

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ХАРЧЕНКО АННА МИКОЛАЇВНА



УДК 004.942:625:7/8

**НАУКОВІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ
ПРОГРАМАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО УТРИМАННЯ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.13.22 – управління проектами та програмами

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Дмитриченко Микола Федорович,
Національний транспортний університет, ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Цюцюра Світлана Володимирівна,
Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри інформаційних технологій;

доктор технічних наук, професор
Фесенко Тетяна Григорівна,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій;

доктор технічних наук, професор
Зачко Олег Богданович,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту.

Захист відбудеться «28» вересня 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано «27» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.І. Мельниченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проведений аналіз життєвого циклу автомобільних доріг та їх елементів у багатьох країнах світу показав важливість визначення обґрунтованих підходів до формування набору проектів з експлуатаційного утримання дорожніх активів. З цією метою в країнах з різним ступенем економічного розвитку в сфері експлуатації автомобільних доріг поширюється відносно нова форма реалізації проектів – у вигляді довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках якісного стану доріг, зокрема, показника рівня їх обслуговування, які є основною складовою програми довгострокового утримання доріг.

Зменшення коштів на проекти транспортної інфраструктури спонукає виконати розробку та впровадити економічно ефективні процедури щодо збереження та відновлення дорожніх активів. Основна філософія збереження передбачає довгострокову та економічно ефективну програму, що застосовується на рівні проектів із стратегічним програмуванням, яка охоплює всю мережу автомобільних доріг.

Впровадження довгострокових програм експлуатаційного утримання доріг в світовій практиці отримало позитивний досвід, що визначає необхідність обґрунтування моделей управління проектами експлуатаційного утримання з урахуванням сучасного стану мережі в Україні, що дозволить забезпечити стабільні умови здійснення необхідних ремонтно-відновлювальних заходів. Аналіз світового досвіду реалізації таких програм у вигляді довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках якісного стану доріг, показує, що від їх впровадження може бути отримана економія від 10 % до 40 % вартості виконуваних заходів у порівнянні з традиційними підходами.

Проте, на шляху такого впровадження ще існує значна кількість невирішених проблем теоретичного, методологічного і методичного характеру. Ці проблеми обумовили актуальність та необхідність побудови методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Наукові результати роботи одержані в процесі виконання:

- плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету за темою «Удосконалення системи управління станом автомобільних доріг та методів їх оцінки» (ПК 0116U002491);
- плану науково-дослідних робіт МОН України за темами:
 - «Розвиток державно-приватного партнерства як складової управління

проектами в дорожньому виробництві» (РК 0113U000300);

– «Розробити аналітичну систему технічної експертизи та грошової оцінки автомобільної дороги як складової матеріально-технічної бази дорожнього господарства» (РК 0117U002326);

• плану науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України за темами:

– «Розробити інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством» (договір № 74-11 від 01 квітня 2011 р. РК 0111U006056);

– «Розробити Методику та Інформаційно-аналітичну систему управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування» (договір № 35-13 від 18 квітня 2013р. РК 0113U001972);

– «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» (договір № 49-15 від 19 червня 2015 р. РК 0115U001654);

– «Провести аналіз, правове дослідження та підготувати пакет документів для внесення змін до нормативно-правових актів і нормативно-технічних документів для можливості реалізації форм контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування тривалого строку дії» (договір № 26-16 від 19 вересня 2016 р. РК 0116U007509);

– «Провести аналіз, правове дослідження та підготувати пакет документів до нормативно-правових актів і нормативно-технічних документів для можливості реалізації типових форм контрактів міжнародних інженерних організацій в дорожньому господарстві України» (договір № 25-16 від 19 вересня 2016 р. РК 0116U007508);

– «Розробити методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них» (ДерждорНДІ, договір № 294/15-16 від 23 вересня 2016 р.);

– «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 № 92-17 від 21 листопада 2017 р. РК 0117U005111);

– «Виконати аналіз та надати технічні рішення до об'єктів експлуатаційного утримання автомобільних доріг державного значення на основі довгострокових договорів за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану відповідно до нормативно-правових актів» (договір №

108-20 від 16 листопада 2020 р. РК 0120U104802).

Мета і задачі дослідження.

Метою дослідження є розробка методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг для забезпечення ефективності прийняття управлінських рішень щодо мережі автомобільних доріг.

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

– провести дослідження проектів та програм експлуатаційного утримання мережі автомобільних доріг, стратегій та методичних підходів до планування ремонтно-відновлювальних заходів;

– виконати розробку основних положень методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, сформулювати концептуальну модель;

– виконати вдосконалення математичної моделі обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг на основі проектів, які реалізуються через довгострокові (договори) контракти про утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану;

– обґрунтувати модель управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, що базується на застосуванні методу аналізу ієрархій АНР Saaty для пріоритезації ділянок доріг методами оптимізації за набором факторів з урахуванням некерованих впливів;

– вдосконалити інструменти до реалізації розробленої методології на практиці, а саме, алгоритм прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг та алгоритмізовані рішення у вигляді програмних комплексів та інформаційно-аналітичних систем.

Об'єкт дослідження – програма експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Предмет дослідження – сукупність методів та моделей управління програмами та проектами з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Методи дослідження. В дослідженні було використано основні підходи системного аналізу та теорії управління проектами; методи аналізу та синтезу; методи прогнозування, програмування, математичного моделювання; методи та моделі оптимізації; методи прийняття рішень; моделі деградації; мультиструктурний підхід; кваліметрична модель; метод аналізу ієрархій Saaty; методи експертного оцінювання.

Наукова новизна:

Основний науковий результат дисертації полягає у розробці методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка дозволить виконувати моделювання пакету проектів у програмі за визначеним набором цілей, факторів та з урахуванням некерованих впливів.

Вперше:

- сформовано концептуальну модель формування методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка включає вдосконалений тезаурус, розроблені моделі управління, оцінювання, планування та прогнозування, методи, критерії та інструменти управління;

- розроблено архітектуру моделі управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг, що дозволяє формувати пакети проектів на основі пріоритезації набору стратегій, які базуються на цілях управління;

Удосконалено:

- модель стратегічного планування програми з управління мережею автомобільних доріг, яка, на відміну від попередніх, дозволяє максимізувати ефективність програми управління мережею автомобільних доріг;

- математичну модель обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг, яка на відміну від існуючої, базується на основі пакету проектів, які, в тому числі реалізуються через довгострокові (договори) контракти про утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану з урахуванням факторів та довгострокових цілей;

- математичну модель оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання доріг, яка, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати цілі утримання мережі та доповнена коефіцієнтом ризику нездійсненності стратегії;

Отримали подальший розвиток:

- алгоритми прогнозування стану дорожніх активів за програмою та прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг;

- алгоритмізовані рішення до програмних комплексів та інформаційно-аналітичних систем з управління проектами в дорожній галузі;

- тезаурус з управління програмами, який доповнено визначеннями програми експлуатаційного утримання автомобільних доріг, пакету проектів, стратегії, моделі прогнозування, моделі оптимізації, управління станом мережі автомобільних доріг.

Практичне значення отриманих результатів:

Підходи, які були покладені в розробку методології управління

програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, що дозволяють виконувати моделювання пакету проектів у програмі за визначеним набором цілей та факторів були застосовані в:

– «Рекомендаціях щодо розвитку системи державно-приватного партнерства як складової управління проектами в дорожньому виробництві» (рекомендовані Науково-технічною радою ДП «ДерждорНДІ», протокол №5 від 6.11.2014 р.);

– 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»;

– МР Д 1.2-37641918-884:2017 Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них;

– ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання»;

– ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».

Особистий внесок здобувача.

Отримані автором результати теоретичних досліджень та розроблена методологія управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які виносяться на захист, відображені в публікаціях, що оприлюднені у фахових виданнях та виданнях іноземних держав.

У публікаціях [3, 4, 7, 8, 9, 19, 37] розглянуті підходи та методи до оцінки якісного стану автомобільних доріг та їх елементів, в тому числі вартісної оцінки та оцінки вартості земель дорожнього господарства; за результатами досліджень [2, 5, 13, 17, 22, 28, 29] було визначено нову парадигму експлуатаційного утримання автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів; в роботах [27, 30, 33, 34, 36] проведено аналіз використання традиційних підходів до виконання експлуатаційного утримання доріг та їх еволюційного розвитку; в роботах [6, 11, 14, 15, 20, 25] розглянуті питання оптимізації контрактів з утримання доріг за критерієм «час-вартість»; в дослідженнях [10, 12, 16] наведені основні передумови запровадження контрактів Міжнародної федерації інженерів-консультантів FIDIC в Україні; в роботах [18, 26] наведені дослідження щодо аналізу ефективності застосування державно-приватного партнерства до проектів дорожньої галузі; в дослідженнях [1, 23, 38] наведені підходи, методи та інструменти щодо оцінки впливу на довкілля інфраструктурних проектів; в публікації [21] визначено основоположні принципи побудови інформаційно-аналітичної системи управління програмами експлуатаційного утримання доріг на основі критерію якісного стану та рівня

обслуговування; в дослідженнях [24, 31, 32, 35] наведено результати побудови інформаційно-аналітичних систем з управління автомобільними дорогами.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 67-76 в 2011-2020 рр.; круглих столах Дорожнього клубу в 2018-2020 роках; XII Міжнародній науковій конференції «Наука та освіта» в 2018 році; періодичних заочних конференціях «Економічний розвиток: теорія, методологія, управління» в 2018-2020 роках, організованих Інститутом сталого розвитку; науково-практичному семінарі «Фінансове планування в дорожньому господарстві» Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) в 2019 році; круглому столі «Проект OPRC в Україні. Плюси та мінуси в процесі реалізації» у м. Львові в 2019 році; конференції «Визначення вартості та ціноутворення в будівництві» в 2019 році; V Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові розробки, передові технології, інновації» в 2019 році; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інфраструктура якості: перспективи та тенденції розвитку. Переваги застосування стандартів» в 2019 році; International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions» в 2020 році; XII Всеукраїнській заочній науково-практичній конференції «Освіта і наука в Україні: шляхи розвитку та напрямки взаємодії» в 2020 році; Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» в 2020 році; I Міжнародній науково-практичній конференції «Наука. Інновації. Якість» (SIQ) в 2020 році; VIII International Scientific-Technical Conference «Problems of chemmology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants» в 2021 році; Міжнародній конференції «Scientific developments: yesterday, today, tomorrow '2021» в 2021 році; Науково-технічних радах ДП «ДерждорНД».

