

$LQ_{(i)}, MQ_{(i)}, EQ_{(i)}, AQ_{(i)}$ – якість робіт, матеріалів та виробів, будівельної техніки та обладнання, адміністрування діяльності (i).

Визначивши загальні час, вартість та якість проекту (контракту) потрібно задати умови (границі) задачі. Контракт може вважатися успішно реалізованим лише коли він виконаний за мінімальний час у відповідності з вимогами до якості робіт (ДБН, ДСТУ тощо) та без перевитрат коштів тобто у рамках визначеного в контракті бюджету [1,2]. Виходячи з цих вимог можна сформулювати головні умови (границі) моделі (3.43):

$$\begin{aligned} \min \quad & Z_1 = T, \\ \text{s. t.} \quad & C \cdot X \leq A; Q \cdot X \geq B, \end{aligned} \quad (3.43)$$

де A – показник максимальної вартості;

B – мінімальні вимоги до якості в проекті (рівні обслуговування);

$X = [DPK_{(1)} \dots DPK_{(n)} LQ_{(1)} \dots LQ_{(n)} MQ_{(1)} \dots MQ_{(n)} EQ_{(1)} \dots EQ_{(n)} AQ_{(1)} \dots AQ_{(n)}]_{1 \times 5n}^T$ – вектор всіх змінних моделі.

Визначивши всі вихідні параметри та задавши обмеження та припущення, потрібно обрати метод, за яким можна вирішити багатоцільову задачу оптимізації часу, вартості та якості. Таким чином, запропоновану модель управління вартістю, якістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, сформульовану на підставі теорії графів із застосуванням генетичних алгоритмів, можна відкалібрувати за рахунок введення додаткових параметрів та коефіцієнтів:

$$(X, Y, Z) = \begin{cases} X \in f(T_{bw(i)}, T_{aw(i)}, k_{cc(i)}, k_{pw(i)}, k_{of(i)}) \\ Y \in f(C_{W(i)}, C_P, C_A, C_{FS(i)}, k_r, k_{ir(i)}, k_{cw(i)}, k_{fp(i)}) \\ Z \in f(Q_{P(i)}, Q_{M(i)}, Q_{E(i)}, Q_{A(i)}) \end{cases} \quad (3.44)$$

де X – оптимізоване значення часу (T);

Y – оптимізоване значення вартості (C);

Z – оптимізоване значення якості (Q);

$T_{bw(i)}$ – тривалість виконання основних (запланованих) робіт;

$T_{aw(i)}$ – тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт;

$k_{cc(i)}$ – коефіцієнт, що враховує затримки через особливості кліматичних умов;

$k_{pw(i)}$ – коефіцієнт, що враховує продуктивність роботи робочого персоналу;

$k_{of(i)}$ – коефіцієнт, що враховує інші фактори, які впливають на час виконання робіт;

$C_{W(i)}$ – вартість виконання робіт ($C_{L(i)}$; $C_{M(i)}$; $C_{E(i)}$; $C_{T(i)}$);

C_P – прибуток;

C_A – адміністративні витрати дорожніх служб;

$C_{FS(i)}$ – обсяг (вартість) штрафів та стимулюючих виплат;

k_r – коефіцієнт, що враховує ризики всіх учасників контракту;

$k_{ir(i)}$ – коефіцієнт, що враховує рівень інфляції;

$k_{cw(i)}$ – коефіцієнт, що враховує рівень складності виконання робіт;

$k_{fp(i)}$ – коефіцієнт, що враховує пріоритет фінансування контракту;

$Q_{P(i)}$ – рівень якості виконання робіт;

$Q_{M(i)}$ – рівень якості матеріалів та виробів;

$Q_{E(i)}$ – рівень якості техніки та обладнання;

$Q_A(i)$ – рівень якості адміністрування.

Граф моделі описується формулою (3.45) із структурою вузлів, приведеною у вигляді таблиці (табл. 3.12).

$$G(K) = \left\{ \begin{array}{l} \{T_{W(1)} \dots T_{W(i)} \dots T_{W(n)}\} \\ C_{L(1)}; C_{M(1)}; C_{E(1)}; \dots C_{L(i)}; C_{M(i)}; C_{E(i)}; C_P; C_A \dots C_{L(n)}; C_{M(n)}; C_{E(n)}; \\ Q_{L(1)}; Q_{M(1)}; Q_{E(1)}; \dots Q_{L(i)}; Q_{M(i)}; Q_{E(i)}; \dots Q_{L(n)}; Q_{M(n)}; Q_{E(n)}; \end{array} \right\}, \quad (3.45)$$

де $K = \{0, \dots, n+1\}$ – кількість вузлів (дій, активів);

P – це сума всіх шляхів в мережі activity-on-node.

Починаючи від діяльності 0 і закінчуючи $n+1$; P_l – це сума дій (робіт, активів), які знаходяться на шляху $l \in P$.

Таблиця 3.12 – Характеристика вузлів графа розробленої моделі

Проект (Контракт)						Всього по роботах Σ	Прибуток (C_p)	F адміністративні витрати дорожніх служб (C_A)	Всього по контракту Σ
Роботи (W)									
W ₍₁₎	W _(i)			W _(n)	Загальні виробничі витрати (C _T)				
Ресурси робіт (R _w)									
R _{WL(1)} ; R _{WM(1)} ; R _{WE(1)} ; R _{WA(1)}	Робоча сила R _{WL(i)}	Матеріали і вироби R _{WM(i)}	Техніка та обладнання R _{WE(i)}	R _{WL(n)} ; R _{WM(n)} ; R _{WE(n)} ; R _{WA(n)}	загально-виробничі витрати				
F _{rw} (1)	Основні показники (фактори) ресурсів (F _{rw(i)})			F _{rw} (n)					
	-продуктивність праці; -вартість праці; -трудомісткість робіт; -якість робіт.	-вартість матеріалів і виробів; -якість матеріалів і виробів	-продуктивність обладнання; вартість обладнання; -кількістю одиниць обладнання; -якість обладнання						
Час-Вартість-Якість									
T _w (1)	Час T _{w(i)}			T _w (n)	Не враховується	Σ Час	Не враховується	Σ Час	
C _{L(1)} ; C _{M(1)} ; C _{E(1)} ;	Вартість C _{L(i)}	Вартість C _{M(i)}	Вартість C _{E(i)}	C _{L(n)} ; C _{M(n)} ; C _{E(n)} ;	C _T	Σ Вартість	C _p ; C _A	Σ Вартість	
Q _{L(1)} ; Q _{M(1)} ; Q _{E(1)} ;	Якість Q _{L(i)}	Якість Q _{M(i)}	Якість Q _{E(i)}	Q _{L(n)} ; Q _{M(n)} ; Q _{E(n)} ;	Не враховується	Σ Якість	Не враховується	Σ Якість	

На основі досліджень побудовано алгоритм застосування моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності (рис.3.11).

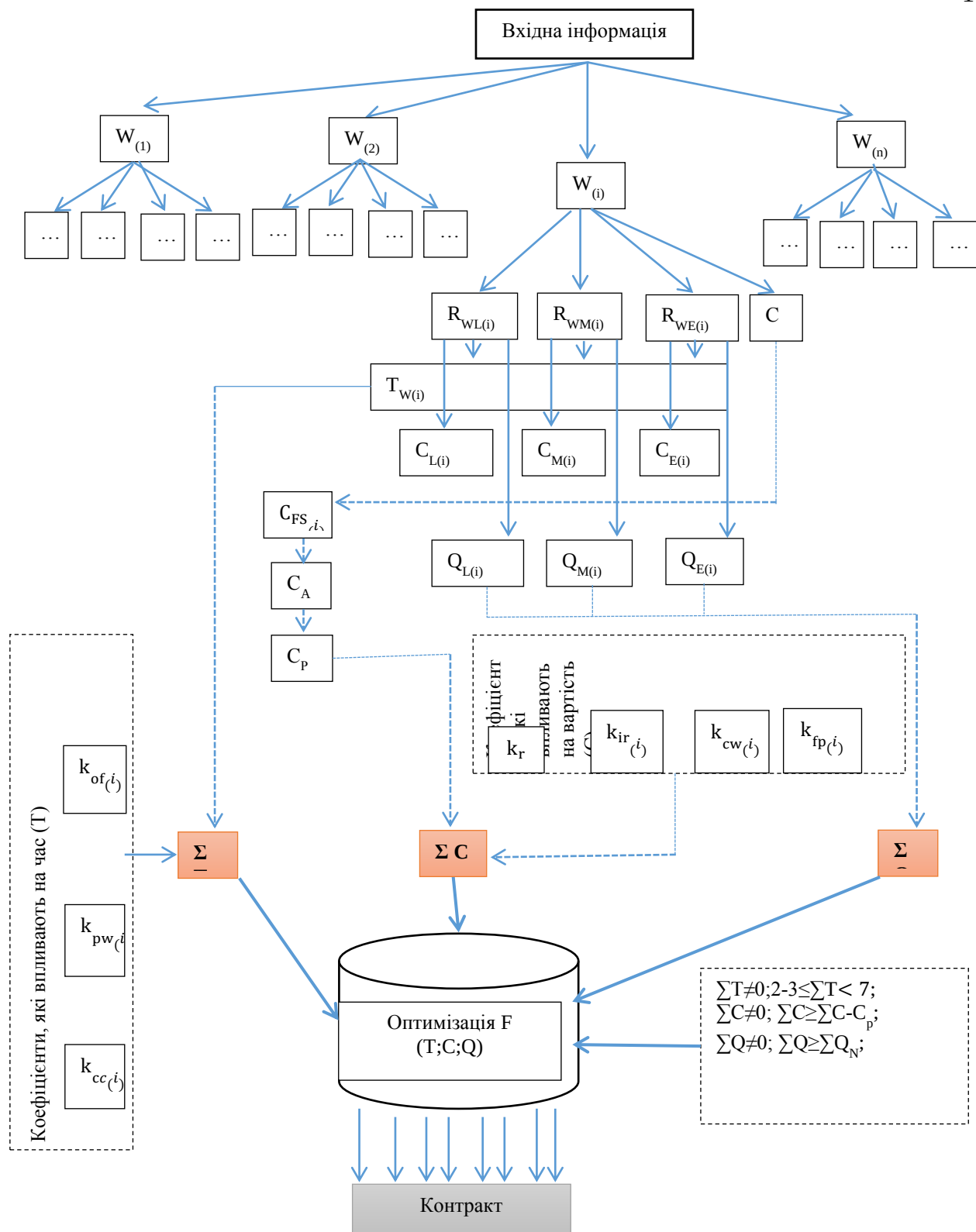


Рисунок 3.11 – Алгоритм застосування моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг

Наступним кроком є оптимізація за допомогою генетичного алгоритму. Дані для оптимізації проекту експлуатаційного утримання наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Дані для оптимізації проекту експлуатаційного утримання

Групи робіт	Роботи (діяльності) ID	Обсяг (QNT _i)	Продуктивність (LPRD _{min} –LPRD _{max})	Понаднормовий коефіцієнт(D _{max})	Робоча сила (L)		Матеріали та вироби (M)		Будівельна техніка та обладнання (E)			Адміністрування (A)	
					Вартість робіт (LCR _i) (\$/доб.)	Якість робіт (LQ _{min} –LQ _{max})	Вартість (MC _{min} –MC _{max}) (\$)	Якість (MQ _{min} –MQ _{max})	Вартість (EC _{min} –EC _{max}) (\$)	Якість (EQ _{min} –EQ _{max})	Продуктивність (DEK _{min} –DEK _{max})	Вартість (ACR _{min} –CR _{max})	Якість (AQ _{min} –AQ _{max})
A	1	240 м ³	100–150 м ³ /доб	1-1.5	700	0.8–1.0	3200–4500	0.7–1.0	600–650	0.8–1.0	0.8–1.2	90–150	0.7–1.0
	2	110 м ²	10–12 м ² /доб		300	0.8–1.0	800–1100		110–120	0.8–1.0	0.98–1.02		
	3	16 т	0.6–0.8 т/доб		600	0.7–1.0	5600–7200		128–144	0.8–1.0	0.9–1.1		
	4	52 м ³	15–20 м ³ /доб		750	0.9–1.0	18200–23400		150–180	0.9–1.0	0.95–1.05		
	5	75 м ³	8–12 м ³ /доб		1700	0.8–1.0	16000–20000		1500–1800	0.8–1.0	0.98–1.02		
	6	60 м ³	20–25 м ³ /доб		430	0.8–1.0	6400–8600		120–150	0.8–1.0	0.9–1.1		
C	7	120 м ²	8–11 м ² /доб		450	0.7–1.0	1200–1700		210–230	0.9–1.0	0.98–1.02		
	8	3.2 т	0.8–1.2 т/доб		800	0.7–1.0	11200–14400		256–288	0.8–1.0	0.9–1.1		
	9	48 м ³	7–10 м ³ /доб		1000	0.7–1.0	16800–21600		200–240	0.9–1.0	0.95–1.05		
	10	62 м ³	4–6 м ³ /доб		750	0.8–1.0	13200–16600		1240–1488	0.8–1.0	0.98–1.02		
D	11	105 м ²	8–11 м ² /доб		460	0.7–1.0	1100–1600		180–200	0.8–1.0	0.98–1.02		
	12	2.8 т	0.8–1.2 т/доб		800	0.7–1.0	9800–12600		224–252	0.8–1.0	0.9–1.1		
	13	43 м ³	7–10 м ³ /доб		1000	0.7–1.0	15050–19350		180–210	0.9–1.0	0.95–1.05		
	14	55 м ³	4–6 м ³ /доб		750	0.8–1.0	11700–14700		1100–1320	0.8–1.0	0.95–1.05		
E	15	95 м ²	8–11 м ² /доб		470	0.7–1.0	1100–1600		180–210	0.8–1.0	0.95–1.05		
	16	2.2 т	0.8–1.2 т/доб		800	0.7–1.0	7700–9900		176–198	0.8–1.0	0.9–1.1		
	17	38 м ³	7–10 м ³ /доб		1000	0.7–1.0	13300–17100		175–190	0.9–1.0	0.95–1.05		
	18	50 м ³	4–6 м ³ /доб		750	0.8–1.0	10600–13300		1000–1200	0.8–1.0	0.9–1.1		
F	19	135 м ²	18–24м ² /d		300	0.7–1.0	3200–3800		40–50	0.8–1.0	0.98–1.02		
	20	60 м ²	40–50м ² /d		750	0.7–1.0	7000–8500		100–120	0.8–1.0	0.98–1.02		

Примітка: A – ліквідація засмічення; B – реставрація знаків; C – роботи з ліквідації випотівання в'язучого; D – ліквідація тріщин; E – ліквідація ямковості; F – розмітка

В даному прикладі для спрощення розрахунків всі 20 робіт були поділені на 6 груп робіт: ліквідація засмічення покриття; реставрація знаків; роботи з ліквідації випотівання в'язучого; ліквідація тріщин; ліквідація ямковості;

розмітка проїзної частини. Для визначення якості робіт використовувалися показники груп робіт (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Показники якості проекту (контракту)