Публікації.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 59 публікаціях: 4 статті у виданні іноземної держави, що включено до міжнародної наукометричної бази (з них 3 Scopus), 2 статті у вигляді розділу зарубіжної монографії, 32 статті у фахових виданнях, 4 статті дискусійного характеру, які додатково висвітлюють результати дослідження, 17 праць апробаційного характеру. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 10 охоронних документів (свідоцтв України про реєстрацію авторського права).

Структура дисертації.

Дисертація включає вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел із 289 найменувань та п'ять додатків. Основний текст викладений на 282 сторінках та ілюструється 86 рисунками, містить 35 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність досліджень; наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами; визначено мету, задачі, об'єкт, предмет, наукову новизну та методи дослідження; наведено практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, інформацію про апробацію результатів та основні публікації за темою дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто види програм та проектів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які використовуються у вітчизняній та зарубіжній практиці. Зокрема, розглянуті традиційні та сучасні підходи до експлуатаційного утримання автомобільних доріг; річні, короткострокові та довгострокові програми; класичні та гібридні проекти; форми та види контрактів за проектами. Також досліджено підходи до визначення стратегій утримання мережі та планування ремонтно-відновлювальних заходів. Проведений зіставно-порівняльний аналіз найбільш поширених комп'ютерних програм та інформаційно-аналітичних систем оцінювання, прогнозування та управління станом дорожніх активів, зокрема, Pavement Management System (PMS), Bridge Management System (BMS), Highway Design and Maintenance Standards Models (HDM-4), Система управління станом покриття (СУСП), Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) та інші.

Для розуміння основних принципів та підходів до побудови методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг були досліджені основні стандарти з управління проектами та програмами, поширені у світі, зокрема, PMBoK, PRINCE2, P2M, ISO 10006, ISO 21500, ISO 21504, The APM Body of Knowledge, SPgM.

Формуванням методології управління проектами та програмами займалися науковці С.Д. Бушуєв, Н.С. Бушуєва, А.О. Білощицький, В.І. Воропаєв, Т.А. Воркут, В.Д. Гогунський, О.Б. Данченко, Є.А. Дружинін, Л.А. Заде, І.В. Кононенко, Є.К. Корноушенко, К.В. Кошкин, О.В. Криворучко, П.Р. Левковець, В.І. Максимова, А.С. Морозова, В.І. Прангішвілі, В.А. Рач, А.І. Рибак, В.Б. Силова, Ю.М. Тесля, О.Г. Тімінський, Ю.Н. Харитонов, С.В. Цюцюра, С.К. Чернов, І.В. Чумаченко та інші.

Проблеми управління проектами і програмами транспортної та цивільної інфраструктури розглядали С.Д. Бушуєв, Д.А. Бушуєв, І.П. Гамеляк, М.Ф. Дмитриченко, О.Б. Зачко, О.П. Канін, Б.Ю. Козир, А.І. Лантух-Лященко, Г.Є. Липський, В.Я. Савенко, О.С. Славінська, Т.Г. Фесенко, Т.О. Халай, В.О. Хрутьба та ін.

Стосовно вивчення системного управління програмами у дорожній галузі в різних країнах світу, а саме Road Asset Management System, слід відзначити праці К. McPherson, Е. R. Petersen, R. Haas, F. Finn, R. Robinson, U. Danielson, M. Snaith, J. Sodikov, T. Porter, M.E. Ozbek.

Теоретичні основи експлуатації автомобільних доріг були розвинені в наукових дослідженнях О.К. Бірулі, В.Ф. Бабкова, О.П. Васильєва, О.П. Каніна, С.С. Кизими, І.І. Леоновича, С.І. Миховича, В.К. Некрасова, Д.О. Павлюка, Б.С. Радовського, В.М. Сиденка, В.В. Сільянова, О.Я. Тулаєва та іншими.

Було встановлено, що перспективним напрямком досліджень є вивчення проектів експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які реалізуються у дорожній галузі у вигляді довгострокових контрактів, що засновані на показниках якості. В дослідженні було проаналізовано світовий досвід використання таких проектів, зокрема, розглянуті Performance-Based Contract (PBC), Output- And Performance-Based Road Contract (OPCR), «Агентський контракт з управління» (MAC), фінський «Контракт з утримання сектору», Contract For Rehabilitation And Maintenance (CREMA), «Повний контракт з утримання» (Total Maintenance Contract), «Контракт, що заснований на окремих показниках» (Performance-Specified Maintenance Contract), «Контракт з управління активами» (Asset Management Contract), «Довгостроковий контракт з утримання» (Long-Term Maintenance Contract), «Гарантійні контракти» та ін. Було визначено, що такого роду проекти якнайкраще підходять для довгострокового планування і можуть бути складовою довгострокових програм з експлуатаційного утримання.

Проведений аналіз програм, проектів, стратегій, стандартів з управління проектами та програмами, стану наукових досліджень дозволив сформулювати концепцію побудови методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка базується на принципах довгострокового планування.

У другому розділі сформована концептуальна модель побудови методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка включає (рис. 1):

– вдосконалений тезаурус, який доповнено визначеннями з управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг;

МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

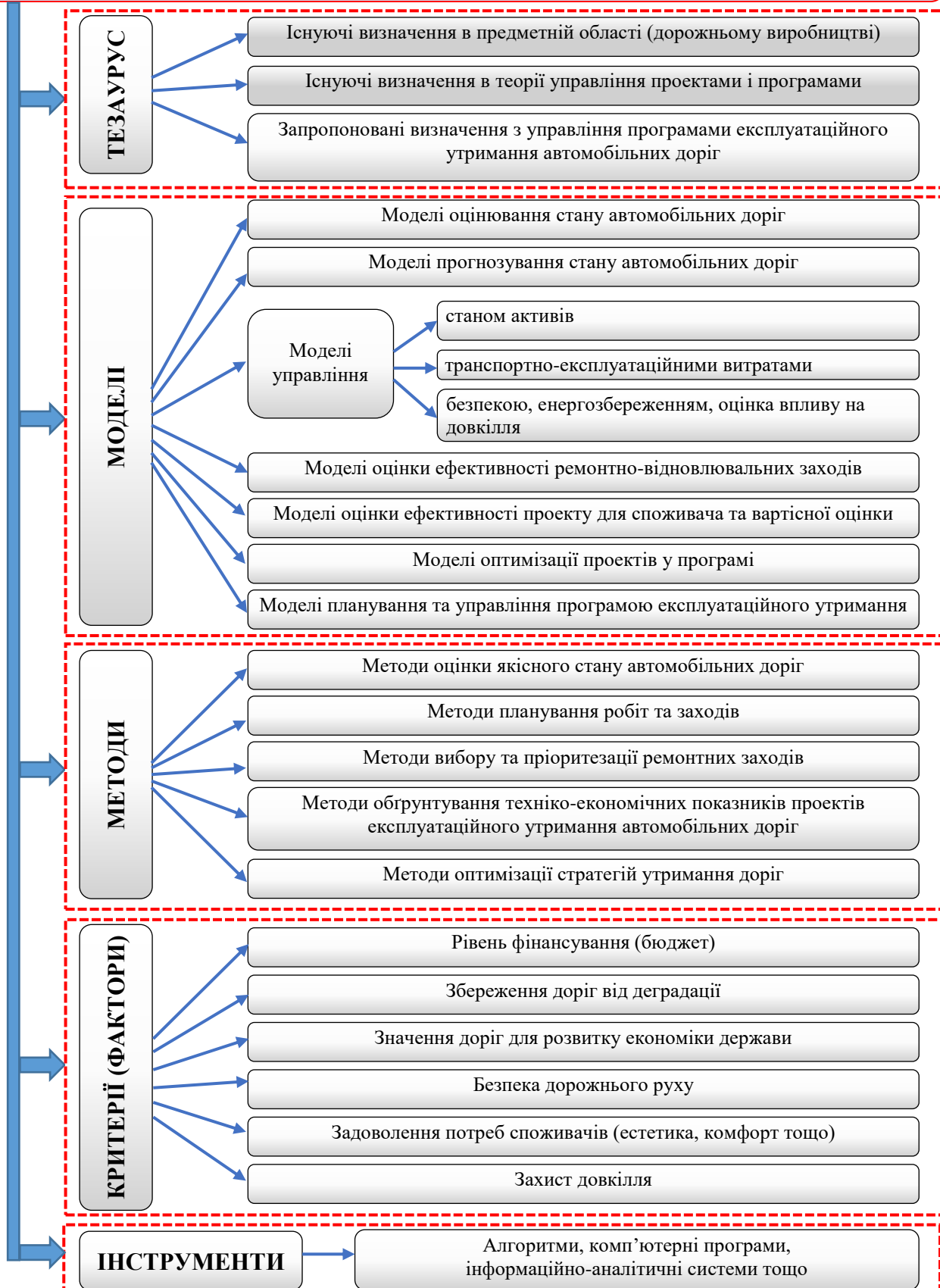


Рисунок 1 – Концептуальна модель формування методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг

- моделі та методи, які запропоновано для вирішення поставленої наукової проблеми;
- критерії, які включають: рівень фінансування (бюджет) програми, необхідність збереження доріг від деградації, значення доріг для розвитку економіки держави, вимоги до безпеки дорожнього руху, рівень задоволення потреб споживачів (естетика, комфорт тощо), вимоги до захисту довкілля;
- інструменти управління, що включають алгоритми, комп'ютерні програми, інформаційно-аналітичні системи та ін.