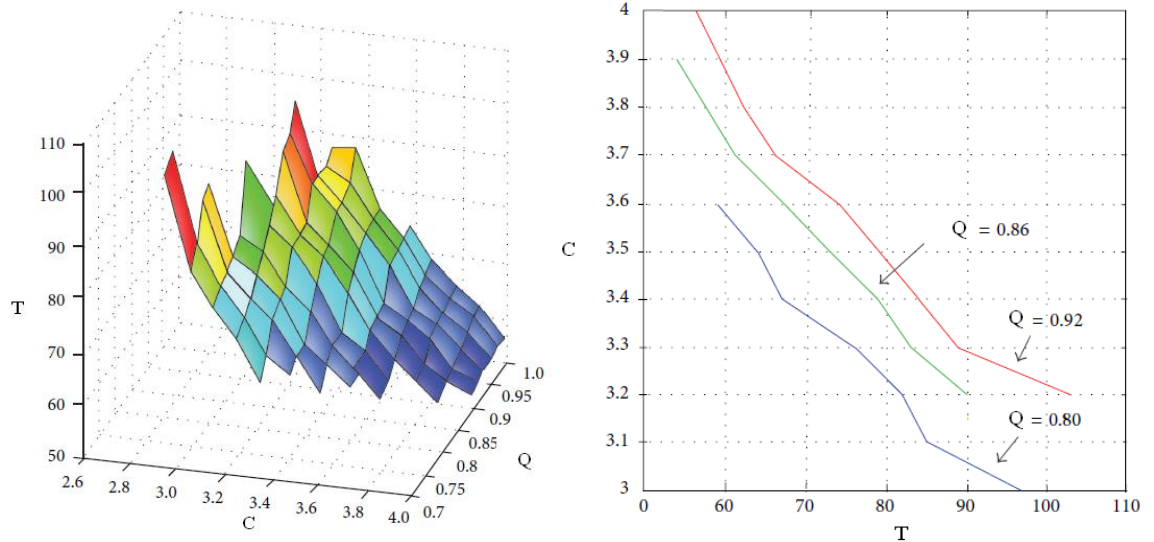
Групи робіт	Показник якості для груп робіт (GWT_j)	Роботи (діяльності) ID	Показник якості для робіт (діяльності) (AWT_i)	Показник якості для робочої сили ($LWT_{(i)}$)	Показник якості для матеріалів та виробів ($MWT_{(i)}$)	Показник якості для будівельної техніки та обладнання ($EWT_{(i)}$)	Показник якості для адміністрування ($AWT_{(i)}$)
A	0.05	1	0.05	0.1	0.7	0.15	0.05
B	0.25	2	0.05				
		3	0.06				
		4	0.06				
		5	0.06				
		6	0.02				
C	0.2	7	0.05				
		8	0.05				
		9	0.05				
		10	0.05				
D	0.2	11	0.05				
		12	0.05				
		13	0.05				
		14	0.05				
E	0.15	15	0.03				
		16	0.04				
		17	0.04				
		18	0.04				
F	0.15	19	0.07				
		20	0.08				
Σ Всього	1.0	-	1.0	-	-	-	-

Оптимальна схема вимагає велику кількість робіт виконувати в понаднормовий час. Це викликано економією часу на виконання. Як приклад, роботи, які виконуються з експлуатаційного утримання, можуть значно відрізнятися у різних кліматичних зонах, що впливає на час реалізації проектів (контрактів). Для визначення часу, за який можливо виконати роботи складають кліматичний графік, де вказується кількість днів, за які погодні умови дозволять виконати ті чи інші роботи. Роботи в понаднормовий час збільшують вартість проекту, але за їх рахунок можна скоротити час реалізації. Таким чином, якщо задати рівень якості 0,8 і вище, а вартість $3,5 \times 10^5$ і нижче, то час реалізації об'єкту буде складати 64 дні. Частина розрахунків залежності між часом, вартістю та якістю наведена в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Таблична залежність між часом, вартістю та якістю

Вартість (x10 ⁵ \$)													Якість
2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	
109	101	84	78	72	65	-	-	-	-	-	-	-	0.74
-	105	88	80	75	68	66	-	-	-	-	-	-	0.76
-	-	94	81	77	73	67	60	-	-	-	-	-	0.78
-	-	97	83	80	76	67	64	61	-	-	-	-	0.80
-	-	-	85	82	76	72	66	62	57	-	-	-	0.82
-	-	-	97	85	82	76	67	64	59	-	-	-	0.84
-	-	-	-	90	83	79	73	67	61	58	54	-	0.86
-	-	-	-	97	84	79	75	67	64	60	57	54	0.88
-	-	-	-	98	89	84	77	68	65	62	57	56	0.90
-	-	-	-	103	89	84	79	74	66	63	59	56	0.92
-	-	-	-	-	90	86	80	75	68	64	61	56	0.94
-	-	-	-	-	91	91	80	75	69	65	62	56	0.96
-	-	-	-	-	-	-	-	76	69	65	62	57	0.98
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
Час (дні)													

З таблиці 3.15 можна помітити числову залежність елементів ТСQ «срібного трикутника». Проаналізувавши дані розрахунків, що наведені в даній таблиці, можна чітко визначити, за який найбільш оптимальний час та меншу вартість можна реалізувати контракт з дотриманням необхідного рівня якості. Наприклад якщо менеджеру проекту потрібно реалізувати контракт приблизно за T=60-70 днів (час обумовлений кліматичними умовами регіону тощо), а рівень якості повинен бути не нижче Q=0.8, він може за допомогою даної моделі вирахувати приблизну вартість реалізації контракту, яка для даного прикладу вона становитиме C=34 000 \$ – 36 000 \$. Таким же чином можна визначати час, якщо вартість фіксована, або, виходячи з часу та вартості дізнатися з яким рівнем якості буде реалізований проект та чи задовольнить він вимоги до об'єкту експлуатаційного утримання. В графічному вигляді залежність ТСQ зображена на рисунку 3.12.



А) – візуальне зображення компромісу взаємозв'язку часу між часом, вартістю та якістю з фіксованим рівнем якості

Б) – візуальне зображення вартості та якості

Умовні позначення: Т – час (дні); С – вартість (долар США); Q – якість.

Рисунок 3.12 – Графічне зображення взаємозв'язку між часом, вартістю та якістю

Аналізуючи дану модель можна зробити висновок, що метаевристичні методи є найбільш ефективними у вирішенні задачі оптимізації відношення параметрів «срібного трикутника» TCQ. В розробленій моделі гармонійно поєднано математичний метод та евристичний підхід для вирішення задачі оптимізації. Модель перевірена на адекватність з розрахунковою похибкою алгоритму біля 3%, отже рівень якості отриманих даних може дозволити менеджерам проекту виконувати ефективне управління контрактом з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Висновки до розділу 3

На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Для вирішення задачі оптимізації параметрів «срібного трикутника» використано генетичний алгоритм, як найбільш прогресивний і гнучкий. Робота генетичного алгоритму складається з таких етапів (блоків):

постановка задачі; створення початкової популяції; розрахунок або оцінка пристосованості популяції; селекція; схрещення (кросовер); мутація; створення нової популяції; перевірка нової популяції; вибір остаточної оптимальної відповіді.

2. За основу взято генетичний алгоритм, запропонований J. Magalhães-Mendes [153], який модифіковано та перевірено на ефективність шляхом порівняння з моделями представленими в роботах Gen M., Cheng R. та Zheng D. X.M., Ng, S.T., Kumaraswamy M.M. [156-157]. На основі запропонованих методів оптимізації параметрів було виконано математичний експеримент, який базувався на прикладі проекту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості. Аналізуючи отримані дані, зроблено висновок, що удосконалений метод вже на 3 покоління дає кращі результати ніж інші методи.

3. Запропоновану модель управління вартістю, якістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, сформульовану на підставі теорії графів із застосуванням генетичних алгоритмів відкалібровано за рахунок введення додаткових параметрів та коефіцієнтів, побудовано граф моделі, виконано повторну оптимізацію та розроблено алгоритм застосування моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності. Модель перевірена на адекватність з розрахунковою похибкою алгоритму біля 3%, що дає можливість стверджувати про її ефективність для вирішення задач управління контрактом з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ОБГРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ ТА ЧАСУ

4.1 Підходи до удосконалення математичної моделі обґрунтування рівня обслуговування автомобільних доріг

Математична модель обґрунтування рівня обслуговування (РО) ґрунтується на принциповій схемі, яка наведена на рисунку 4.1 [Ошибка! Источник ссылки не найден.62-163].

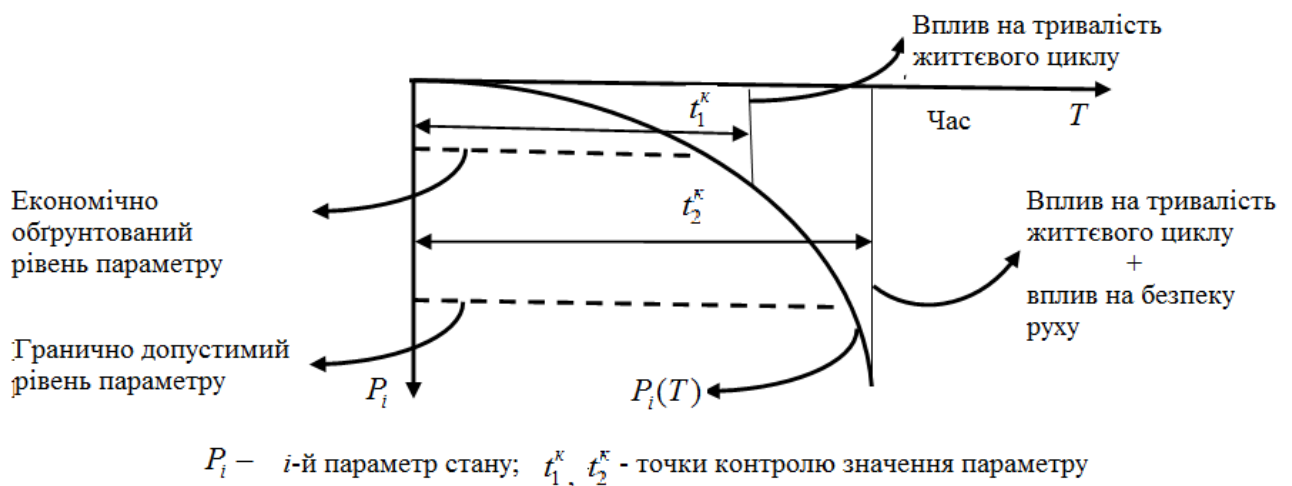


Рисунок 4.1 – Принципова схема обґрунтування рівня обслуговування

За наведеною схемою зроблені наступні припущення:

1. Ступінь деградації елементу дороги за певним пошкодженням (дефектом) характеризується кривою деградації $P_i(t)$, яка описується експоненціальним розподілом.
2. Існує мінімум два критерії призначення рівня обслуговування — економічно обґрунтований і гранично допустимий (нормативний).

3. Перевищення часу виконання дій з приведення рівня параметру P_i до рівня нормативних вимог в контрактах ДККП обумовлюють застосування системи штрафних балів.

4. Тривалість часу між двома послідовними точками контролю значень параметрів деградації елементу дороги впливає на можливість пропуску моменту необхідності виконання більш дешевого виду робіт.

Для обґрунтування РО потрібно врахувати наступні моделі:

- 1) модель деградації елементу дороги;
- 2) модель впливу ремонтів на стан елементу дороги;
- 3) модель оцінки ефекту для користувачів доріг.

Додатково пропонується ввести розроблену модель – модель управління вартістю, якістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, сформульовану на підставі теорії графів із застосуванням генетичних алгоритмів.

Транспортно-експлуатаційний стан дороги обумовлюється дією двох процесів, які протилежні за своєю природою (рис. 4.1):

- 1) процесу деградації властивостей елементів доріг в результаті виникнення і розповсюдження пошкоджень;
- 2) процесу відновлення властивостей елементів доріг в результаті виконання ремонтних робіт.

Згідно з [163] елемент дороги може знаходитись в одному з п'яти експлуатаційних станів з відповідними інтервалами рейтингу за 100-бальною шкалою (табл. 4.1).

Стани квантифікуються в межах від 100 до 20 балів. З метою математичного моделювання таблицю 4.1 доцільно перетворити на таблицю 4.2 із ступенем деградації D .

Таблиця 4.1 – Класифікація експлуатаційних станів елементів доріг

Експлуатаційний стан	Назва стану	Границі рейтингу стану елементу, балів
Стан 1	Відмінний	понад 80 до 100 включно
Стан 2	Добрий	понад 60 до 80 включно
Стан 3	Задовільний	понад 40 до 60 включно
Стан 4	Поганий	понад 20 до 40 включно
Стан 5	Аварійний	понад 0 до 20 включно

На наступному етапі необхідно виконати моніторинг показників якості, який може бути виконаний трьома наступними виконавцями:

1. Моніторинг підрядником.

В даному випадку підрядник повинен надавати замовнику щомісячні та річні звіти про результати діяльності. Для впевненості в правильному виконанні оцінки (моніторингу), замовник може приєднуватися до виконавця підчас збору даних (проводить вибіркові перевірки). За допомогою таких дій замовник буде впевнений в тому, що підрядник подає належну документацію, в якій присутня достовірна інформація.

Значною перевагою такого підходу є більша економічність в порівнянні з іншими методами та зміцнення партнерських відносин між сторонами.

2. Моніторинг замовником.

Цей вид моніторингу передбачає виконання періодичних перевірок мережі замовником. На додаток до цих дій, замовник може включити випадкові (неоголошені) інспекції. Але на відміну від попереднього способу, коли замовник виконує дану роботу з виконавцем і відносини між ними тільки покращуються, цей підхід включає появу представників замовника без попереджень. Це може негативно відобразитися на відносинах між учасниками, але замовник буде на всі 100% впевнений в якості роботи і достовірності даних. Хоча даний підхід має значний недолік, його перевагою є зниження ризику замовника і забезпечення точними даними щодо показників якості і стану обслуговуваної мережі.

3. Моніторинг незалежною стороною. Останній підхід пропонує для проведення моніторингу використовувати послуги незалежної третьої сторони. Даний метод забезпечує найбільшу об'єктивність показників і унеможливорює виникнення конфліктних ситуацій, що можуть вплинути на якість роботи. Це також залишає місце для розвитку сильних партнерських відносин, так як тягар перевірок бере на себе незалежний оцінювач, проте поряд з цим збільшується вартість робіт.

За періодичністю моніторинг може поділятися на:

- щомісячний моніторинг (передбачає вибірккову перевірку 10 % мережі);
- щотижневий моніторинг (передбачає перевірку випадкових 5 % мережі);
- позаплановий моніторинг (виконується з метою контролювання роботи підрядника у разі великої кількості скарг користувачів мережі);
- додатковий моніторинг (виконується для перевірки якості виправлених недоліків).

Проведений моніторинг забезпечує визначення: якості робіт; рівня безпеки; економічну ефективність; екологічний стан; рівень наданих послуг тощо. Також, велику увагу при проведенні моніторингу потрібно звернути на відгуки користувачів. Таким чином система повинна мати налагоджений і прозорий апарат зв'язку з суспільством, що може допомогти вчасно знайти недоліки і порушення.