Визначено, що програма управління дорожніми активами – це пакет (набір) проектів, необхідних для досягнення цілей дорожнього агентства (керуючого органу програмою), включаючи детальні річні програми роботи (рис.2):

$$f(P_r) = \{P_{p1}, P_{p2}, P_{p3}, \dots, P_{pn}\}, \quad (1)$$

де P_r – програма управління дорожніми активами;

P_p – оцінений проект в програмі;

n – кількість проектів, які увійшли в програму.

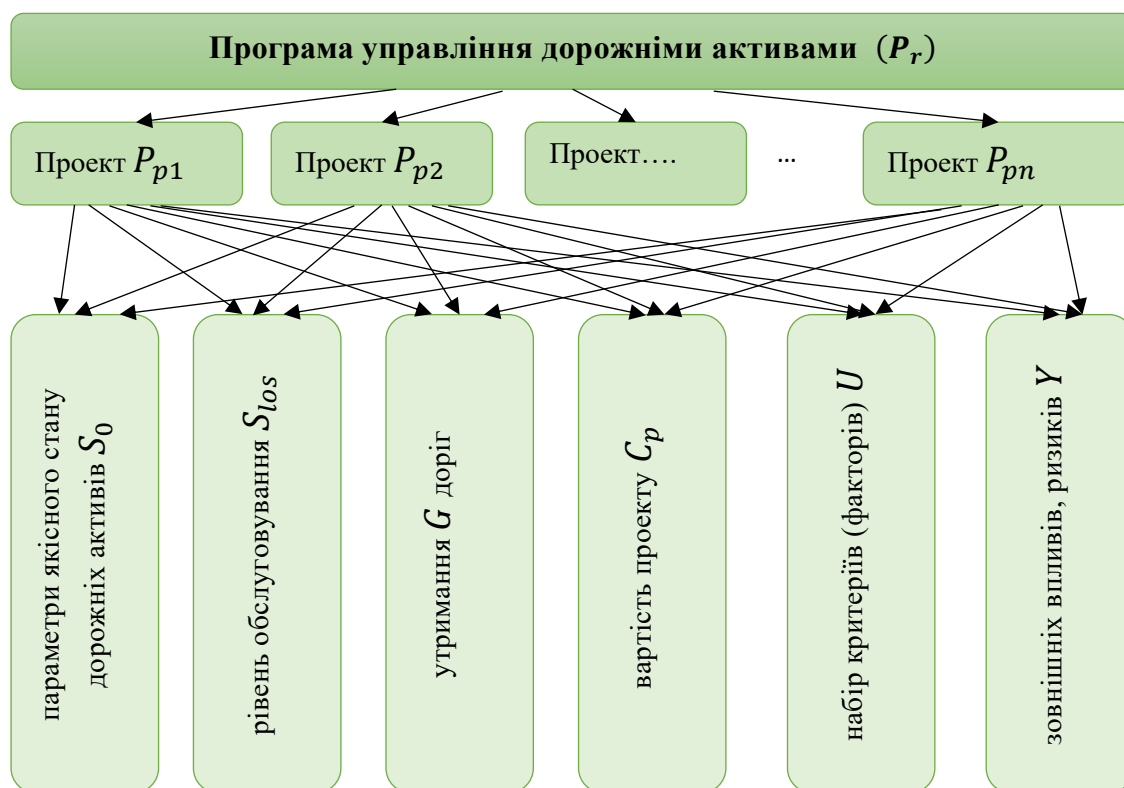


Рисунок 2 – Складові програми управління дорожніми активами

Кожен окремий проект в пакеті описується функцією:

$$f(P_p) = \{S_0, S_{los}, G, C_p, U, Y\}, \quad (2)$$

де S_0 – набір вхідних параметрів якісного стану дорожніх активів;

S_{los} – рівень обслуговування (встановлені мінімальні показники якісного стану для даного проекту);

G – набір стратегій експлуатаційного утримання доріг – множина цілей (G_{pi}) та альтернативних заходів (I_{pi}), $i \in [0; n]$, $\{n \in N\}$:

$$G = \{G_{p1} \cap G_{p2} \cap G_{p3} \cap \dots \cap G_{pn}\} \cup \{I_{p1} \cap I_{p2} \cap I_{p3} \cap \dots \cap I_{pn}\}, \quad (3)$$

C_p – вартість проекту;

U – набір критеріїв (факторів) – керованих змінних;

Y – набір некерованих параметрів (зовнішніх впливів, ризиків).

В дослідженні прийнято, що стратегії експлуатаційного утримання доріг класифікуються на чотири класи згідно Американської асоціації державних службовців автомобільних доріг та транспорту (AASHTO):

1) «нічого не робити» (Do Nothing – DN);

2) превентивне (профілактичне) експлуатаційне утримання (Preventive Maintenance – PM);

3) поточне (корегувальне) експлуатаційне утримання (Routine Maintenance або Corrective Maintenance – CM);

4) ремонтно-відновлювальні заходи (Rehabilitation – RM).

Оптимальною стратегією є та стратегія серед розглянутих альтернативних, яка, як очікується, максимізує реалізацію цілей управління з урахуванням накладених обмежень.

Цілі системи управління активами пов'язані з результатами функціонування мережі автомобільних доріг та відображають уявлення про те, чого повинна досягнути система управління станом мережі в перспективі. Розуміння різного роду цілей має вирішальне значення для визначення набору показників ефективності автомобільних доріг, що повинні бути включені в процес управління. Прикладами цілей можуть бути:

– зберегти дорожню інфраструктуру з урахуванням рівня державного фінансування та інших обмежень;

– розробити стратегії, що покращують пасажирські та вантажні перевезення шляхом зменшення затримок та підвищення комфорту;

– забезпечити доступність до об'єктів критичної інфраструктури;

- забезпечити базову мобільність для населених пунктів;
- забезпечити економічну ефективність, захист довкілля, сприяти енергоефективності;
- забезпечити високі стандарти безпеки дорожнього руху тощо.

Цільову функцію максимізації ефективності проекту у програмі визначено наступним чином:

$$f(P_r) = \sum_{i=1}^g (100 - P_{pi}) \omega_i \rightarrow \max, \quad (4)$$

де ω_i – вага цілі i в програмі;

P_{pi} – оцінений проект i в програмі;

g – загальна кількість цілей у програмі.

Прийнято ряд обмежень до функції максимізації ефективності проекту в програмі:

- за бюджетом програми:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{t_i} + \Delta P_{pi} \right) C_{di} \varphi \leq C_{Pr}, \quad (5)$$

де t_i – час циклу експлуатаційного утримання в роках;

C_{di} – вартість усунення дефіциту для досягнення цілі i ;

ΔP_{pi} – зменшення рівня дефіциту для досягнення цілі i за проектом у програмі;

C_{Pr} – бюджет програми;

φ – коефіцієнт, що враховує ймовірність відхилення виконання програми через зовнішні впливи;

- за невід’ємністю:

$$\left(\frac{100}{t_i} + \Delta P_{pi} \right) C_{di} \varphi \geq 0; \quad (6)$$

- за виникненням дефіциту коштів:

$$\Delta P_{pi} \leq P_{pi}^{df}, \quad (7)$$

де P_{pi}^{df} – поточне оцінене значення проекту для досягнення цілі i з

урахуванням впливу зовнішніх та внутрішніх факторів;

- за максимально прийнятою нормою фінансування окремого проекту:

$$P_{pi} \leq f \max(P_{pi}). \quad (8)$$

Запропонована модель стратегічного планування програми з управління мережею автомобільних доріг (рис. 3) та архітектура цієї моделі (рис. 4).

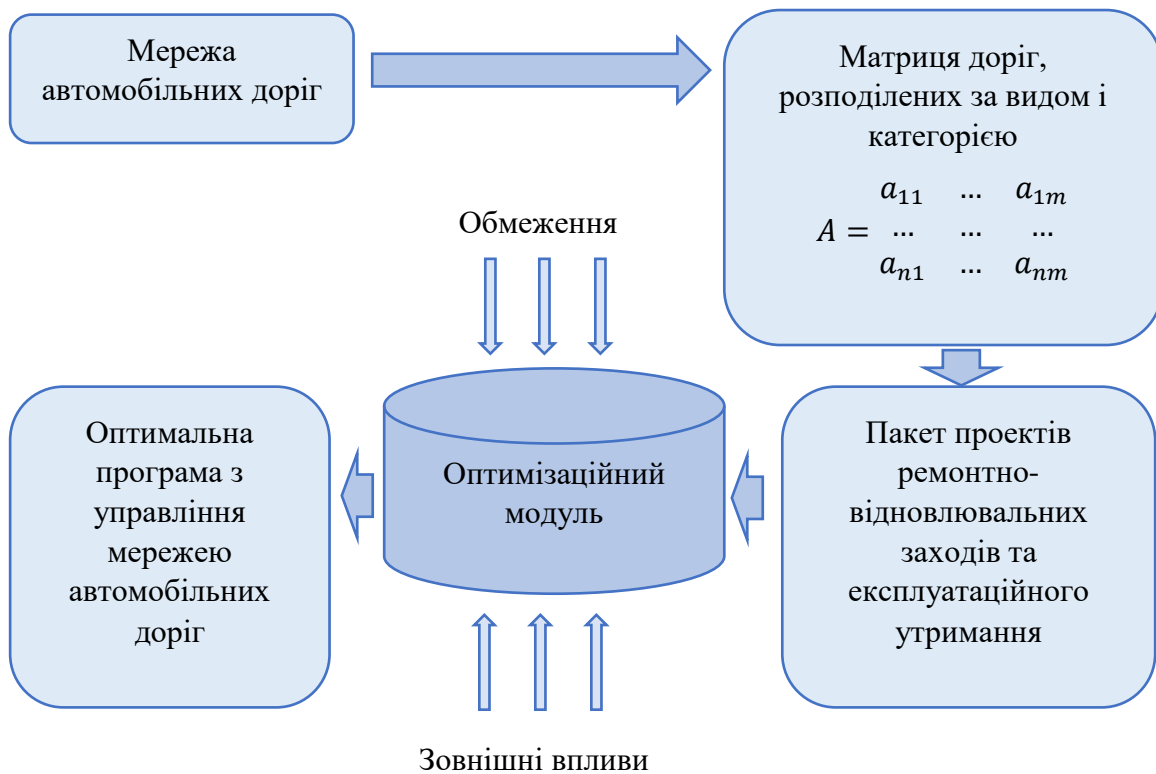


Рисунок 3 – Модель стратегічного планування програми з управління мережею автомобільних доріг

Завдання моделі стратегічного планування програми – максимізувати ефективність програми управління мережею автомобільних доріг. Рівняння ефективності формує основу для застосування лінійного програмування з різними параметрами залежно від того, чи бажана ціль або рівень виконання програми.

Аналітична ієрархія визначає коефіцієнти корисності для того, щоб функції експлуатаційного утримання сприяли зростанню ефективності цілей, та пріоритетні ваги – для того, щоб визначити який вклад у реалізації програми несуть ці цілі.

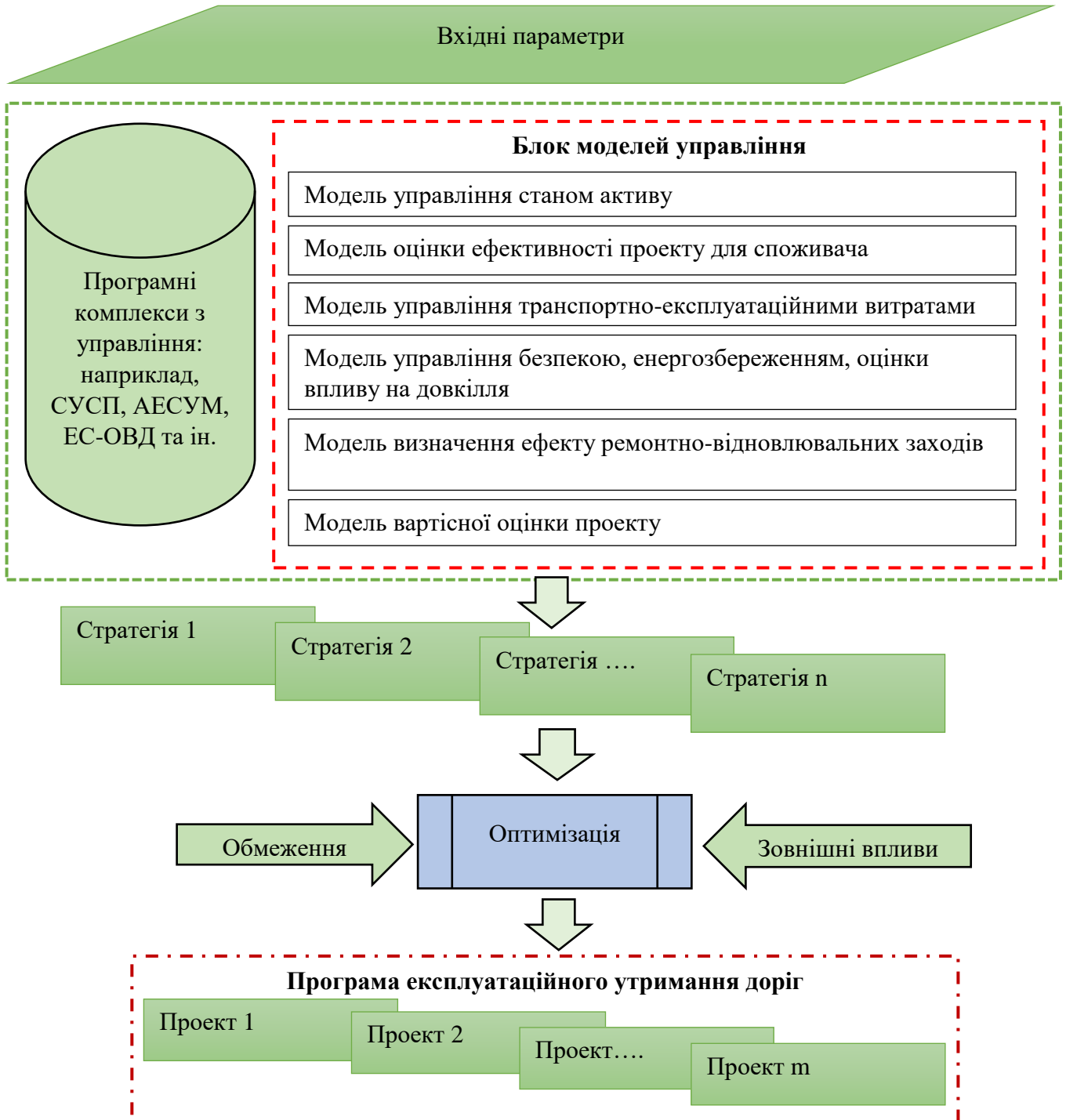


Рисунок 4 – Архітектура моделі управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг

Блок моделей управління на рис. 4 включає:

- модель управління станом активу;
- модель оцінки ефективності проекту для споживача;
- модель управління транспортно-експлуатаційними витратами;
- модель управління безпекою, енергозбереженням, оцінки впливу на довкілля;

- модель визначення ефекту ремонтно-відновлювальних заходів;
- модель вартісної оцінки проекту.

Програмування пакету проектів формується за стратегіями та цілями дорожнього агентства, на які впливають зовнішні фактори та обмеження. Процес управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг пов'язаний із плануванням та техніко-економічним обґрунтуванням, встановлює пріоритети та терміни ініціювання різних проектів для досягнення загальних цілей дорожнього агентства з управління мережею автомобільних доріг.

Модель управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг є набором інструментів для пошуку оптимальних стратегій збереження дорожніх активів у визначеному дорожнім агентством стані.

У третьому розділі розглянуто математичну модель обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг на основі проектів, які реалізуються через довгострокові (договори) контракти про утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану.

Математична модель обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг включає застосування методу еталонів (нормативного методу), інвентаризації даних, оцінки поточного стану дорожньої мережі, прогнозування деградації дорожнього покриття, економічної оцінки альтернативних ремонтно-відновлювальних заходів та експлуатаційного утримання, пріоритезації заходів, призначення головних компонентів проектів, які реалізуються у вигляді довгострокових контрактів.

Головними компонентами довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках (Key Performance Indicators – KPI) є:

- система критеріїв втручання (Triggers System);
- комплекс стандартів (або нормативів) експлуатаційних якостей елементів доріг (Performance Standards – PI);
- система рівнів обслуговування доріг (Level of Services – LOS).

Критерій втручання (trigger) визначається:

- описом дорожнього активу;
- сезону року (періоду), в який виконується ліквідація пошкодження;
- рівнем втручання (кількісним або якісним одномірним чи багатомірним параметром щодо конкретного пошкодження);
- часом відгуку;
- штрафними балами за кожний випадок перевищення часу реагування.

На рис. 5 схематично наведено концепцію втручання в життєвому циклі автомобільної дороги.

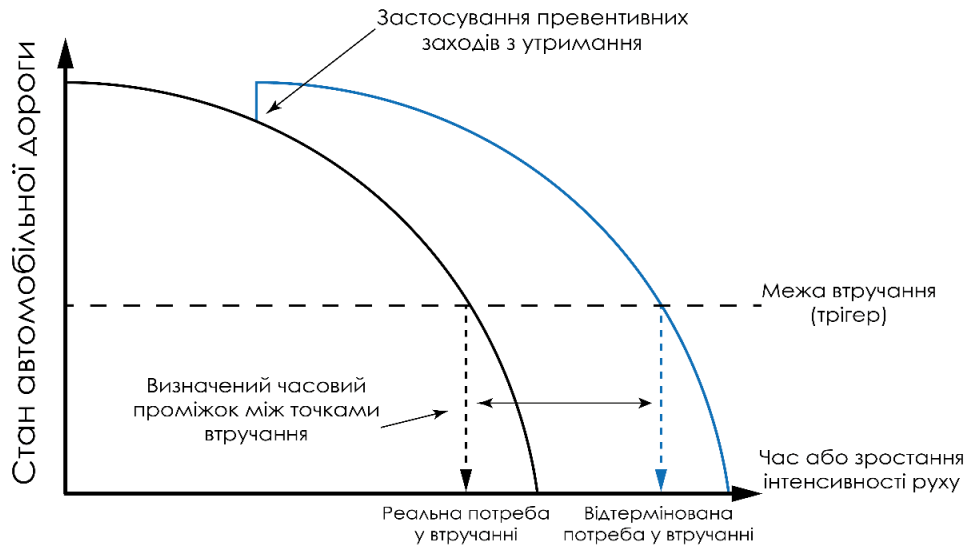


Рисунок 5 – Концепція втручання (схема призначення варіантів стратегій експлуатаційного утримання)

Рівень обслуговування автомобільних доріг – це інтегральний показник, який відображає досягнення певного усередненого експлуатаційного стану автомобільної дороги та визначається повнотою і якістю виконання робіт з ремонтів та утримання доріг. Він може визначатися за формулою:

$$S_{los,m} = 1 - \frac{C_b \times K_m}{B_m}, \quad (9)$$

де $S_{los,m}$ – рівень обслуговування в m -й період (наприклад, рік, місяць тощо);

C_b – вартість одного штрафного балу;

K_m – кількість штрафних балів в m -й період;

B_m – розмір оплати з контрактом в m -й період.