В результаті моніторингу стан однорідної групи елементів дороги відноситься до однієї з п'яти категорій експлуатаційного стану (табл. 4.1) з певним ступенем деградації (табл. 4.2).

Метод ремонту елементу дороги кожного року вибирається випадковим чином у відповідності до ступеня деградації, як показано на рис. 4.2.

Таблиця 4.2 – Деградація експлуатаційного стану

Експлуатаційний стан	Ступінь деградації (D)	Назва експлуатаційного стану
5	0,80 ~ 1,00	Аварійний
4	0,60 ~ 0,80	Поганий
3	0,40 ~ 0,60	Задовільний
2	0,20 ~ 0,40	Добрий
1	0,00 ~ 0,20	Відмінний

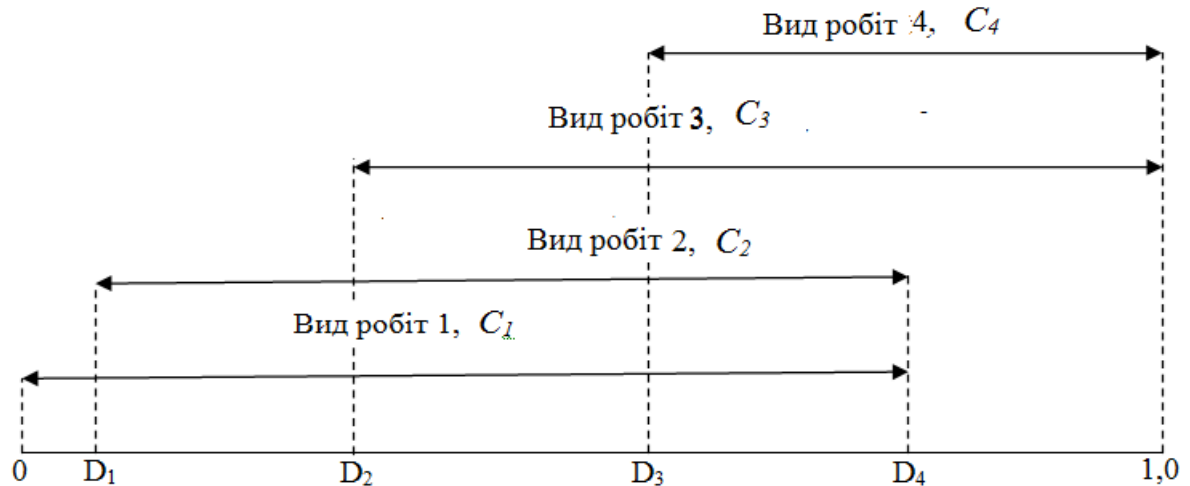


Рисунок 4.2 – Вибір виду робіт в залежності від ступеню деградації

При цьому існує співвідношення вартості видів робіт:

$$C_1 < C_2 < C_3 < C_4, \quad (4.1)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – вартість відповідного виду робіт.

Загалом нелінійна крива деградації елементу апроксимується ламаною лінією з ділянками, які мають постійні швидкості деградації [Ошибка! Источник ссылки не найден.3]:

$$D(t) = D(0) + \sum_{j=1}^t \mu \cdot R(A_j, Tr_j) - \sum_{j=1}^t I_m(j), \quad (4.2)$$

де $D(t)$ – ступінь деградації наприкінці інтервалу часу t ;

$D(0)$ – ступінь деградації на момент часу початку спостереження ступеню деградації. Для рівнів деградації 1 – 5 значення $D(0)$ приймається по середині інтервалу рівня деградації;

μ – фактор, що відображує деградаційні якості матеріалу;

$R(A_j, Tr_j)$ – швидкість деградації в інтервалу часу j ;

A_j – вік елементу в інтервалі часу j – кількість інтервалів часу від спорудження або заміни до інтервалу часу j ;

Tr_j – коефіцієнт руху в інтервалі часу j – співвідношення прогнозованої на інтервалу часу j максимальної інтенсивності руху і проектної інтенсивності руху;

$I_m(j)$ – вплив ремонтного заходу m на рівень деградації в інтервал часу j .

Таким чином, ступінь деградації елементу також залежить від експлуатаційного заходу m .

На основі історичної бази даних спостережень елементів доріг будується таблиця виду 4.3, яка містить швидкість деградації елементу дороги.

В табл. 4.3 повинні виконуватись співвідношення:

$$R_{ij} < R_{i,j+1}, i = \overline{1,4}; j = \overline{1,4}, \quad (4.3)$$

$$R_{ij} < R_{i+1,j}, i = \overline{1,3}; j = \overline{1,5}. \quad (4.4)$$

Таблиця 4.3 – Приріст рівня річної деградації в залежності від віку елементу

Коефіцієнт інтенсивності руху	Вік елементу, інтервалів часу				
	$A_1 - A_2$	$A_2 - A_3$	$A_3 - A_4$	$A_4 - A_5$	$> A_5$
$< 1,0$	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
$1,0 - 1,1$	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}
$1,0 - 1,2$	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}	R_{35}
$> 1,2$	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}	R_{45}

Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації повинен задається табл. 4.4. за умови виконання співвідношення:

$$I_i < I_{i+1}, i = \overline{1,3}, \quad (4.5)$$

Таблиця 4.4 – Вплив ремонтних заходів на зменшення ступеню деградації

Ремонтні заходи	Ступінь деградації, D	Вплив, I
Експлуатаційне утримання	0,00 ~ 0,80	I_1
Поточний дрібний ремонт	0,20 ~ 0,80	I_2
Поточний середній ремонт	0,40 ~ 1,00	I_3
Капітальний ремонт	0,60 ~ 1,00	I_4

Задача знаходження оптимального значення РО для заданої стратегії експлуатації мережі доріг або ділянки дороги розглядається стосовно всіх подібних елементів.

Оптимізація вартості заходів з ремонту та утримання на стратегічний період часу T та кількості елементів даного типу N виконується за методом штрафів. Відповідно, цільова функція [Ошибка! Источник ссылки не найден.63]:

$$Z = C \cdot \left[1 + p_1 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} + p_2 \cdot \frac{C - B}{B} \right], \quad (4.6)$$

де C – повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T ;

$D_{\max}$ – максимально допустимий рівень деградації;

B – бюджет ремонту та утримання елементів даного виду;

p_1, p_2 – коефіцієнт значимості ступеню деградації та виконання бюджету.

Якщо $D(i,t) \leq D_{\max}$, то $\frac{D(i,t) - D_{\max}}{D_{\max}} = 0$, тобто премія за досягнення кращого

стану не нараховується. Таке ж стосується і $\frac{C - B}{B}$.

Максимально допустимий рівень деградації $D_{\max}$ задається виходячи з економічного обґрунтування, проте він не може бути гіршим ніж гранично допустимий з вимог безпеки руху і збереження елементу.

Таким чином повинна виконуватись умова:

$$D_{\max} \leq D_{ГД}, \quad (4.7)$$

де $D_{ГД}$ – гранично допустимий ступінь деградації.

В першому, достатньому для практичних потреб, наближенні гранично допустимий ступінь деградації $D_{ГД}$ можна прийняти:

$$D_{ГД} = \text{const}. \quad (4.8)$$

З огляду на те, що РО $i \in D_{\max}$, то в моделі і алгоритм оптимізації рівня втручання $D_{\max}$ розглядається як керуюча змінна. В процесі оптимізації $D_{\max}$ змінюється як дискретна величина з кінцевої множини варіантів $D_{\max}$.

Повна вартість ремонту та утримання, що плануються на період часу T :

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [(1+r)^{-t} c_m(i, t) \cdot V(i)], \quad (4.9)$$

де N – кількість подібних елементів;

T – період часу, на який планується дія проекту або програми;

r – дисконтний коефіцієнт, який приймається постійним на період планування, який враховує інфляційні процеси: $r = (1 + d)(1 + i_{in}) - 1$, d – ставка дисконту, i_{in} – темп інфляції;

$c_m(i, t)$ – одинична вартість заходу m на одиницю об'єму елементу, що застосовується до елементу i в інтервалі часу t , $m = 1, 2, 3, 4$;

$V(i)$ – об'єм елементу.

В якості алгоритму пошуку оптимального значення РО для вибраної групи елементів з наведених вище причин доцільно застосувати генетичний алгоритм (ГА).

Стратегія експлуатації одного елементу складається з послідовності у часі річних експлуатаційних заходів (утримання і ремонтів) $m = \overline{1,4}$. Значення функції пристосованості (функції цілі 3.10) визначається цією стратегією. Допустимі перестановки вектору m і РО ($D_{\max}$) містять в собі таку (або такі), яка забезпечує мінімальне значення функції пристосованості (4.8).

Для оптимізації РО пропонується кодова структура одного рішення (хромосоми), наведена в табл. 4.5 [163].

Всього в рішенні (хромосомі) $N \cdot T + 1$ аргументів (генів) – керованих змінних задачі оптимізації.

Таблиця 4.5 – Кодова структура стратегії ремонту сукупності елементів

Елемент	$i-1$			i					$i+1$	D
Захід	...	m_{T-1}	m_T	$m_1=3$	$m_2=0$	...	$m_{T-1}=1$	$m_T=2$	...	$D_{\max}$
Керовані змінні (аргументи) задачі оптимізації				x_1 – ген 1	x_2 – ген 2	...	x_{T-1} – ген T-1	x_T – ген T	...	
Рішення (хромосома)										

В запропонованому ГА [162] алгоритм формування одного рішення початкової генерації включає такі кроки [163]:

- 1) очистити номер поточного елементу $i := 0$;
- 2) встановити номер поточного елементу $i := i + 1$;
- 3) очистити номер поточного року $t := 0$;
- 4) встановити номер поточного інтервалу часу $t := t + 1$;
- 5) визначити в залежності від $D(t-1)$:
 - 5.1) стан елементу (1, 2, ..., 5);
 - 5.2) методом Монте-Карло вид заходу m_t за схемою, наведеною на рис. 4.5, прийнявши рівну ймовірність вибору заходу в межах стану;
 - 5.3) обчислити $D(t)$;
 - 5.4) додати аргумент до рядка рішення (хромосоми);
- 6) якщо $t < T$, то перейти до кроку 4;

7) якщо $i < N$, то перейти до кроку 2

8) вихід.

В алгоритмі T – кількість інтервалів часу в плановому періоді, N – кількість елементів. Алгоритм 5-го кроку гарантує, що в рішенні не буде недопустимих за умовами задачі значень аргументів.

Оператор кросоверу даного ГА має таку особливість. Для кожної ділянки хромосоми – рішення для одного елементу задає одно точковий кросовер (табл. 4.6).

Тому кожному рішенню популяції, тобто варіанту експлуатаційної стратегії всіх елементів, відповідає багато точковий кросовер. В ньому кожний елемент має одну точку розриву його ділянки рішення, а кількість точок розриву варіанту експлуатаційної стратегії всіх елементів дорівнює кількості елементів, що розглядаються.

Точки кросоверу вибираються випадковими з ймовірністю, яка задана на рівні вихідних даних – ймовірністю кросоверу.

Таблиця 4.6 – Схема рекомбінації ділянки хромосом (кросоверу)

i -й елемент					
«батьки» (покоління t)					
Захід	У	У	ПД	ПД	ПС
Ген	1	2	3	4	5
Захід	ПД	У	У	ПС	У
Ген	1	2	3	4	5
«нащадки» (покоління $t+1$)					
Захід	У	У	ПД	ПС	У
Ген	1	2	3	4	5
Захід	ПД	У	У	ПД	ПС
Ген	1	2	3	4	5
точка розриву →					

Два батьківські рішення обмінюються розділеними частинами, як показано в таблиці 4.6 (виділено кольором). Таким чином, породжується два «нащадка». Праві їх частини повинні перевірятись на допустимість подібно 5-му кроку наведеного в алгоритмі формування одного рішення початкової

генерації. Якщо послідовність заходів не допустима, то її потрібно регенерувати (5-й крок).

В таблиці 4.6 прийняті такі скорочення: У – утримання; ПД – поточний дрібний ремонт; ПС – поточний середній ремонт; К – капітальний ремонт.

З ймовірністю мутації захід (ген) замінюється на інший в кожній ділянці рішення (хромосоми): після того, як випадковим чином вибраний аргумент, що буде мутувати, ліва від цього аргументу частина рішення залишається незмінною як частина нового рішення, вибраний для мутації аргумент змінюється в залежності від ступеню деградації минулого (попереднього) інтервалу часу, а частина аргументів рішення справа від позиції мутації верифікується тим же самим методом, що встановлений в операторі кросоверу.

Після створення всіх рядків рішень популяції обчислюється значення цільової функції кожної генерованої стратегії. Після багатьох генерацій вибирається краща в популяції стратегія з мінімальним значенням цільової функції, яка презентує рішення, близьке до оптимального.

Правила зупинки процесу пошуку рішення можуть бути такими:

- 1) умова збігу мінімального значення цільової функції, наприклад, $d\%$ з Q успішних останніх генерацій;
- 2) різниця між середнім і мінімальним значенням цільової функції, наприклад, $d\%$ з Q успішних останніх генерацій;
- 3) досягнення заданого граничного числа ітерацій.

Отже застосування ГА для оптимізації ремонтів та утримання елементу дороги має свої особливості, які, перш за все, відносяться до звуження вибору можливих дій в залежності від стану і ступеню деградації елементу дороги:

- початкова популяція стратегій генерується у відповідності зі ступенем деградації елементів;
- кожного року для кожного елементу виконується тільки один вид робіт з чотирьох (утримання, поточний дрібний ремонт, поточний середній ремонт, капітальний ремонт);

- поточний середній ремонт і капітальний ремонт виконуються не частіше одного разу за t_{nc} і t_k інтервалів часу;
- капітальний і поточний середній ремонти не приймаються, якщо запланована реконструкція елементу або заміна новим;
- капітальний ремонт елементу не приймається, якщо він знаходиться в 1 або 2 експлуатаційному стані;
- поточний середній ремонт не приймається для 1 експлуатаційного стану;
- потрібно враховувати ефект від ремонтно-відновлювальних дій в минулому інтервалі часу при виборі таких дій в поточному інтервалі часу. На відміну, в традиційних ГА такий зв'язок відсутній;
- якщо ступінь деградації менший, ніж темпи деградації в інтервалі часу у зв'язку з впливом утримання, то як ступінь зносу використовується інтервальні темпи деградації мінус вплив поточного дрібного ремонту та утримання.

Вихідні дані моделі визначаються: по-перше, застосованими в моделі оптимізації стратегіями ремонту та утримання елементів, моделлю деградації елементу, критерієм оптимальності і необхідними для їх обчислення даними, по-друге, параметрами, необхідними для реалізації генетичного алгоритму.

Параметрами генетичного алгоритму є:

N – чисельність популяції (кількість варіантів рішень) P^t , $t = 0, 1, \dots$;

N_c – число «батьківських» пар;

N_m – число «мутантів»;

p_c – ймовірність кросоверу;

p_m – ймовірність мутації;

Q – число генерацій (поколінь), протягом яких здійснюється генетичний пошук.