При обґрунтуванні контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг значення рівня обслуговування може варіювати залежно від поставлених цілей у програмі.

Рівні обслуговування визначаються згідно ДСТУ 8992:2020 «Автомобільні дороги. Настанова з обґрунтування рівнів обслуговування під час експлуатаційного утримання» та повинні бути не нижчими ніж встановлено в ДСТУ 8993:2020 «Автомобільні дороги. Рівні обслуговування під час експлуатаційного утримання».

Рівень втручання і рівень обслуговування ґрунтуються на понятті експлуатаційного стану елементу дороги, його класифікації і безрозмірній шкалі рейтингу стану (згідно Інструкції по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів ІН В.3.1-218-336:2010), яка відображує спільний вплив на стан різних типів пошкоджень.

В роботі досліджено світову практику визначення інтегрального (комплексного) показника експлуатаційного стану автомобільних доріг (зокрема, досліджено комплексні показники – індекс обслуговування PSI (Present Serviceability Index), індекс стану покриття PCI (Pavement Condition Index), інтегральний показник стану за кваліметричною моделлю та ін.). Проведено зіставно-порівняльний аналіз методів: визначення комплексного показника стану на основі інструментального та візуального обстеження, використання експертних інженерних суджень та досвіду, використання експертно-аналітичних (комбінованих) методів, підходи Американської асоціації державних службовців автомобільних доріг та транспорту AASHTO, Світового банку, а також вивчені дослідження зарубіжних та вітчизняних вчених з цього приводу. Визначено, що головною перевагою використання єдиного комплексного критерію оцінки якісного стану (за кількома показниками пошкоджень та елементами активу) полягає в його мультиструктурності. Однак, одним з недоліків є те, що комплексні показники лише вказують на загальний стан дорожнього активу та не забезпечують розподіл різних проблем по елементах.

За результатами аналізу в дослідженні прийнято, що дорожні активи протягом життєвого циклу перебувають послідовно в одному з п'яти експлуатаційних станів. Управляючи програмою та пакетом проектів в ній, проектний менеджер може змінювати стратегії ремонтів та експлуатаційного утримання доріг, таким чином впливаючи на результат програми та якісний експлуатаційний стан.

У дослідженнях із управління дорожнім покриттям ця немонетизована перевага чи ефективність часто виражається принаймні в одній із трьох форм: продовження терміну служби, середній продуктивності активу та площі, обмеженої кривою експлуатаційних якостей.

Концепція визначення площі, обмеженої кривою зміни експлуатаційного стану, вважається кращою за інші, оскільки вона втілює концепцію продовження життєвого циклу. Це згідно підходів Sodikov узгоджується з міркуванням, що кращий експлуатаційний стан для більш тривалих програм забезпечує більші переваги, ніж низький для короткострокових (річних)

програм. Математична формула конкретної області, обмеженої кривою зміни експлуатаційного стану, наведена в рівнянні:

$$D \cup S_{G,i} = \left[\int_0^{t_{G(\max t)}} S_i dt - \left\{ \int_{t_{G(tr)}}^{t_{pG}} S_{G,0} dt - S_{los}(t_{pG} - t_{G(tr)}) \right. \right. \\ \left. \left. - S_{los}(t_{pG} - t_{G(tr)}) \right\} \right] \pm \varepsilon, \quad (10)$$

де $S_{G,0}$ – показник стану для нової (або відремонтованої до умовного нульового стану) дороги;

$S_{G,i}$ – стан після виконання i -го ремонтно-відновлювального заходу;

S_{los} – прийнятий показник для рівня обслуговування;

t_{pG} – фактичний час від початку функціонування дороги до i -го ремонтно-відновлювального заходу;

$t_{G(tr)}$ – час до тригера (втручання);

ε – відхилення, яке визначається емпіричним шляхом.

Функція ефективності стратегії ремонтно-відновлювального заходу має вигляд:

$$f_i(G) = \sum_{g=1}^k \sum_{i=0}^n \int_0^{t(i)} S_{G,t} dt - S_{los} t(i), \quad (11)$$

де g – кількість альтернативних стратегій, $g \in [1; k], \{k \in N\}$;

i – кількість можливих ремонтно-відновлювальних заходів в аналітичному періоді, $i \in [0; n], \{n \in N\}$.

Вибір найкращої альтернативи вимагає проведення економічного аналізу для порівняння економічної ефективності всіх можливих варіантів. Процедура економічного аналізу, яка також називається аналізом витрат життєвого циклу, порівнює альтернативи стратегій із використанням загальновідомого підходу визначення поточної вартості:

$$PV = IC + \sum_{j=1}^k MR_j \times \left[\frac{1}{1+i_r} \right]^{n_j} \times \varphi - GV \times \left[\frac{1}{1+i_r} \right]^T, \quad (12)$$

де PV – поточна вартість витрат на застосування стратегії;

IC – вартість інвестицій у відновлення активу або у заходи з утримання;

k – кількість майбутніх заходів;

MR_j – вартість j -ї майбутньої діяльності (ремонтів або експлуатаційного утримання);

i_r – ставка дисконтування;

n_j – кількість років з теперішнього до j -го майбутнього заходу;

φ – коефіцієнт, що враховує ймовірність відхилення виконання програми через зовнішні впливи;

GV – вартість незастосованих але необхідних заходів;

T – тривалість періоду аналізу, роки.

У четвертому розділі розроблено модель довгострокового експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка побудована на застосуванні методу аналізу ієрархій АНР Saaty. Основна причина для використання цього методу в дослідженні полягає в мультиструктурності дорожніх активів та складності прийняття обґрунтованих рішень щодо призначення того чи іншого ремонтно-відновлювального заходу. Мультиструктурний підхід та застосовані методи оптимізації рішень базуються на концептуальних теоріях Ehr Gott, Hillier and Lieberman, Nedjah and Mourelle, Alyami.

Згідно з цими теоріями та припущеннями стан автомобільної дороги можна представити як функцію:

$$f(S) = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}, \quad (13)$$

де S_i – данні про i стан, визначений для призначення ваги.

Далі створюється квадратна матриця, виконується попарне порівняння станів та визначаються вагові коефіцієнти для даних про стан дорожніх активів за методу аналізу ієрархій. Після визначення ваги для кожного показника загальний стан автомобільної дороги ($S_{\Sigma A}$) обчислюється за формулою:

$$S_{\Sigma A} = \sum_{i=1}^n [\prod_{i=1}^n (S_i \times W_i)], \quad (14)$$

де $S_{\Sigma A}$ – загальний стан дорожнього активу;

S_i – данні про якісні показники дорожнього активу;

W_i – розрахована вага.

Для прогнозування майбутнього стану доріг та обґрунтування управлінських рішень щодо відновлення (або збереження) активів використовуються моделі деградації.

В роботі проведено аналіз різних підходів до прогнозування майбутнього стану автомобільних доріг. Зокрема, розглянуті: класифікація моделей прогнозування стану за Mahoney, яка поділяє моделі на два класи – детерміновані та ймовірнісні; класифікація за дослідженнями Naas, який

згрупував більшість моделей в такі класи: емпіричні, механіко-емпіричні та ймовірнісні моделі деградації елементів доріг, та підходи вітчизняних вчених. Виявлено, для вирішення даної проблеми найбільшого поширення набули марківські моделі. Зокрема, за Elhakeem та Hegazy для моделі ланцюга Маркова необхідно побудувати матрицю ймовірностей переходу (TPM) з одного стану автомобільної дороги в інший:

$$TPM = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{i1} \\ P_{12} & P_{22} & P_{i2} \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{nn} \end{bmatrix}; P_{ij} \in (0; n); \{n \in N\}, \quad (15)$$

де TPM – ймовірність погіршення від стану i до стану j за певний період, що називається перехідним періодом t ;

n – кількість можливих станів.

Для оцінки вектору майбутнього стану $[FS_t]$, початковий вектор ймовірності стану S_0 при $t = 0$, множиться на матрицю TPM .

$$\begin{cases} 0 = FS_t^b \rightarrow FS_t \in [1; n], \{n \in N\} = FS_t^w, \\ S_0 = 1 \rightarrow FS_t \in 0 \rightarrow t = 0 \end{cases}, \quad (16)$$

$$[FS_t]_{1 \times n} = [S_0]_{1 \times n} \times [TPM]_{n \times n}^t. \quad (17)$$

Передбачається, що стан дорожнього активу після виконання визначених у проєктів заходів може перейти у статус «новий» (S_0). Але при довгостроковій програмі експлуатаційного утримання доріг необхідно врахувати ймовірність відхилення значень якісних показників активів. У такому випадку витрати на приведення активу до належного стану, який визначений в окремому проєкті програми визначаються за формулою:

$$E_c = \sum_i^n (C_{ri} + C_m f(\gamma)), \quad (18)$$

де C_{ri} – вартість ремонтно-відновлювальних заходів для приведення активу до належного стану;

C_m – вартість експлуатаційного утримання;

$f(\gamma)$ – функція оновлення активу.