З допомогою математичної моделі можна дослідити вплив показника ступеню деградації на економічну ефективність ремонту та утримання елементу дороги.

4.2 Пропозиції щодо змін в програмному забезпеченні ІАСУ-ДККП

З метою створення бази даних експлуатаційних рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг була частково модифікована Інформаційно-аналітична система управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування (ІАСУ-ДККП).

В таблиці бази даних, які відносяться до складових автомобільної дороги, видів і типів їх елементів, дефектів елементів доріг за їх типами та таблиці рівнів обслуговування були внесені класифікаційні ознаки, які дозволяють належним чином класифікувати рівні обслуговування, зменшити об'єм вихідних форм (додаток А).

В ІАСУ-ДККП додатково введено параметри «срібного-трикутника» (табл. 4.3) та розроблено оптимізаційний модуль, який реалізовано студії макросів Excel (рис.4.7) та побудований на основі алгоритму застосування моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг, який приведений у розділі 3.

Таблиця 4.7 – Параметри ТСQ введені в ІАСУ-ДККП

Складові ТСQ	Ключові фактори
1	2
Час	Тривалість виконання основних (запланованих) робіт
	Тривалість виконання незапланованих та допоміжних робіт
	Особливість кліматичних та ґрунтово-геологічні умови
	Швидкість роботи робочого персоналу
	Затримки

1	2
Вартість	Вартість матеріально-технічного забезпечення
	Обсяг робіт
	Вартість виконання робіт
	Рівень складності виконання робіт
	Штрафи та стимулюючі виплати
	Інфляція
	Якість фінансування контракту
Якість	Державні вимоги до якості виконання робіт
	Споживчі вимоги та потреби
	Міжнародні вимоги та норми

	A	B	C	D
2	Оптимізоване значення часу T (X)	Відповідь:	1,39421	
3				
4	Показник	Позначення	Значення	
5	Тривалість виконання основних робіт	T bw	1,125	
6	Тривалість виконання незапланованих робіт	T aw	0,9	
7	Коефіцієнт, що враховує затримки через особливості кліматичних умов	k cc	0,9	
8	Коефіцієнт, що враховує продуктивність роботи робочого персоналу	k rw	0,85	
9	Коефіцієнт, що враховує інші фактори, які впливають на час виконання робіт	k of	0,9	
10				
11	Тривалість виконання основних робіт T bw	Відповідь:	1,125	
12	$T_{bw(i)} = V_{bw(i)} / P_{bw(i)} \times D_{t(i)}$			
13	Показник	Позначення	Значення	
14	Обсяг робіт	V bw	15	
15	Фактична продуктивність робіт	P bw	20	
16	Коефіцієнт понаднормових робіт	D t	1,5	
17				
18	Примітка: D t = 1,5 якщо роботи в понаднормовий час виконуються від 0 до 4 годин на добу (так як робочий день складає 8 г			
19				
20	Тривалість виконання незапланованих робіт T aw	Відповідь:	0,9	
21	$T_{aw(i)} = V_{aw(i)} / P_{aw(i)} \times D_{t(i)}$			
22	Показник	Позначення	Значення	
23	Обсяг робіт	V bw	15	
24	Фактична продуктивність виконання незапланованих робіт	P bw	25	
25	Коефіцієнт понаднормових робіт	D t	3,5	
26				
27	Примітка: D t = 1,5 якщо роботи в понаднормовий час виконуються від 0 до 4 годин на добу (так як робочий день складає 8 год			
28				

Рисунок 4.3 – Фрагмент оптимізації в Excel

Також змінені форми сценаріїв введення даних щодо рівнів обслуговування і форми вихідних документів.

На рис. 4.4 наведено сценарій вибору складових доріг різного адміністративного значення в ІАСУ-ДККП, що звужує об'єм подальших вибірок даних [163] (рис. 4.5, 4.6).

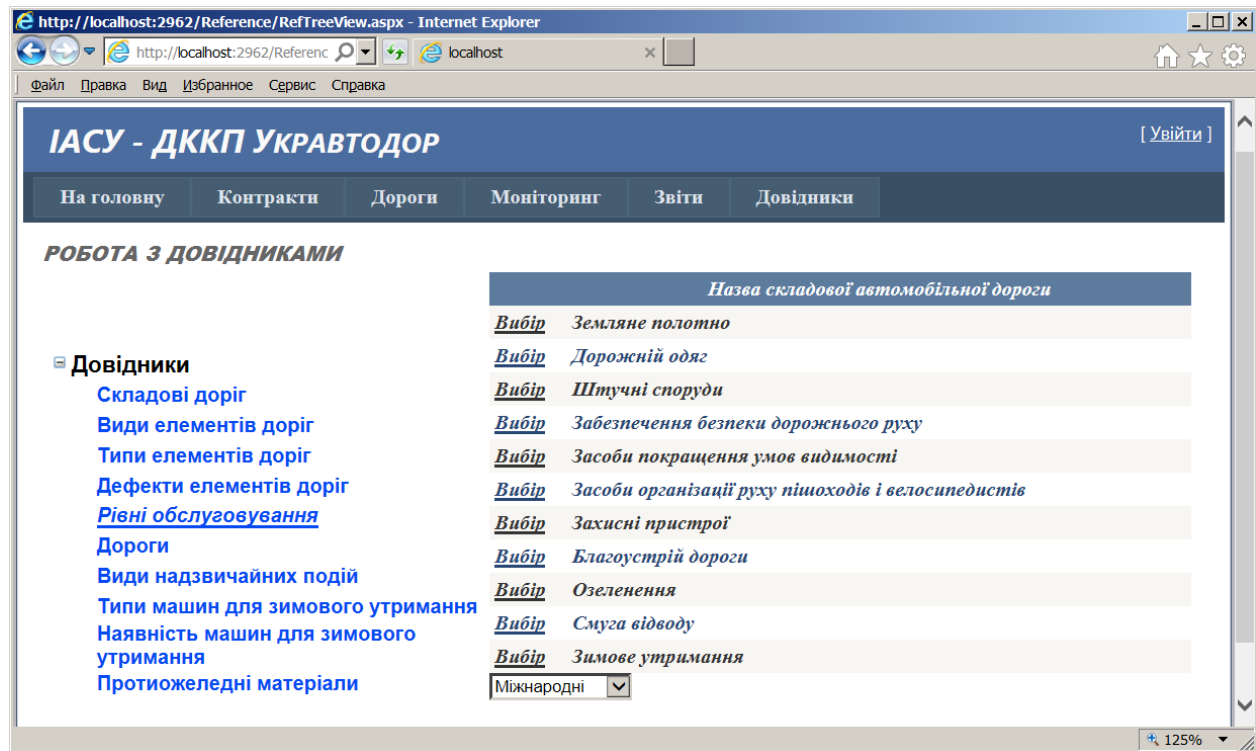


Рисунок 4.4 – Сценарій вибору даних однієї складової одного значення доріг

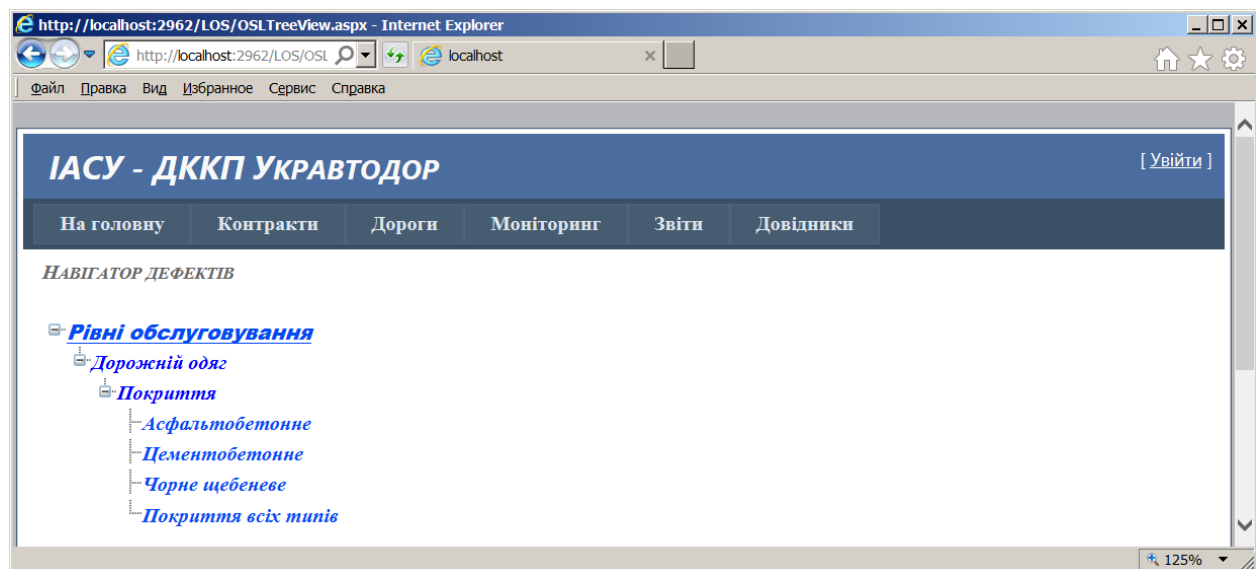


Рисунок 4.5 – Вибрані типи елементів доріг

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Шифр 2.1.1.1.1 м Дороги Міжнародні Сезон року РІК Дефект: Вибійни

Вимога усунення Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см

Час відгуку од. часу доба кількість 1.00 До дати: дд/мм

Штрафні бали за перевищення на 1.00 зняти балів 2.00 Одиниця виміру дефекту випадок

Коментар Діаметр найменшого кола, яке повністю описує вибійну. Глибина приймається в найглибшій точці вибієни

[Виправити](#) [Видалити](#) [Створити](#)

[Назад](#) [Дорожній одяг](#) [Покриття](#) [Асфальтобетонне](#)

Дефект	Од. виміру	Рівень втручання	Сезон	Од. часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. часу на	Зняти балів
✓ Вибійни	випадок	Діаметр >15 см ТА <= 20 см АБО глибина > 4 см ТА <= 5 см	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Діаметр > 20 см АБО глибина >= 5 см	РІК	година	5.00		5.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Більше 5 вибієн діаметром > 10 см на 1 км проїзної частини	РІК	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	ЛІ	доба	1.00		1.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	В,О	година	5.00		1.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Площа більша ніж 0.05 м2 ТА глибина не більша ніж 4 см	ЛІ	доба	7.00		1.00	2.00
✓ Вибійни	випадок	Загальна площа руйнувань на 1000 м2 покриття, м2, не більша ніж 0.3 м2	ЛІ	доба	1.00		1.00	2.00

Рисунок 4.6 – Робота з рівнями обслуговування вибраного типу елемента складової дороги

Для друку довідників дефектів та експлуатаційних рівнів обслуговування елементів доріг розроблена форма, яка дозволяє видавати звіти як по окремій складовій дороги, так і по всім складовим доріг вибраного адміністративного значення.

ДРУК ДОВІДНИКІВ

Об'єкти доріг
Види елементів доріг
Типи елементів доріг
Дефекти елементів доріг
Рівні обслуговування
Види надзвичайних подій
Типи машин для зимового утримання
Наявність машин для зимового утримання
Протижелезні матеріали
Перелік доріг

Назва складової автомобільної дороги

Вибір Земляне полотно
Вибір Дорожній одяг
Вибір Штучні споруди
Вибір Забезпечення безпеки дорожнього руху
Вибір Засоби покращення умов видимості
Вибір Засоби організації руху пішоходів і велосипедистів
Вибір Захисні пристрої
Вибір Благоустрій дороги
Вибір Озеленення
Вибір Смуга відводу
Вибір Зимове утримання

Міжнародні ☒ Всі об'єкти і елементи доріг

[Друк звіту](#)

Рисунок 4.7 – Форма для вибору звітів з різною деталізацією

При активізації режиму роботи з цим довідником спочатку визивається форма, наведена на рис. 4.8 вона призначена для вибору потрібного дефекту, для якого необхідно ввести або редагувати притаманні йому рівні обслуговування.

Ті типи елементів доріг, яким ще не співставлень ні одного дефекту виокремлюються червоним кольором.

Якщо навести курсор на назву дефекту, то поштовхом лівої кнопки миші можна визвати форму для створення або редагування рівня обслуговування, приклад якого для лінійних тріщин асфальтобетонного покриття наведено на рис.4.9. Елементи для введення даних, з трикутником, призначені для вибору зі списку (рис. 4.10).

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР [Увійти]

На головну | Контракти | Дороги | Моніторинг | Звіти | Довідники

НАВІГАТОР ДЕФЕКТІВ

- ▢ Дефекти
 - ⊕ Земляне полотно
 - ▢ Дорожній одяг
 - ▢ Покриття
 - ▢ Асфальтобетонне
 - ▢ Вибойни
 - ▢ Лінійні тріщини
 - ▢ Цементобетонне
 - ▢ Чорне щебеневе
 - ▢ Штучні споруди
 - ▢ Технічні засоби і пристрої організації та забезпечення безпеки дорожнього руху
 - ▢ Засоби покращення умов видимості
 - ▢ Засоби організації руху пішоходів і велосипедистів
 - ▢ Захисні пристрої
 - ▢ Снігозахист
 - ▢ Озеленення
 - ▢ Благоустрій дороги

Рисунок 4.8 – Форма для вибору виду дефекту

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР
[\[Увійти \]](#)

[На головну](#)
[Контракти](#)
[Дороги](#)
[Моніторинг](#)
[Звіти](#)
[Довідники](#)

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Код	Назва об'єкту	Вид елементу	Тип елементу	Назва дефекту	Вимога усунення
Вибрати 3	Дорожній одяг	Покриття	Асфальтобетонне	Лінійні тріщини	Ширина тріщини більша 3 мм і не більша 5 мм
Вибрати 4	Дорожній одяг	Покриття	Асфальтобетонне	Лінійні тріщини	Ширина тріщини більша 5 мм

Рівень вимог, сезон року
Вимога усунення
Час відгуку
Штрафні бали
Коментар
Вид діяльності
Код

рівень

міжнародні

▼

сезон року

Л

▼

Ширина тріщини більша 5 мм

од. часу

день

▼

кількість

14

До дати: дд/мм

за перевищення на

1,00

зняти балів

2,00

одиниця виміру дефекту

км

▼

Або ділянка для ділянок коротших за 1 км

Поточний дрібний ремонт доріг

▼

[Поновити](#)
[Відмінити](#)

[Назад](#)

Рисунок 4.9 – Форма для редагування рівня обслуговування

ІАСУ - ДККП УКРАВТОДОР
[\[Увійти \]](#)

[На головну](#)
[Контракти](#)
[Дороги](#)
[Моніторинг](#)
[Звіти](#)
[Довідники](#)

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Код	Назва об'єкту	Вид елементу	Тип елементу	Назва дефекту	Вимога усунення
Вибрати 3	Дорожній одяг	Покриття	Асфальтобетонне	Лінійні тріщини	Ширина тріщини більша 3 мм і не більша 5 мм
Вибрати 4	Дорожній одяг	Покриття	Асфальтобетонне	Лінійні тріщини	Ширина тріщини більша 5 мм

Рівень вимог, сезон року
Вимога усунення
Час відгуку
Штрафні бали
Коментар
Вид діяльності
Код

рівень

міжнародні

міжнародні

національні

регіональні

територіальні

▼

сезон року

Л

▼

Ширина тріщини більша 5 мм

од. часу

день

▼

кількість

14

До дати: дд/мм

за перевищення на

1,00

зняти балів

2,00

одиниця виміру дефекту

км

▼

Або ділянка для ділянок коротших за 1 км

Поточний дрібний ремонт доріг

▼

[Поновити](#)
[Відмінити](#)

[Назад](#)

Рисунок 4.10 – Вибір значення доріг зі списку

Потенційними користувачами ІАСУ-ДККП є, в першу чергу, працівники різних рівнів і ланок управління дорожнім господарством – керівні посадовці та співробітники центрального апарату Державного агентства автомобільних доріг України, служб автомобільних доріг в областях, підрядні дорожньо-експлуатаційні організації різних форм власності

Інформація ІАСУ-ДККП зберігається в централізованій базі даних (БД) ІАСУ-ДККП, яка поповнюється на регулярній основі даними користувачів системи.

Програмні засоби поповнення і редагування бази даних спираються на застосуванні веб-технології.

Основні функції веб-програми ІАСУ-ДККП:

- аутентифікація користувачів;
- авторизація користувачів;
- фільтрація, вибірка та відображення даних веб-браузером;
- формування звітів та графіків у звітах за запитами користувачів;
- вивід звітів у форматах: Word (*.doc), Excel (*.xls) та Acrobat (*.pdf);
- вставка нових даних у таблиці бази даних;
- редагування даних таблиць бази даних;
- видалення даних з таблиць бази даних.

Висновки до розділу 4

Запропоновано підходи до удосконалення математичної моделі обґрунтування рівня обслуговування автомобільних доріг при реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, на основі розробленої моделі управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг.

В якості алгоритму пошуку оптимального значення рівня обслуговування автомобільних доріг для вибраної групи елементів запропоновано застосувати генетичний алгоритм за розробленим підходом у третьому розділі. Крім того, автором запропоновано окремі зміни в алгоритмізованих рішеннях програмного комплексу реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг (ІАСУ-ДККП).

Результати приведених досліджень були основою для розробки ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».

Практичну реалізацію результатів дослідження було здійснено на базі Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор), ТОВ «Науково-технічна компанія «Дорекспо»», ТОВ «Торговий дім Арон».

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі були вирішені актуальні науково-прикладні задачі в області управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Досягнення мети та задач дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Дослідження проблем обґрунтування вартості та тривалості проектів автомобільних доріг показало, що ефективне управління станом доріг через довгострокові контракти з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показниками рівня їх обслуговування можливе лише за допомогою моніторингу транспортно-експлуатаційного стану, який надає своєчасну, релевантну, надійну і повну інформацію про фактичний стан доріг, що зберігається належним чином в історичному розрізі (для встановлення тенденцій і кількісного зв'язку між зовнішніми та внутрішніми факторами та експлуатаційним станом доріг), для чого необхідно обґрунтувати вимоги з усунення дефектів елементів автомобільних доріг державного значення, тобто, їх рівні обслуговування.

2. Розроблено факторіальну модель управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, яка базується на основних положеннях теорії «срібного трикутника». На відміну від існуючих підходів використання «срібного трикутника», запропоновано використати підходи множинної оптимізації, що базуються на зміні усіх трьох параметрів моделі. В подальшому дослідженні пропонується оптимізувати відношення «час-вартість» при варіації параметра «якість». Проведений аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках якості, визначив, що кінцеві показники та їх параметри (рівень обслуговування, критерії втручання, час реагування) широко варіюють в різних контрактах ДККП. Тому можна

стверджувати, що ці показники все ще розвиваються і продовжують бути предметом подальшого аналізу та обговорення.

3. Розроблена модель оптимізації часу, вартості та якості контрактів на основі розподілу ресурсів для їх реалізації базується на теорії графів з використанням генетичних алгоритмів. Генетичний алгоритм, в даному випадку – це ефективні глобальні алгоритми і методи пошуку та оптимізації, які ґрунтуються на законах природного відбору та подальшого використання найбільш оптимальних варіантів вирішення задач за допомогою накопичення інформації з простору пошуку та адаптації до найбільш оптимального варіанту. Проведений аналіз закордонного досвіду використання генетичних алгоритмів для вирішення задач оптимізації вказує на його гнучкість та ефективність, що може дозволити вирішити проблему оптимізації параметрів «срібного трикутника» проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

4. Запропоновано методичний підхід до забезпечення процесів формування оптимального складу параметрів моделі управління вартістю та тривалістю проектів з експлуатаційного 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, створенні передумов до стабільного фінансування дорожніх робіт, задоволеності

користувачів доріг, створенні міцних партнерських відносин між замовником та підрядником. Модель перевірена на адекватність з розрахунковою похибкою алгоритму біля 3%. 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.

5. Розроблено практичні рекомендації для удосконалення алгоритму пошуку оптимального значення рівня обслуговування автомобільних доріг та програмного забезпечення реалізації довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання доріг. В таблиці бази даних, які відносяться до складових автомобільної дороги, видів і типів їх елементів, дефектів елементів доріг за їх типами та таблиці рівнів обслуговування були внесені класифікаційні ознаки, які дозволяють належним чином класифікувати рівні обслуговування, зменшити об'єм вихідних форм.

Результати досліджень було покладено в розробку ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Harrison F.L., Lock Dennis (2004). Advanced project management: a structured approach. Gower Publishing, Ltd., 2004. p.34.
2. Deliver quality products, on time and within budget with PRINCE2. URL: http://www.crazycolour.com/home/?title=Introducing_PRINCE2
3. Руководство к Своду знаний по управлению проектами. *Третье издание. Руководство PMBOK. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004.* – 388 с.
4. Carl Chatfield and Timothy Johnson. A short course in project management. URL: <http://office.microsoft.com/en-us/project/HA102354821033.aspx>
5. Михайловська О.В. Операційний менеджмент. – К., 2008. URL: http://pidruchniki.ws/19610401/menedzhment/upravlinnya_proektami
6. Transportation Life Cycle. URL: <http://www.ncdot.gov/projects/roadbuilt/lifecycle.html>
7. Харченко А.М. Удосконалення методів проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 — К.: НТУ, 2010. — 183 с.
8. Abdel-Aziz, A.M., 2007b. Successful Delivery of Public-Private Partnerships for Infrastructure Development. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 133(12), 918-931. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:12\(918\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:12(918))
9. Hancher, D.E., 1999. Contracting Methods for Highway Construction. TR News, Transportation Research Board, 205, 10-14.
10. Станкевич Наталья, Кюреши Наваид и Кейроз Цезарь. Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ. *Транспортный бюллетень TN-27.* – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. URL: http://www-esd.worldbank.org/pbc_resource_guide/Docs-latest%20edition/PBC/PBC_final_Russian_Jan16_2006.pdf.

11. Mulmi, D., 2016. Assessment of Performance Based Road Maintenance Practices in Nepal. *Open Journal of Civil Engineering*, 6, pp.225-41. URL: <http://www.scirp.org/journal/ojce> <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2016.62021>
12. Radović, N., Mirković, K., Šešlija, M. & Peško, I., 2014. Output and Performance Based Road Maintenance Contracting – Case Study Serbia. *Tehnički vjesnik*, 21(3), pp. 681-688. URL: https://www.researchgate.net/publication/297275042_Output_and_performance_based_road_maintenance_contracting_-_case_study_Serbia
13. Singh, P., Oh, J.E., Labi, S., Sinha, K.C., 2007. Cost-Effectiveness Evaluation of Warranty Pavement Projects. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 133(3), 217–224. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(217)
14. 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*. URL: <http://www.zietlow.com/docs/pbrmc-05.pdf>
15. 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 / Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М., Шпиг А.Ю., Маковська Ю.А., Шкарівська Н.Ю. Укравтодор. К.: 2014.
16. Канін О.П. Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами на основі рівнів обслуговування доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 94. – С. 112-123. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/94/112-123.pdf
17. Харченко А.М., Канін О.П., Соколова Н.М. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих

показниках, у дорожній галузі. *Вісник Національного транспортного університету*. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28.

18. Харченко А.М., Мелешук Т.П. Аналіз світового досвіду впровадження та використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2015. Вип. 93. С. 138-143. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/138-143.pdf

19. Соколова Н.М., Маковська Ю.А. Імітаційна модель обґрунтування ціни довгострокового контракту з утримання автомобільних доріг. *Ефективна економіка*, № 6, 2016. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5037>.

20. Маковська Ю.А. Моделювання довгострокового контракту на утримання автомобільних доріг. *II міжнародна науково-практична конференція «Інноваційна економіка»: збірник матеріалів*. 2016 р., Одеса. С. 55-58. URL: <http://www.molodyvcheny.in.ua/files/conf/eko/18oct2016/18oct2016.pdf#page=55>.

21. Безуглий А. О., Бельська О. Л., Бібик Ю. М., Ракович І. В. Нормативне забезпечення запровадження довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг для забезпечення їх експлуатаційного стану. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 8-19. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.008>.

22. Безуглий А.О., Ілляш С.І., Зеленовський В.А., Печончик Т.І., Стасюк Б.О. Вдосконалення системи експлуатаційного утримання мережі автомобільних доріг загального користування в Україні. *Дороги і мости: Збірник наукових праць*. – К.: ДП «ДерждорНДІ», 2017. – Випуск 17. – с. 14-27.

23. Аналітична записка «Щодо удосконалення механізмів розвитку дорожньої галузі в контексті реалізації реформи державного управління автомобільними дорогами». *Національний інститут стратегічних досліджень*. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1661/>

24. Державна цільова економічна програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. Кабінет Міністрів України: Постанова від 21 березня 2018 р. № 382, Київ URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%D0%BF#Text>

25. Performance-Based Contracting for Maintenance. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 389: Performance-Based Contracting for Maintenance explores experience with performance-based maintenance contracting in places where it has been adopted, including such issues as whether it has the potential to reduce costs and improve maintenance levels of service. – 2011. URL: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/161949.aspx>.

26. Zietlow G. Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries – An Instrument of German Technical Cooperation. - November 2004. Eschborn, Germany. URL: <http://www.zietlow.com/docs/PBMMC-GTZ.pdf>.

27. Sultana M., Rahman A., Chowdhury S. An Overview of Issues to Consider Before Introducing Performance-Based Road Maintenance Contracting. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012. – 62 p. URL: http://www98.griffith.edu.au/dspace/bitstream/handle/10072/47138/78055_1.pdf?sequence=1.

28. Juan Carlos Piñero. A framework for monitoring performance-based road maintenance. December 8, 2003. URL: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-12092003-083115/unrestricted/JuanPinero_PhDDissertation.pdf.

29. Abdulla Salem Al-Kathairi, G. (2014). Performance Based Road Asset Management System, with a case study: Abu Dhabi. Ottawa, Ontario 2014. Carleton University. URL: https://curve.carleton.ca/system/files/etd/dbb982d8-47c9-4038-8b83-50229c4e6a06/etd_pdf/4b17c0fbc48fba429b0e445891834ae5/al-kathairi-performancebasedroadassetmanagementsystem.pdf.

30. Liautaud G. Maintaining Roads: Experience with Output-based Contracts in Argentina. Washington, D.C.: The World Bank. 2004. URL: <http://rru.worldbank.org/Documents/Other/09ch4.pdf>.
31. Eric Lancelot. Performance Based Contracts in the Road Sector: Towards Improved Efficiency in the Management of Maintenance and Rehabilitation. Brazil's Experience. March 2010, Washington, D.C. URL: http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1229359963828/TP-31_PBC_Brazil.pdf.
32. Ozbek, M.E. (2007). Development of a Comprehensive Framework for the Efficiency Measurement of Road Maintenance Strategies using Data Envelopment Analysis, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. 2007.
URL: https://www.researchgate.net/publication/277865148_Development_of_a_Comprehensive_Framework_for_the_Efficiency_Measurement_of_Road_Maintenance_Strategies_using_Data_Envelopment_Analysis
33. Ozbek, M.E. (2004). Development of Performance Warranties for Performance-based Road Maintenance Contracts, Masters Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
DOI:10.1061/9780784408865.ch02
34. Queiroz, C. (1999). Contractual Procedures to Involve the Private Sector in Road Maintenance and Rehabilitation. Transportation Sector Familiarization Program.
URL: http://www.worldbank.org/transport/roads/c&m_docs/ts_499.pdf.
35. MWH NZ Ltd.. Answers to the World Bank Survey on Performance-based Contracting in Selected Countries. Washington, D.C.: The World Bank (Personal Correspondence). 2005.
URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6481>
36. Харченко А.М., Заворотний С.М. Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і*

дорожнє будівництво. Київ, 2016. Вип. 97. С. 124-135. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/124-135.pdf

37. Сессия 3а: Контракт на содержание дорог, ориентированный на достижение результатов.

URL: http://www.carecprogram.org/uploads/events/2012/PBMC-Training/008_102_209_Performance-Based-Maintenance-Contract-Why-ru.pdf.

38. ADB, 2018. Guide to Performance-Based Road Maintenance Contracts. Manila, Philippines: Asian Development Bank. 2018. URL: <https://www.adb.org/documents/guide-performance-based-road-maintenance-contracts>

39. Про перепідписання контракта на реалізацію пілотного проекту експлуатаційного утримання автомобільної дороги за кінцевим результатом. *Державне агентство автомобільних доріг України: Прес-служба Укравтодору*, від 15 серпня 2014 р. URL: http://www.ukravtodor.gov.ua/novini/%D1%81_v-ukravtodori-perepidpisali-kontrakt-na-realizatsiyu-pilotnogo-proektu-ekspluatatsiinogo-utrimannya-avtomobilnoi-dorogi.html.

40. Контракт контракту рознь. *Транспорт России*, № 2 (913) от 14 января 2016 г. URL: <http://www.transportrussia.ru/avtomobilnye-dorogi/kontrakt-kontraktu-rozn.html>.

41. Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года. *Транспортний весник*, №11 (5862) за 12 март 2015 г. URL: <http://transport-gazeta.by/index.php/article/4524/number/11/12-03-2015/strategiya-innovacionnogo-razvitiya-transportnogo-kompleksa-respubliki-belarus-do-2030-goda>.

42. Перспективы развития автомобильно-дорожной сети Российской Федерации до 2030 г. *Транспорт Российской Федерации*, № 2 (39) за 15 март 2012 г. URL: <http://www.rostransport.com/themes/7062/>.