Далі виконується економічна оцінка із використанням загальновідомого підходу визначення поточної вартості та чистої теперішньої вартості. Кошти,

необхідні на кожен рік для оплати заходів за програмою або окремим проектом можна визначити за підходом Transportation Association of Canada:

$$E_{UT} = NPV \times \left[\frac{(i_r \times (1+i_r)^T)}{((1+i_r)^T - 1)} \right], \quad (19)$$

де NPV – чиста теперішня вартість;

i_r – ставка дисконтування;

T – період у роках.

Модель оптимізації являє собою математичний опис, призначений для порівняння альтернативних стратегій та виявлення відносних переваг кожної стратегії відповідно до призначених критеріїв прийняття рішень, таких як безпека, вартість, екологія та інші.

Пріоритезація ділянок доріг виконується за набором факторів (U), які відображено на рис.1, з урахуванням некерованих впливів методами оптимізації. В дослідженні розглянуто набір:

– традиційних методів оптимізації (дихотомічний підхід – DA; методи констант – ECM; методи апроксимації нормального розподілу – RNBI; дерево рішень – DT; методи вагових коефіцієнтів – WSM);

– евристичних методів оптимізації (методи моделювання – SA; методи пошуку заборон – TS; методи мурашиної колонії – ACO; методи оптимізації руху частинок – PSO; генетичний алгоритм – GA; еволюційний генетичний алгоритм – NSGA II).

Проведений аналіз методів оптимізації дозволив визначити найбільш ефективні на тепер методи для пошуку рішень – генетичні алгоритми. Перелік методів оптимізації, які потенційно застосовні до довгострокових рішень та рішень на рівні мережі, встановлюється шляхом уточнення техніки їх використання та в подальшому вноситься в алгоритм визначення програми.

Екологічний фактор при пріоритезації проектів в програмі враховано за методикою кількісного визначення показників ОВД планованої діяльності за комбінованим підходом – використано матрицю Леопольда з подальшим дослідженням впливу показників за допомогою функції Харрінгтона.

Вибір стратегій $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ за програмою експлуатаційного утримання доріг виконується підходом двійкових змінних (якщо змінна рішення має значення 1, для програми вибирається стратегія, в іншому випадку – ця стратегія не буде обрана):

$$G_i = \begin{cases} 1 & i \in G \\ 0 & i \notin G \end{cases}. \quad (20)$$

Після визначення змінних рішень формулюються цілі та обмеження задачі оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання доріг:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n g_{k,i} \times G_i \times \beta \rightarrow \max/\min, k \in [1; K], \{K \in N\} \\ \sum_{i=1}^n g_{l,i}^U \times G_i \times \beta \leq \lim_{U \rightarrow \infty} l^U, l \in [1; L^U], \{L^U \in N\} \\ \sum_{i=1}^n g_{l,i}^L \times G_i \times \beta > \lim_{L \rightarrow \infty} l^L, l \in [1; L^L], \{L^L \in N\} \\ \sum_{i \in \delta_j} G_i \times \beta = 1, j \in [1; M], \{M \in N\} \end{array} \right. , \quad (21)$$

де i – індекс стратегії;

j – індекс ділянки або активу;

k – індекс цілі;

$g_{k,i}$ – значення цілі k , якщо реалізується стратегія i ;

$g_{l,i}^U$ – значення верхнього обмеження l , якщо реалізується стратегія i ;

$g_{l,i}^L$ – значення нижчого обмеження l , якщо реалізується стратегія i ;

$\lim_{U \rightarrow \infty} l^U$ – верхня межа обмеження l ;

$\lim_{L \rightarrow \infty} l^L$ – нижня межа обмеження l ;

δ_j – набір альтернативних стратегій для ділянки або активу j ;

β – коефіцієнт ризику нездійсненності стратегії, $\beta \in [0; 1]$;

K – кількість цілей;

L^U – кількість обмежень верхньої межі;

L^L – кількість обмежень нижньої межі;

M – кількість ділянок або активів;

N – кількість стратегій.

Цільова функція моделі оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання визначає цілі, що мають бути досягнуті, зокрема, наприклад, це мінімізація витрат за проектами та максимізація експлуатаційного стану, або покращення окремих показників, встановлення високого рівня обслуговування тощо. Наприклад, цільова функція моделі для мінімізації витрат на заплановані заходи з експлуатаційного утримання матиме вигляд:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T Y_{m,a,t} \times L_a \times C_{m,a,t} \times (1 + i_r)^t \rightarrow \min, \quad \forall m, a, t, \quad (22)$$

де $Y_{m,a,t}$ – захід m , що застосовується для ділянки або активу a за час t ;

$C_{m,a,t}$ – одинична вартість заходу m , що застосовується для ділянки або активу a за час t ;

L_a – довжина ділянки (у разі розгляду дороги або мережі), км;

i_r – ставка дисконтування, %.

Обмеженнями моделі оптимізації можуть бути мінімальні рівні обслуговування, ефективність ремонтно-відновлювальних заходів, обмеження у здійсненні певної кількості заходів за один рік тощо. Крім того, є обмеження, що стосуються цілей та загального бюджету:

$$\sum_{m=1}^M Y_{m,a,t} = 1, \quad \forall m, a, t. \quad (23)$$

$$Y_{m,a,t} = \begin{cases} 1 & | m_a^t \exists G_i \\ 0 & | m_a^t \nexists G_i \end{cases} \quad (24)$$

$$\sum_{a=1}^A \sum_{m=1}^M Y_{m,a,t} \times L_a \times C_{m,a,t} \times (1 + i_r)^t \leq C_{Pr1}, t \in [1; T]; \{T \in N\}, \quad (25)$$

де C_{Pr1} – загальний бюджет на горизонт, приведений на 1 рік здійснення програми.

Прогнозований індекс стану ділянки або активу $Sa_{(t)}$ в момент часу t є функцією від віку активу $E_{a,t}$:

$$Sa_{(t)} = F(E_{a,t}), \quad \forall a, t, Sa_{(t)} \in [1; 5]. \quad (26)$$

Сукупний індекс стану ділянки або активу $S_{\Sigma A_{(t+1)}}$ за $t+1$ рік визначається за умови обмежень:

$$S_{\Sigma A_{(t+1)}} = |Sa_t - (Sa_{t+1}) + (Y_{m,a,t} \times \Delta S)|, \quad \forall m, a, t. \quad (27)$$

$$\begin{cases} S_{\Sigma A_{(t+1)}} \geq S_{los}, & \forall a, t \\ S_{\Sigma A_{(t+1)}} \leq S_{max}^G, & \forall a, t \end{cases} \quad (28)$$

де S_{max}^G – максимальний показник стану, який встановлений для цілі G ;
 $S_{\Sigma A_{(t+1)}} \in [1; 5]$.

Візуально модель оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання з використанням лінійного програмування представлена на рис. 6, яка базується на визначенні та оцінюванні особливостей експлуатаційного утримання певних дорожніх активів, прогнозуванні стану активів, визначенні цілей рівня обслуговування та встановленні мінімально допустимих його

показників, узгодженні цілей та особливостей утримання, визначенні стратегій експлуатаційного утримання та здійснення економічної оцінки, встановленні границь допустимого бюджету для здійснення цілей за програмою.