43. Zaid Alyami. A Two-Phase Maintenance and Rehabilitation Framework for Pavement Assets under Performance Based Contracts. A thesis

presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/268351969_A_Two-Phase_Maintenance_and_Rehabilitation_Framework_for_Pavement_Assets_under_Performance-Based_Contracts

44. Впровадження контрактів на основі кінцевих результатів в Україні. Досвід та перспективи розвитку. *Національна асоціація дорожників України*. URL: <https://nadu.com.ua/vprovadzhennya-kontraktiv-na-osnovi-kinczevih-rezultativ-v-ukra%D1%97ni-dosvid-ta-perspektivi-rozvitku/>

45. Загальна інформація по спільним проектам з ЄБРР. *Укравтодор*. Новини від 26.09.2016 р. URL: https://ukravtodor.gov.ua/4489/mizhnarodne_spivrobotnytstvo_ta_investytzii/yebrr/evropeyskiy_bank_rekonstruktsii_ta_rozvytku_yebrr.html

46. Спільні з міжнародними фінансовими організаціями проекти в дорожній галузі. *Міністерство інфраструктури України*. URL: <https://cutt.ly/ZcDml8A>

47. Bull, M., Brekelmans, R. & Wilson, L., 2014. Lessons Learned in Output and Performance-Based Road Maintenance Contracts. *PPIAF-Enabling Infrastructure Investment*. URL: <https://ppiaf.org/documents/2065/download>

48. Sultana, Rahman, A. & Chowdhury, S., 2012. An Overview of Issues to Consider Before Introducing Performance-Based Road Maintenance Contracting. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 62. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.308.7399&rep=rep1&type=pdf>

49. Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М., Шпиг А.Ю. База даних рівнів обслуговування в управлінні довгостроковими контрактами на основі кінцевих показників якості доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник*. 2015. Вип. 94. С. 124-134. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/94/124-134.pdf

50. Construction project delivery systems and procurement practices: considerations alternatives advantages disadvantages. *Trauner Consulting Services, Inc.* April, 2007. URL: <http://www.fefpa.org/pdf/summer2007/Pros-Cons-handout.pdf>

51. Olav Ellevset. Output- and Performance-based Road Contracts (OPRC) (Based on presentations by Schliessler/Gericke WB), *The World Bank*, March, 2014.
URL: <https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/HTML/Conferences/Bamako05/Final-Report/Annex10-Presentations/02-Olav.pdf>

52. Design, improvement works and management and maintenance services for the nekemte-bure road upgrading project, under an output and performance based road contract, *Works Requirement*, Volume III, December, 2014.
URL: http://www.era.gov.et/documents/64358/64367/Contract-Award-Information+Nekempt+-+Bure+_Lot+I-III+works.pdf

53. Matt Bull, Ruben Brekelmans, Lauren Wilson. Lessons learned in output and performance-based road maintenance contracts. October, 2014. URL: <https://www.gihub.org/resources/publications/lessons-learned-in-output-and-performance-based-road-maintenance-contracts/>

54. Заворотний С.М. Основні проблемні питання та особливості використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 96. С. 111-120.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/96/111-120.pdf

55. Соколова Н.М., Канін О.П., Харченко А.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. –К.: НТУ, 2013 – Вип. 11. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_project/11_2013/130-139.pdf.

56. Харченко А.М., Канін О.П., Соколова Н.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах

з поточного дрібного ремонту та утримання доріг. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. – К.: НТУ – 2013. –Вип. 12.

57. Kamalesh Panthi. A Methodological Framework for Modeling Pavement Maintenance Costs for Projects with Performance-based Contracts. Florida International University, 2009 – 120p.
URL: <http://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=etd>.

58. FHWA (Federal Highway Administration). (2003). Asphalt Pavement Warranties Technology and Practice in Europe, Report FHWA-PL-04-002, FHWA, Washington, D.C. URL: <https://international.fhwa.dot.gov/links/pubs.cfm>

59. Ayyub, B.M. Risk Analysis in Engineering and Economics. Chapman and Hall/CRC. ISBN 9781466518254 Published April 8, 2014 by Chapman and Hall/CRC 640 p.

60. Zayed, T.M. , and Chang, L.M. (2002). A Prototype Model for Build Operate Transfer (BOT) Risk Assessment. *ASCE Journal of Management in Engineering*, 18(1) 7-16. DOI:10.1061/(ASCE)0742-597X(2002)18:1(7)

61. Owen, M. (2000). Managing the Risk in a New Performance-based Environment, *Technical Report of Transit New Zealand*. Wellington. URL: <http://www.transit.govt.nz>.

62. Gallagher, P., and Mangan, D. (1998). Risk Issues in Performance-Specified Flexible Paving Contracts. *Proceedings of 19th Conference of the Australian Road Research Board Transport*, 361-370. URL: <https://trid.trb.org/view/507805>

63. Kazakov, A., and Cook, W. D. (1988). Risk Considerations in Financial Planning for Pavement Rehabilitation. *Transportation Research Record 1200*, Transportation Research Board, National Research Council, 11–18.

64. Moynihan, G., Zhou, H., and Cui, Q., (2009) Stochastic Modeling for Pavement Warranty Cost Estimation. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 135(5) 352-359. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000005](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000005)

65. Emery, S.J. (2000) Improved Construction Practices: Pavement Performance Evaluation as an Input to Stochastic Asset Management. *Proceedings of 1st Conference on World of Asphalt Pavements*, Sydney. URL: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1163071>
66. Damnjanovic, I. (2006). A Risk-based Approach to Modeling Life-cycle Costs Associated with Warranty Specifications for Transportation Infrastructure, *Ph.D. dissertation*, University of Texas at Austin, Texas, USA. URL: <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/3423>
67. Herbsman, Z.J., Glagola, C.R., 1998. Lane Rental: Innovative Way to Reduce Road Construction Time. *ASCE Journal of Construction and Engineering Managements*, 124(5), 411–417. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:5\(411\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:5(411))
68. Carpenter, B., Fekpe, E., Gopalakrishna, D., 2003. Performance-Based Contracting for the Highway Construction Industry. Washington DC: Koch Industries Inc., Final Report. URL: <http://www.ncppp.org/resources/papers/battellereport.pdf>. Accessed July 2011.
69. Choi, K., Kwak, Y.H., 2012. Decision Support Model for Incentives/Disincentives Time–cost Tradeoff. *Automation in Construction*, 21, 219-228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.006>
70. Bordat, C., McCullouch, B.G., Labi, S., Sinha, K.C., 2004. An Analysis of Cost Overruns and Time Delays of INDOT Projects. Tech. Rep. Nr. FHWA/IN/JTRP-04/7. URL: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1482&context=jtrp>
71. Rowland, H., 1981. The Causes and Effects of Change Orders on the Construction Process. Ph.D Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA. URL: <https://calhoun.nps.edu/handle/10945/20447>
72. Jahren, C., Ashe, A., 1990. Predictors of Cost-Overrun Rates. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 116(3), 548–551. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1990\)116:3\(548\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116:3(548))

73. Al-Momani, A.H., 2000. Construction Delay: A Quantitative Analysis. *International Journal of Project Management*, 18(1), 51–59. URL: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00060-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00060-X)
74. Chang, A.S., 2002. Reasons for Cost and Schedule Increase for Engineering Design Projects. *Journal of Management in Engineering*, 18(1), 29–36. DOI:10.1061/(ASCE)0742-597X(2002)18:1(29)
75. Singh, P., Oh, J.E., Labi, S., Sinha, K.C., 2007. Cost-Effectiveness Evaluation of Warranty Pavement Projects. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 133(3), 217–224. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(217)
76. Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L., 2011. Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. 2nd Edition, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL. URL: http://www.ru.ac.bd/wp-content/uploads/sites/25/2019/03/202_07_Washington_Statistical-and-Econometric-Methods-for-Transportation-Data-Analysis-Second-Edition.pdf
77. Заворотний С.М., Харченко А.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2017. Вип. 101. С. 57-67. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/101/057-067.pdf
78. Kelly E., James Jr. Critical path planning and scheduling: mathematical basis, *Oper. Res.*, Vol. 9 no. 3, 1961, pp. 167-179. URL: <https://www.jstor.org/stable/167563?seq=1>
79. Hendrickson C., Au T. Project Management for Construction, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J, 1989. 537 p.
80. Pagnoni A. Project Engineering: Computer Oriented Planning and Operational Decision Making, Springer, Berlin, 1990. 254 p.
81. Butcher W.S. Dynamic programming for project cost-time curve, *Journal of Construction Division*, ASCE, Vol. 93 (C01), 1967, - pp. 59-73. URL: <https://doi.org/10.1061/JCCEAZ.0000191>

82. Robinson D. R. A dynamic programming solution to cost-time tradeoff for CPM, *Mgmt. Sci.*, Vol. 22, No. 2, 1975, - pp. 158-166. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.22.2.158>
83. Moselhi El., Rayes K. Scheduling of repetitive project with cost optimization. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 1993, 119 (4): 681-697. URL: <https://experts.illinois.edu/en/publications/scheduling-of-repetitive-projects-with-cost-optimization>
84. Elmaghraby S. E. Resource allocation via dynamic programming in activity networks, *Eur. J. Operational Res.*, Vol. 64, 1993, - pp. 199-215. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221793901770>
85. De P., Dunne E. J., Wells C. E. The discrete time-cost trade-off problem revisited, *Eur. J. Operational Res.*, Vol. 81, 1995, - pp. 225-238. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00187-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00187-H)
86. Burns S.A., Liu L., Feng C.W. The LP/IP hybrid method for construction time-cost trade-off analysis, *Constr. Manag. Econ.*, Vol. 14, No. 3, 1996, - pp. 265-276. URL: https://www.researchgate.net/publication/24077201_The_LPIP_hybrid_method_for_construction_time-cost_trade-off_analysis
87. Burns S.A. Generating Reflectance Curves from RGB Triplets. University of Illinois at Urbana-Champaign. Originally published April 29, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/275769158_Generating_Reflectance_Curves_from_RGB_Triplets_arXiv171005732_https://scottburnsusreflectance-curves-from-srgb
88. Mayer W. L., Shaffer L.R. Extension of the critical path method through the application of integer programming, *Civ. Engrg. Constr. Res. Ser. 2*, Univ. of Illinois, Urbana, III, 1963. 184 p.
89. Patterson J. H., Huber D. A horizon-varying, zero-one approach to project scheduling, *Mgmt. Sci.*, Vol. 20, No. 6, 1974, - pp. 990-998. URL: <https://www.jstor.org/stable/2630211?seq=1>

90. Fondahl J. W. A non-computer approach to the critical path method for the construction industry, Technical Report No. 9, The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stamford University, 1962. URL: https://mosaicprojects.com.au/PDF/John_W_Fondahl.pdf
91. Prager W. A structured method of computing project cost polygons, *Manage. Sci.*, Vol. 9, No. 3, 1963, - pp. 394–404. URL: <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.9.3.394>
92. Siemens N. A simple CPM time-cost trade-off algorithm, *Management and Science*, 1971, 17(6): 354-36322. URL: <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.17.6.B354>
93. Moselhi O. Schedule compression using the direct stiffness method, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 20, No. 1, 1993, - pp. 65-72. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/l93-007>
94. Hegazy T., Shabeeb A.K., Elbeitagi E. Cheema T. Algorithm for scheduling with multi-skilled construction resources. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 2000, 126(6): 414-421. URL: https://www.researchgate.net/publication/287493293_Algorithm_for_scheduling_with_multi-skilled_construction_resources
95. Zheng H., Li H., Tan C.M. Heuristic scheduling of resource constrained,multiple mode and repetitive project. *Construction Management and Economics*, 2006, 24(2):159-169. URL: <https://doi.org/10.1080/01446190500184311>
96. Li H., Love P. Using improved genetic algorithms to facilitate time-cost optimization, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 3, 1997, - pp. 233-237. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1997\)123:3\(233\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1997)123:3(233))
97. Hegazy T. Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 26, No. 6, 1999, - pp. 685-697. DOI:10.1139/cjce-26-6-685
98. Leu S., Yang S. Genetic algorithm based multi-criteria optimal model for construction scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*,

1999, 125(6): 420-427. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:6\(420\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(420))

99. Li H., Cao and Love. Using machine learning and genetic algorithm to solve time-cost trade-off problem. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125(5): 347-353. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:5\(347\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:5(347))

100. Senouci N., Eldin N. Use of GA in resource scheduling of construction project, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 2004, 130(6): 869-877. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:6(869)

101. Chen P.H., Weng H. A. two phase genetic algorithm model for resource constrained project scheduling. *Automation in Construction*, 2009, 18(4):485-498. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.003>

102. Shahsavari N., Ghamginzaden A., Pour M. A new approach to solve the time-cost trade-off problem based on genetic algorithm and fuzzy theory. *International journal of Engineering and Techniques*, 2012, 1(3): 238-249. DOI: 10.14419/ijet.v1i3.137

103. Feng C.W., Liu L., Burns S.A. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 3, 1997, - pp. 184- 189. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1997\)11:3\(184\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1997)11:3(184))

104. Gen M., Cheng R. Genetic Algorithms & Engineering Optimization, *Wiley-Interscience*, New York, 2000. DOI:10.1080/07408170108936911

105. Zheng X.M., Ng S.T., Kumaraswamy. Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 130, No. 2, 2004, - pp. 168-176. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:2\(168\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:2(168))

106. Yang I.T. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis, *J. Constr. Eng. Manage.* Vol. 133, No. 7, 2007, - pp. 498–505. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:7\(498\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(498))

107. Xiong Y., Kuang Y. Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time–cost trade-off, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 134, No. 2, 2008, - pp. 153- 156. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:2\(153\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:2(153))
108. Ng S.T., Zhang Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE , Vol. 134, No. 9, 2008, - pp. 721-728. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:9(721)
109. Geem Z. W. Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 136, No. 6, 2010, - pp. 711- 716. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000167](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000167)
110. Shrivastava R., Singh S., Dubey G.C. Multi-objective optimization of time-cost-quality-quantity using multi colony Ant algorithm. *International Journal of Contemporary Mathematical Science*, 2012, 7(16): 773-784. URL: https://www.researchgate.net/publication/228617645_Multi-objective_optimization_of_time-cost-quality_using_multi-colony_ant_algorithm
111. Jorge M-M. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. *New Developments in Pure and Applied Mathematics*. URL: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12>.
112. Afshar, A., Ziaraty, A.K., Kaveh, A., and Sgarifi, F. Nondominated archiving multicolony ant algorithm in time–cost trade-off optimization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (7), 2009, pp. 668-674. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:7\(668\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:7(668))
113. Babu, A.J.G., and Suresh, N. Project management with time, cost and quality considerations. *European Journal of Operations Research*, 88, 1996. Pp. 320-327. URL: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00202-9](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00202-9)
114. Khang, D.B., and Myint, Y.M. Time, cost and quality trade-off in project management: a case study. *International Journal of Project Management*. 1999. URL: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00043-X)

115. El-Rayes, K., and Kandil, A. Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (4), 2005, pp. 477-486. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:4\(477\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477))
116. Lakshminarayanan, S., Gaurav, A., and Arun, C. Multiobjective optimization of time-cost-risk using ant colony optimization. *International Journal of Project Planning and Finance*, 1 (1), 2010, pp. 22-38. URL: <https://www.researchgate.net/publication/>
117. Santosh, M., Benyoucef, L., Young-Jun Son, and Tiwari, M.K. A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time–cost–quality trade-off problems: a case study of highway construction project. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26, 2013, pp.1953-1966. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2013.05.006>
118. Заворотний С.М., Харченко А.М. Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2017. Вип. 20. С. 41-49.
119. Barnes, M. Some origins of modern project management-A personal history. 2006. URL: http://www.pmforum.org/viewpoints/2006/08_4.htm
120. Wideman R.M. Successful project control and execution. *Project Manage.*, 7 (2): 1989, pp. 109 - 113. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/managing-project-development-phase-better-5753>
121. Управління проектом. Основи проектного управління: підручник / колектив авторів; під ред. проф. М.Л. Разу. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: КНО РУС, 2010. – 760 с.
122. Управление проектами. Зарубежный опыт/под ред. В.Д. Шапиро. СПб.: ДваТрИ, 1993. – 443 с.