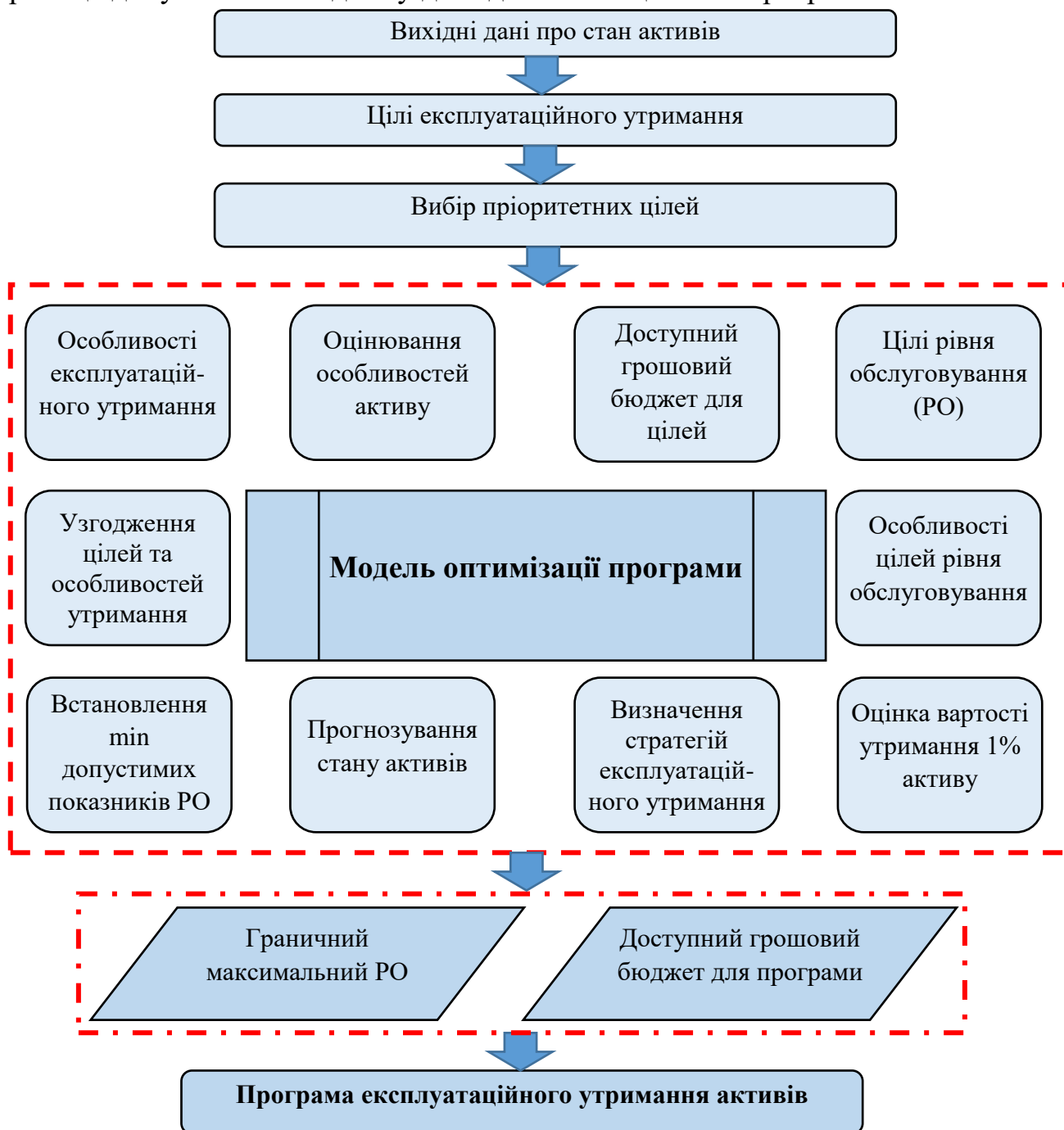


Рисунок 6 – Модель оптимізації проектів у програмі

Остаточне рішення щодо включення проекту в програму приймається на основі принципу Парето (набору можливих рішень щодо дорожнього активу, які неможливо вдосконалити в одній цілі, не погіршивши щонайменше одну іншу ціль).

На рис. 7 наведено алгоритм прогнозування стану дорожніх активів з врахуванням запропонованих підходів.

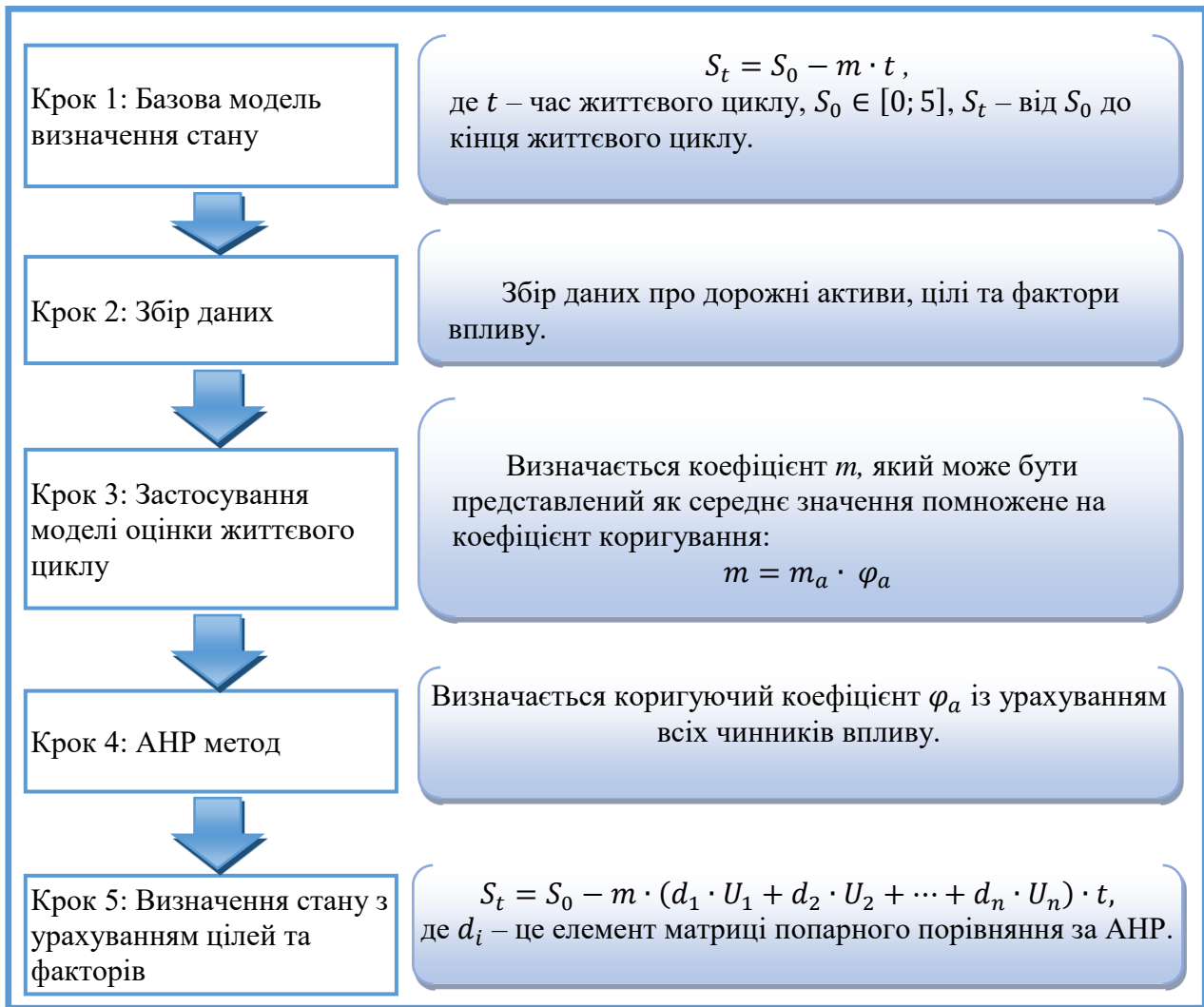


Рисунок 7 – Алгоритм прогнозування стану дорожніх активів за програмою

Значення показника стану зменшується з часом. Погіршення може мати лінійну або нелінійну залежність, на що впливає період аналізу, тип дорожнього активу та інші фактори (інтенсивність дорожнього руху, навколишнє середовище, базові умови) тощо. За базовою моделлю при лінійній залежності, яку рекомендовано застосовувати при превентивних стратегіях утримання стану можна визначити наступним чином:

$$S_t = S_0 - m \cdot t, \quad (29)$$

де t – час життєвого циклу;

m – коефіцієнт, який визначає швидкість погіршення стану дорожнього активу;

S_0 – базовий стан (нульовий), $S_0 \in [0; 5]$;

S_t визначається від базового стану S_0 до кінця життєвого циклу дорожнього активу.

Наступним кроком є збір даних про дорожні активи, цілі та фактори, що впливають на швидкість погіршення стану.

Коефіцієнт m може бути представлений як середнє значення помножене на коефіцієнт коригування:

$$m = m_a \cdot \varphi_a, \quad (30)$$

де m_a – середня швидкість погіршення стану дорожнього активу;

φ_a – коригуючий коефіцієнт, що враховує фактори впливу:

$$\varphi_a \in \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}, \quad (31)$$

де $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ – фактори впливу на швидкість погіршення стану дорожнього активу.

На даному етапі також використовується метод аналізу ієрархій АНР, таким чином прогнозований стан визначається за формулою:

$$\begin{aligned} S_t &= S_0 - m \cdot (d_1 \cdot U_1 + d_2 \cdot U_2 + \dots + d_n \cdot U_n) \cdot t \\ S_t &= S_0 - m \cdot \sum_{i=1}^n (d_i \cdot U_i) \cdot t \end{aligned}, \quad (32)$$

де d_i – це елемент матриці попарного порівняння за АНР;

U_i – критерій (фактор) i .

Якщо виконувати оцінку стану до моменту виконання планового капітального ремонту активу, то коефіцієнт, який визначає швидкість погіршення стану дорожнього активу можна визначити наступним чином:

$$m = \frac{S_t - S_0}{T_L}, \quad (33)$$

де T_L – час, врахований між моментом аналізу та до моменту виконання планового капітального ремонту активу.

Швидкість погіршення (m) та час (T_L) за поганих, хороших та середніх умов можуть бути визначені за допомогою функції трикутного розподілу величин. Таким чином існує три точки даних, які слід визначити для кожного заходу із збереження активу:

$$\begin{cases} m_g = m_a \cdot F_g \\ m_p = m_a \cdot F_p, \\ m_a = m_a \cdot F_a \end{cases} \quad (34)$$

де m_g , m_p , m_a – коефіцієнт (швидкість погіршення) відповідно за поганих, хороших та середніх умов;

F_g , F_p , F_a – коефіцієнти коригування (відповідно за поганих, хороших та середніх умов) для врахування впливу віку активу, зростання інтенсивності та існуючого експлуатаційного стану та інших факторів. Значення $F_a = 1$.

В загальному вигляді цей коефіцієнт визначається:

$$F = \alpha \cdot S_e + \beta \cdot \ln(N) + \gamma \cdot T + \varepsilon, \quad (35)$$

де α , β , γ – коефіцієнти рівняння;

S_e – визначений (існуючий) експлуатаційний стан активу;

$\ln(N)$ – фактор зростання інтенсивності;

T – вік активу;

ε – похибка.