123. Мазур И.И., Шапиро В.Д. и др. Управление инвестиционно-строительными проектами: международный подход. Руководство/ под ред. И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. М.: Авваллон, 2004. – 592 с.
124. Мазур І.І. Управління проектами: навч. посібник. / І.І. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге. – М., Омега-Л, 2007. URL: https://sfpk.at.ua/biblioteka/PMI/Project_upr.pdf
125. Милошевич Д.З. Набор инструментов для управления проектами. — Компания АйТи; ДМК-Пресс, 2008. — 736 с.
126. Рач В.А., Медведева Е. М. Конфигурационный подход в методологии управления проектами, портфелями и программами. *Управління проектами у розвитку суспільства. Тема "Управління проектами в умовах дігіталізації суспільства"*: тези доп. - К.:КНУБА, 2020. - С. 291-296.
127. Воркут Т. А. Цимбал Н. М., Чечет А. М. Концепція портфельного управління використанням внутрішньоорганізаційних ресурсів проектно-орієнтованих організацій в умовах ризику та невизначеності. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. - 2014. - Вип. 14(1). - С. 7-14. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_14\(1\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_14(1)_3).
128. Чернишев Д.О., Київська К.І., Цюцюра С.В., Цюцюра М.І., Гоц В.В. Впровадження технології моделювання інформаційних об'єктів на етапах життєвого циклу. *Управління розвитком складних систем*. – 2019. – № 40. – С. 140 – 146; URL: [dx.doi.org\10.6084/m9.figshare.11969076](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11969076).
129. Криворучко О.В. Моделі і методи управління проектами: Навчальний посібник/ С.Д. Бушуєв, С.В. Цюцюра, О.В. Криворучко та ін. - К.: КНУБА, 2016. – 196 с.
130. Хрутьба В. О. Огляд стандартів управління проектами для програм поводження з відходами в транспортно-дорожньому комплексі. *Вісник Національного транспортного університету*. - 2010. - № 20. - С. 81-86. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2010_20_17.

131. Кульбовський І. І. Управління проектами підтримки та розвитку колійного господарства метрополітену : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / І. І. Кульбовський ; Нац. трансп. ун-т. – К., 2012. – 20 с.
132. Baker R.D. Time-cost relationships in construction. University of Florida. Summer 1991. URL: <https://calhoun.nps.edu/handle/10945/28611>
133. Заворотний С.М., Харченко А.М. Оптимізація відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2016. Вип. 18. С. 54-61. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_project/2016_18_tech/054.pdf
134. Chidambaram Ramanathan, SP Narayanan, Arazi B Idrus. Construction Delays Causing Riskson Time and Cost - a Critical Review. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*. Universiti Teknologi Petronas, Malaysia. URL: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v12i1.2330>
135. Bordat C., McCullouch B.G., Labi S., Sinha K.C. An Analysis of Cost Overruns and Time Delays of INDOT Projects. Publication FHWA/IN/JTRP-2004/07. *Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University*, West Lafayette, Indiana, 2004. doi: 10.5703/1288284313134.
URL: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.ua/&httpsredir=1&article=1482&context=jtrp>.
136. Understanding and Monitoring the Cost-Determining Factors of Infrastructure Projects. *A User's Guide*. European Commission. Directorate - Generalfor Regional Policyand Cohesion, 1998.
URL: https://www.google.com.ua/?gws_rd=ssl#q=4.%09Understanding+and+Monitoring+the+Cost-Determining+Factors+of+Infrastructure+Projects.+A+User%27s+Guide
137. Бабаєв В.М. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Управління проектами». Харків 2006. – 242 с.

138. Jin-Fang Shr, Wei-Tong Chen. Functional model of cost and time for highway construction projects. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14, No. 3, 2006, pp.127-138. URL: <http://jmst.ntou.edu.tw/marine/14-3/127-138.pdf>
139. Roya M. A., Niaki S. T. A. Fuzzy Optimization in Cost, Time and Quality Trade-off in Software Projects with Quality Obtained by Fuzzy Rule Base. *International Journal of Modeling and Optimization*, Vol. 3, No. 2, April 2013. DOI:10.7763/IJMO.2013.V3.262
140. Trivedi M.K., Sapan N. Use of optimization techniques in time-cost trade off (TCT) in civil construction: An Overview. *Civil engineering department, Madhav Institute of Technology and Science Gwalior*, 474001) (M.P.) INDIA. URL: http://www.irphouse.com/ijcem/ijcemv2n1_01.pdf.
141. Sultana P., Surajit K. S. GA Based Multi-Objective Time-Cost Optimization in a Project with Resources Consideration. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol.2, Issue.6, Nov-Dec. 2012. URL: http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue6/CQ2643524359.pdf.
142. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с. URL: <http://mathmod.asu.edu.ru/images/File/ebooks/GAfinal.pdf>.
143. Цой Ю.Р., Спицын В.Г. Генетический алгоритм. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006г. - 146 с. URL: http://qai.narod.ru/Publications/tsoy_chapterGA.pdf.
144. Зорін Ю. М., Ажнюк Я. Б. Генетичний алгоритм для планування проектних робіт. URL: http://pmk.fpm.kpi.ua/arhive_2012/33_Ajnuk.pdf
145. Юрьев А.Г., Ключев С.В. Генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций. *Образование, наука, производ-ство и управление в XXI веке*: Матер. Междунар. науч. конф. В 4т. – Старый Оскол: Изд-во СТИ МИСиС, 2004. – Т. 4. – С. 238–240.
146. Канін О.П., Діденко В.В. Оптимізація життєвого циклу автомобільних доріг за допомогою генетичного алгоритм. *Автомобільні дороги*

і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2011. – Вип. 80. – С. 73-77. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/80/073-077.pdf

147. Лантух-Лященко А.І. Визначення часу переходу елементів споруди із одного дискретного стану в інший. *Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів.* – 2001. – Вип. 12. – С. 397-402.

148. Канін О.П., Халай Т.О., Боднар Л.П. Генетичний алгоритм оптимізації довгострокових стратегій ремонтів мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник.* – К.: НТУ. – 2013. – Вип. 88. – С. 180-188.

149. Канін О.П., Ігнатюк В.В. Генетичний алгоритм оптимізації програм ремонту дорожнього одягу автомобільних доріг. *Управління проектами, системний аналіз і логістика.* – К.: НТУ – 2012. – Вип. 10.

150. Татусь В.В. Генетичний алгоритм оптимізації ризиків в управлінні проектами автомобільних доріг. *Управління проектами, системний аналіз і логістика.* – К.: НТУ – 2012. – Вип. 10.

151. Корецький А.С., Руденок Л.О. Використання генетичного алгоритму при проектуванні елементів транспортних споруд. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* – К.: НТУ – 2010. - Вип. 79. - С. 113-117. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/adidb_2010_79_16

152. Еремеев А.В. Генетические алгоритмы и оптимизация. Учебное пособие – Омск: Изд-во Омского государственного университета, 2008. – 48 с. URL: <http://iitam.omsk.net.ru/~eremeev/PAPERS.SK/Method.pdf>.

153. Magalhães-Mendes J. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. *New Developments in Pure and Applied Mathematics*, 2015, pp. 88-95. URL: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>.

154. Заворотний С.М. Algorithm justification of dependence "time-cost-quality" into long-term contracts with maintenance of roads. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 87-96.
155. Заворотний С.М., Харченко А.М. Genetic algorithm as optimization method relationship "time - cost" to implement performance based road maintenance contracts. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 31-38.
URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/31.pdf
156. Gen M. Network Models and Optimization: Multiobjective GA Approach. URL: <http://logistics.iem.yzu.edu.tw/Gen/seminarII-YZU-IEM-MGen.pdf>
157. Zheng D. X.M. Ng, S.T. Kumaraswamy M.M. GA-Based Multiobjective Technique for Multi-Resource Leveling, *Construction Research Congress* 2003, March 19-21, 2003 | Honolulu, Hawaii, United States URL: [https://doi.org/10.1061/40671\(2003\)29](https://doi.org/10.1061/40671(2003)29)
158. Ng, S. T., and Zhang, Y. Stochastic Time–Cost Optimization Model Incorporating Fuzzy Sets Theory and Nonreplaceable Front. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (2), 2005. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:2\(176\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:2(176))
159. Gravel, M., Price, W. L., and Gagne, C. Scheduling continuous casting of Aluminum using a multiple objective optimization metaheuristic. *Eur. J. Oper. Res.*, 143(1), 2002, pp. 218–229. URL: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00329-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00329-0)
160. Storn, R., and Price, K. Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. *Technical Report*, International Computer Science Institute, 8, 1995, pp. 22-25. URL: https://www.researchgate.net/publication/246648860_Differential_Evolution_A_Simple_and_Efficient_Adaptive_Scheme_for_Global_Optimization_Over_Continuous_Spaces
161. Zhou, J., PED Love, Wang, X., Teo, K.L., and Irani, Z. A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling. *Journal of*

Operation Research Society, 64, 2013, pp. 1091-1105. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1057/jors.2012.174.pdf>

162. Kanin A.P., Kharchenko A.N., Sokolova N.M., Sphyh A.U., Zavorotnyi S.M. Modern approaches to road maintenance on performance long-term contracts based on the operating condition principle. *International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies"*. Vol. 152, No. 14, November. 2020. P. 12-22.

URL: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit14-03-062>.

163. Звіт про науково-дослідну роботу № 49-15 від „19” червня 2015 р. «Виконати аналіз та розробити вимоги до усунення дефектів елементів доріг при реалізації довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування». Укравтодор, Київ. – 2015. – 294 с.

ДОДАТОК А
ФРАГМЕНТ ДЕТАЛІЗОВАНОЇ ТАБЛИЦІ
РІВНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ

РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТУ УЗБІЧЧЯ (ПРИКЛАД)

Міжнародні. Земляне полотно. Узбіччя. З твердим покриттям

Шифр / Дефект	Сезон	Рівень втручання / Коментар	Од. виміру	Од. часу	Час відгуку	На дату	За перевищ. на	Зняти балів
1.1.1.1.1.м Вибоїни	РІК	Діаметр > 30 см АБО глибина > 5 см /	випадок	доба	9,00		1,00	2,00
1.1.1.1.2.м Вибоїни	РІК	Вибоїна (D > 10 см) ТА кількість > 5 шт на 1 км проїжджої частини / Вибоїна враховується при зазначеному розмірі. При довжині ділянки < 1 км кількість зменшується пропорційно	випадок	доба	9,00		1,00	1,00
1.1.1.2.1.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	(Рівень = невідповідний / Всі латки разом з герметиком повинні бути на рівні з прилеглим покриттям: не вище 10 мм і не нижче 5 мм	випадок	доба	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.2.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Орієнтація = невідповідна / Латки площею більше 0.1 м ² повинні бути прямокутними і розміщеними паралельно вісі дороги	випадок	доба	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.3.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Матеріали = невідповідні / Ямковий ремонт повинен бути виконаний з рівною або кращою якістю, ніж покриття	випадок	доба	18,00		1,00	0,50
1.1.1.2.4.м Неякісний ямковий ремонт	РІК	Ширина стиків > 3 мм / Ширина стиків вимірюється в мм	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.3.1.м Лінійні тріщини	Л	Ширина тріщини > 3 мм ТА < 6 мм / Знімається 1 бал в день на кожний неперервний км проїжджої частини або за ділянку меншу 1 км. Враховується кожний	км	дата		30/09	1,00	1,00

		неперервний км узбіччя або його частина з тріщинами. Тріщини повинні бути закладені до початку зимового сезону						
1.1.1.3.2.м Лінійні тріщини	Л	Ширина тріщини > 5 мм / Знімається 1 бал в день на кожний неперервний км проїжджої частини або за ділянку меншу 1 км. Враховується кожний неперервний км узбіччя або його частина з такими тріщинами	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.3.3.м Лінійні тріщини	Л	Різниця з висотою герметика > 5 мм / Знімається 1 бал в день на кожний неперервний км проїжджої частини або за ділянку меншу 1 км. Враховується кожний неперервний км узбіччя або його частина з такими тріщинами	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.4.1.м Сітка тріщин	Л	Площа тріщин > 10 м ² /км / Площа прямокутника, паралельного смугам руху, що повністю охоплює тріщини, коли найближчі тріщини знаходяться далі 100 мм до сторін прямокутника. Вимірюється в м ² на безперервний км проїжджої частини. Якщо довжина ділянки <1 км, тоді площа і бали пропорційні цій довжині	км	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.4.2.м Сітка тріщин	Л	Ширина тріщин > 5 мм / Вимірюється в безперервних км узбіччя. Якщо довжина ділянки <1 км, тоді штрафні бали пропорційні цій довжині	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.4.3.м Сітка	Л	Різниця по висоті	км	доба	18,00		1,00	1,00

тріщин		герметика > 3 мм / Вимірюється в безперервних км узбіччя. Якщо довжина ділянки <1 км, тоді штрафні бали пропорційні цій довжині						
1.1.1.5.1.м Руйнування кромки	Л	Ширина проникнення > 15 см / Ширина проникнення вимірюється від первісної кромки дороги до найдалшої точці руйнування кромки	100м/км	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.6.1.м Колійність	Л	Колійність (глибина / висота > 20 мм) / "Випадком" вважається будь-яка ділянка безперервного узбіччя, на якому дотримано критерій. Якщо коліїність спостерігається більш, ніж в одному місці проходження колісних колій в одному і тому ж місці, це вважається одним випадком.	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.7.1.м Хвилястість (гребінка)	Л	Глибина / висота > 20 мм / 1 бал в день за кожний випадок невідповідності	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.8.1.м Просідання	Л	Просідання > 20 мм / "Випадково" вважається будь-яка ділянка безперервної проїжджої частини, на якому дотримано критерій. Якщо просідання спостерігається більш, ніж в одному місці проходження колісних колій в одному і тому ж місці, це вважається одним випадком.	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.9.1.м Напливи	Л	Пучини і напливи Глибина / висота > 20 мм / 1 бал в день за кожний випадок невідповідності	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.11.1.м	Л	> 10 м ² на 100 м	випадок	доба	28,00		1,00	3,00

Викришування		узбіччя / "Випадком" вважається кожен окремий випадок розшарування, що відповідає критерію						
1.1.1.12.1.м Проломи	Л	Глибина > 20 мм /	випадок	доба	18,00		1,00	1,00
1.1.1.13.1.м Зміщення	Л	Висота зміщень покриття > 20 мм /	випадок	дата		01/10	1,00	2,00
1.1.1.13.2.м Зміщення	З	Висота зміщень покриття > 20 мм / Згідно з планами проведення поточного середнього та капітального ремонтів	випадок	дата		01/10	1,00	1,00
1.1.1.13.3.м Зміщення	РІК	Висота зміщень покриття > 20 мм / Згідно з планами проведення поточного середнього та капітального ремонтів	випадок	дата		01/10	1,00	1,00
1.1.1.14.1.м Вихід в'язучого	Л	Місцевий вихід в'язучого > 20 м АБО сукупний вихід в'язучого > 100 м / Враховується кожен безперервний км проїжджої частини або його частина, що відповідає критерію. Якщо довжина Сегмента <1 км, тоді сукупна величина і область застосування штрафних балів, застосовуються пропорційно цій довжині	км	година	4,00		1,00	5,00
1.1.1.15.1.м Завишене або занижене узбіччя	РІК	Нижчі від проїзної частини > 30 мм / Узбіччя і розділювальні смуги, що не відокремлені від проїзної частини бордюром, не повинні бути нижчими за рівень прилеглої крайки проїзної частини більше ніж на 30 мм	випадок	доба	10,00		1,00	1,00
1.1.1.15.2.м Завишене або занижене узбіччя	РІК	Не допускається завищення узбіччя на проїзною частиною / Підвищення узбіччя і	випадок	доба	4,00		1,00	1,00

		розділювальної смуги над рівнем прилеглої крайки проїзної частини у разі відсутності бордюру не допускається						
1.1.1.16.1.м Недостатній поперечний похил	РІК	Відмінність > 10 ‰ / Величина поперечного похилу узбіччя не повинна відрізнятися від вимог ДБН В.2.3-4 більше ніж на 10 ‰	випадок	доба	21,00		1,00	1,00
1.1.1.17.1.м Сміття	Л	Критерій для сміття > 100 г/м ² / Враховується кожен безперервний км проїжджої частини або його частину, що відповідають критерію	км	доба	10,00		1,00	1,00
1.1.1.18.1.м Небезпечні речовини і предмети	РІК	На покритті є небезпечні матеріали = істина / "Випадком" вважається наявність небезпечного матеріалу в будь-якій кількості	випадок	година	4,00		4,00	1,00
1.1.1.19.1.м Перешкода для транспортного потоку	РІК	Кинуті автомобілі = істина / Не повинно бути кинутих автомобілів	випадок	доба	1,00		1,00	1,00
1.1.1.19.2.м Перешкода для транспортного потоку	РІК	Перешкоди = істина / Перешкоди, такі як камені, гілки дерев, трупи тварин не повинні займати > 0.01 м ³	випадок	доба	1,00		1,00	2,00

ДОДАТОК Б
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
РОБОТИ ТА АВТОРСЬКІ СВІДОЦТВА



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Заворотного Сергія Миколайовича

Розрахунково-аналітична система оптимізації відношення «вартість-час» та класифікація рівнів обслуговування автомобільних доріг загального користування при довгостроковому їх експлуатаційному утриманні, які були запропоновані в дисертаційній роботі Заворотного С.М. «Модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності» пройшла практичну апробацію в Державному агентстві автомобільних доріг України (Укравтодор) під час виконання науково-дослідних тем та були покладені в основу розробки ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».

Результати впровадженень сприяють реалізації договорів (контрактів) тривалого строку дії на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування на основі кінцевих якісних показників.

Начальник відділу
інноваційного розвитку
Департаменту технічного
забезпечення та інноваційного
розвитку



Олександр ТИМОЩУК

Вих. № 03/21
від «27» січня 2021 року

ДОВІДКА
про виведення результатів науково-дослідної роботи

Даною довідкою засвідчується, що результати досліджень, які відображені в дисертаційній роботі Заворотного Сергія Миколайовича на тему «Модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності», використовуються для визначення фактичної вартості та часу реалізації контрактів, а також для подальшої оптимізації відношення даних показників контракту, що дозволяє ефективно використовувати довгострокові контракти з утримання автомобільних доріг.

Результати наукового дослідження направлені на забезпечення ефективного та якісної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. Головною метою є визначення показників вартості та тривалості з урахуванням всіх факторів та ризиків. Модель забезпечує можливість оптимізації залежності «час-вартість», з врахуванням критерію якості.





ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОМПАНІЯ

«ДОРЕКСПО»

вул. Рибальська, 13, м. Київ, 01011 т. +38 (044) 227 37 67
e-mail: doreksp@ukr.net, код ЄДРПОУ 33599281
р/р UA91 3808 0500 0000 0026 0001 4040 7
«ПАТ "РАЙФАЙЗЕН БАНК АВАЛЬ", м. Київ, МФО 380805

«27» 01 2021р.

Вих. № 1

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри транспортного будівництва та управління майном
Національного транспортного університету,
Заворотного Сергія Миколайовича

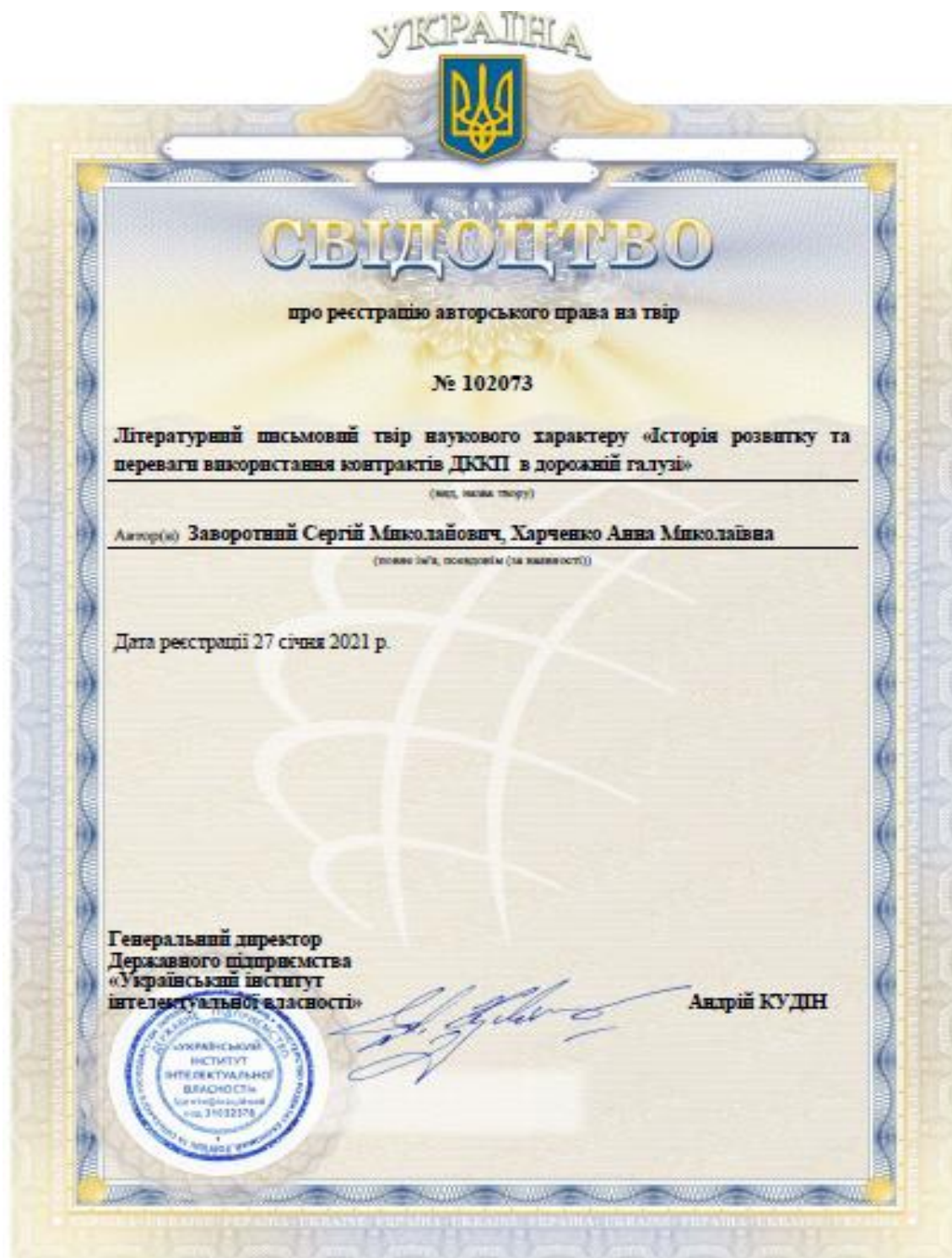
Даною довідкою засвідчується, що результати досліджень, які відображені в дисертаційній роботі Заворотного Сергія Миколайовича на тему: «Модель управління вартістю та тривалістю проектів автомобільних доріг в умовах невизначеності», використовуються для визначення фактичної вартості та часу реалізації контрактів, а також для подальшої оптимізації відношення даних показників контракту, що дозволяє ефективно використовувати довгострокові контракти з утримання автомобільних доріг.

Результати наукового дослідження направлені на забезпечення ефективної та якісної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. Головною метою є визначення показників вартості та тривалості з врахуванням всіх факторів та ризиків. Модель забезпечує можливість оптимізації залежності «час – вартість», з врахуванням критерію якості.

Т.в.о. директора



Я.І. Потравний





НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»
(УКРПАТЕНТ)

вул. Глазунова, буд. 1, м. Київ, 01601, тел.: (044) 494-05-05, факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org, сайт: www.ukrpatent.org, код згідно з ЄДРПОУ 31032378

Р І Ш Е Н Н Я

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» розглянуло заяву
Заворотний Сергій Миколайович, вул. О. Фльорова, 29/2, м. Чернігів, 14000
(повне ім'я автора, адреса)

заявка від **6 січня 2021 р. № с202100056**

про реєстрацію авторського права на твір і прийняло рішення зареєструвати авторське право на твір
Літературний письмовий твір наукового характеру «Оптимізація відношення «час - вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках»;
Заворотний Сергій Миколайович, Харченко Анна Миколаївна

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів))

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до пункту 20 Порядку державної реєстрації авторського права і договорів, які стосуються права автора на твір, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 р. № 1756 «Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права автора на твір».

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» не одержало документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державним підприємством «Український інститут інтелектуальної власності» не проводиться.

ДОДАТОК В
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у виданнях іноземних держав, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kanin A.P., Kharchenko A.N., Sokolova N.M., Sphyh A.U., Zavorotnyi S.M. Modern approaches to road maintenance on performance long-term contracts based on the operating condition principle. *International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies"*. Vol. 152, No. 14, November. 2020. P. 12-22. URL: <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit14-03-062>.

Статті у фахових виданнях:

2. Заворотний С.М., Харченко А.М. Оптимізація відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2016. Вип. 18. С. 54-61. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_project/2016_18_tech/054.pdf

3. Заворотний С.М. Основні проблемні питання та особливості використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 96. С. 111-120. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/96/111-120.pdf

4. Харченко А.М., Заворотний С.М. Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 97. С. 124-135. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/124-135.pdf

5. Заворотний С.М. Моніторинг показників якості довгострокових контрактів на утримання автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 97. С. 136-140. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/97/136-140.pdf

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/061-068.pdf

6. Заворотний С.М., Харченко А.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2017. Вип. 101. С. 57-67. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/101/057-067.pdf

7. Заворотний С.М., Харченко А.М. Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2017. Вип. 20. С. 41-49.

8. Заворотний С.М. Algorithm justification of dependence "time-cost-quality" into long-term contracts with maintenance of roads. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 87-96.

9. Заворотний С.М., Харченко А.М. Genetic algorithm as optimization method relationship "time - cost" to implement performance based road maintenance contracts. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 31-38. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/31.pdf

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Заворотний С.М. Довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках. *VI Міжнародна науково-практична конференція магістрів, аспірантів та науковців «Управління проектами: Інновації, Нелінійність, Синергетика»*: матеріали конференції. Одеса, 2015. С. 69-70.

11. Харченко А.М., Заворотний С.М. Основні положення використання довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках в дорожній галузі. *LXXII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2016. С. 161.

12. Заворотний С.М., Мелешук Т.П. Управління проектами та програмами в умовах невизначеності. *XIII Міжнародна конференція «Управління проектами у розвитку суспільства»: тези доповідей.* К.: КНУБА, 2016. С. 108-111.

13. Заворотний С.М. Проблеми оптимізації відношення час-гроші для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *LXXIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету: тези доповідей.* К.: НТУ, 2017. С. 173.

14. Заворотний С.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету: тези доповідей.* К.: НТУ, 2018. С. 190.

15. Харченко А.М., Заворотний С.М. Аналіз особливостей взаємозв'язку часу, вартості та якості реалізації контрактів з метою створення математичної оптимізаційної моделі. *XII Міжнародна наукова конференція. Наука та освіта. Секція: проблем економіки і управління.* Київ, 2018. С. 84-85.

16. Заворотний С.М. Особливості та методи оптимізації відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *Підсумкова науково - практична конференція «Сучасні тренди підготовки фахівців з управління проектами та програмами»: матеріали конференції.* Луцьк, 2018. С. 60-64.

17. Заворотний С.М. Інноваційна модельна основі розподілу ресурсів, як метод оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг. *V міжнародна науково-практична конференція «Економічний розвиток: теорія, методологія, управління»: збірник наукових праць та тез наукових доповідей.* Прага, 2018. С. 184-187.

18. Заворотний С.М.. Модель оптимізації часу, вартості та якості ДККП для експлуатаційного утримання автомобільних доріг України в умовах невизначеності *LXXV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету, присвячена 75-річчю з дня заснування університету: тези доповідей.* К.: НТУ, 2019. С. 157-158.

19. Харченко А.М., Заворотний С.М. Оптимізація часу, вартості та якості в довгострокових контрактах на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування. *LXXVI Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету: тези доповідей.* К.: НТУ, 2020. С. 190.

20. Заворотний С.М. Аналіз сучасного досвіду визначення загальної вартості контрактів для успішної реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *I Міжнародна науково-практична конференція «Наука. Інновації. Якість» (SIQ) в онлайн-режимі: збірник матеріалів.* Бердянськ, 2020. С. 144-145.

21. Заворотний С.М., Харченко А.М. Сучасні методи оптимізації відношення «час-вартість-якість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках. *XII всеукраїнська заочна науково – практична конференція «Освіта і наука в Україні: шляхи розвитку та напрямки взаємодії».* Харків, 2020. С. 3-11.

Свідоцтва та патенти:

1. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102073. Україна. Літературний письмовий твір науково го характеру «Історія розвитку та переваги використання контрактів ДККП в дорожній галузі» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

2. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102074. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Genetic

algorithm as optimization method relationship «time - cost» to implement performance based road maintenance contracts» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 27.01.2021 р.

3. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір. № 102213. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Оптимізація відношення «час-вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках» Заворотний С.М., Харченко А.М. Дата реєстрації 01.02.2021 р.