Відповідно за поганих, хороших та середніх умов коефіцієнт коригування визначається наступним чином:

$$\begin{cases} F_g = \alpha \cdot S_{eg} + \beta \cdot \ln(N_g) + \gamma \cdot T_g + \varepsilon \\ F_p = \alpha \cdot S_{ep} + \beta \cdot \ln(N_p) + \gamma \cdot T_p + \varepsilon \\ F_a = \alpha \cdot S_{ea} + \beta \cdot \ln(N_a) + \gamma \cdot T_a + \varepsilon \end{cases} \quad (36)$$

У наведених рівняннях є чотири невідомих. Якщо присвоїти вагу фактору впливу, то кожен коригуючий коефіцієнт можна додатково розкласти на три лінійні рівняння. Таким чином отримаємо три системи рівнянь:

– за станом:

$$\begin{cases} F_g \times \omega_s = \alpha \cdot S_{eg} + \varepsilon_s \\ F_p \times \omega_s = \alpha \cdot S_{ep} + \varepsilon_s; \\ F_a \times \omega_s = \alpha \cdot S_{ea} + \varepsilon_s \end{cases} \quad (37)$$

– за зростанням інтенсивності дорожнього руху:

$$\begin{cases} F_g \times \omega_N = \beta \cdot \ln(N_g) + \varepsilon_N \\ F_p \times \omega_N = \beta \cdot \ln(N_p) + \varepsilon_N; \\ F_a \times \omega_N = \beta \cdot \ln(N_a) + \varepsilon_N \end{cases} \quad (38)$$

– за віком активу:

$$\begin{cases} F_g \times \omega_T = \gamma \cdot T_g + \varepsilon_T \\ F_p \times \omega_T = \gamma \cdot T_p + \varepsilon_T; \\ F_a \times \omega_T = \gamma \cdot T_a + \varepsilon_T \end{cases} \quad (39)$$

Тоді, вектор ваги в моделі:

$$\omega \in \{\omega_S, \omega_N, \omega_T\}, \quad (40)$$

де $\omega_S, \omega_N, \omega_T$ – ваги факторів відповідно для експлуатаційного стану, інтенсивності дорожнього руху та віку активу.

Результати оптимізації програми мають практичну цінність та можуть слугувати для управління проектами експлуатаційного утримання автомобільних доріг залежно від:

- визначених цілей та планів проекту, включаючи розмежування обсягу, складання бюджету, планування, встановлених вимог до ефективності та вибору учасників проекту;

- максимізації ефективного використання ресурсів;

- здійснення функцій координації та контролю, планування, проектування, оцінки, укладання контрактів та виконання проектів за контрактами.

За результатами застосування запропонованих моделей та методів визначено, що при 10-річній програмі експлуатаційного утримання, починаючи з 4-го року відзначається економічна ефективність від 10% вартості програми, а на кінець програми відносна економія по вартості ремонтно-відновлювальних заходів сягає 35% при підтримці мережі на мінімально встановленому рівні обслуговування.

У п'ятому розділі запропоновано інструменти до реалізації розробленої методології на практиці. А саме, алгоритм прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг (рис. 8) та алгоритмізовані рішення до програмних комплексів та інформаційно-аналітичних систем.

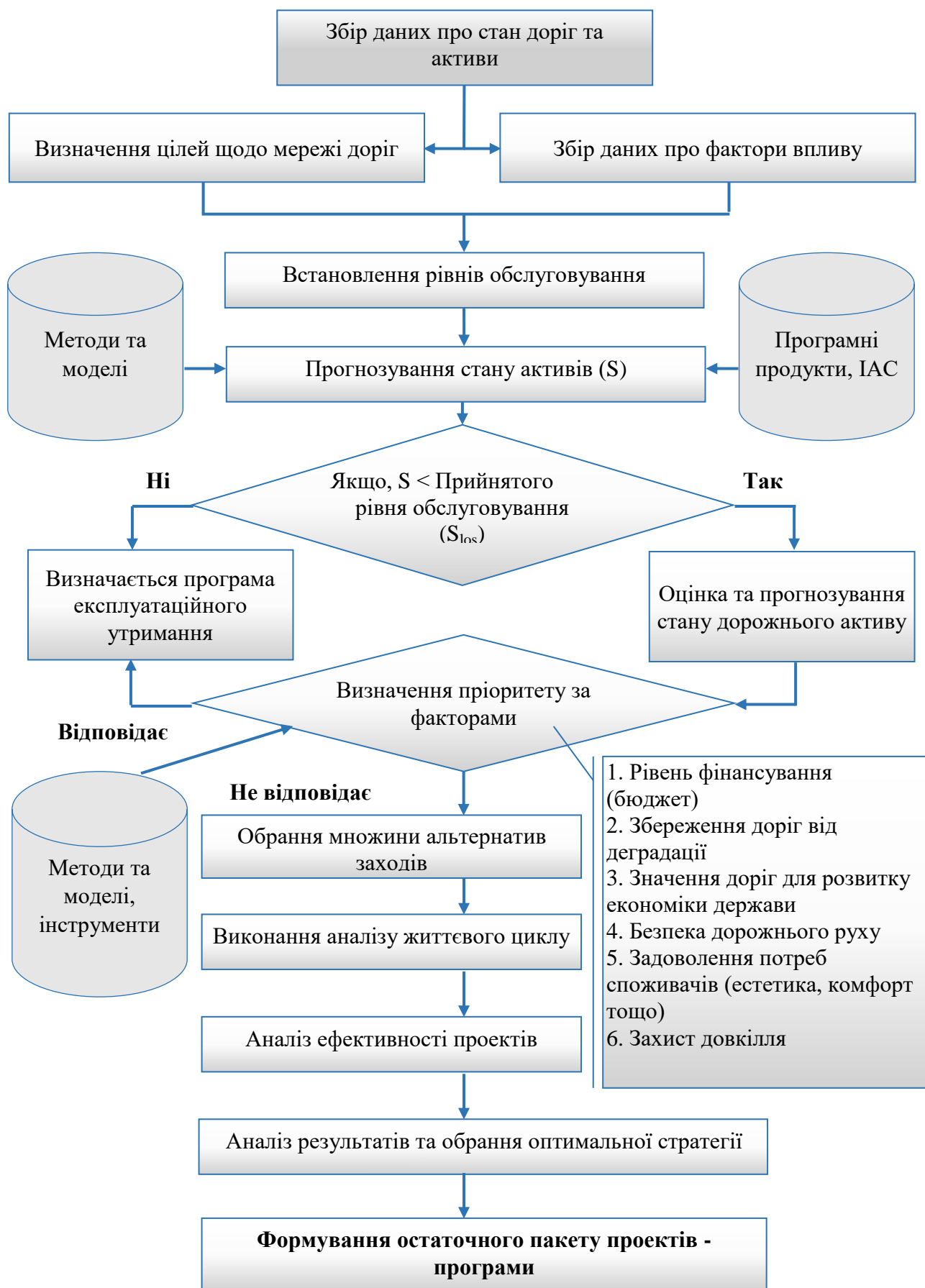


Рисунок 8 – Алгоритм прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання

Деякі концептуальні підходи даних досліджень були застосовані в «Рекомендаціях щодо розвитку системи державно-приватного партнерства як складової управління проектами в дорожньому виробництві (рекомендовані Науково-технічною радою ДП «ДерждорНДІ», протокол №5 від 6.11.2014 р.), 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», МР Д 1.2-37641918-884:2017 Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них, 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), ДП «ДерждорНДІ», ТОВ «Науково-технічна компанія «Дорекспо», ТОВ «Союзтранспроект» та в інших організаціях дорожнього господарства.

Результати дослідження також були впроваджені в навчальний процес Національного транспортного університету на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі було вирішено актуальну науково-прикладну задачу в області управління програмами – розроблено методологію управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка дозволяє виконувати моделювання пакету проектів у програмі за визначеним набором цілей, факторів та з урахуванням некерованих впливів.

Досягнення мети дисертаційного дослідження дозволило зробити наступні висновки:

1. Аналіз існуючих проектів та програм експлуатаційного утримання мережі автомобільних доріг, стратегій та методичних підходів до планування ремонтно-відновлювальних заходів показав необхідність розробки єдиного інноваційного підходу до управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг та дозволив сформулювати концепцію виконання подальшого дослідження.

2. В дослідженні було розроблено основні положення методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, які включили:

- формування концептуальної моделі розробки методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка складається вдосконалений тезаурус, визначені моделі, методи, критерії та інструменти управління;

- вдосконалення тезаурусу з управління програмами, який включав існуючі визначення в області теорії управління проектами та дорожнього виробництва, й був доповнений визначеннями програми експлуатаційного утримання автомобільних доріг, пакету проектів, стратегії, моделі прогнозування, моделі оптимізації, управління станом мережі автомобільних доріг;

- вдосконалення моделі стратегічного планування програми з управління мережею автомобільних доріг, яка дозволяє максимізувати ефективність програми управління мережею автомобільних доріг;

- розробку архітектури моделі управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка визначається формуванням пакету проектів на основі пріоритезації набору стратегій, що базуються на цілях управління.

Визначено, що цілі системи управління активами пов'язані з результатами функціонування мережі автомобільних доріг та відображають уявлення про те, чого повинна досягнути система управління станом мережі у перспективі. Таким чином, пріоритезація стратегій за цілями була покладена в основу вдосконалення процесу управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

3. Виконане вдосконалення математичної моделі обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг на основі проектів, які реалізуються через довгострокові (договори) контракти про утримання автомобільних доріг загального користування за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану, дозволило сформуванню основні підходи до оптимізації програми мережі. Визначено, що систему складових таких проектів складають критерії втручання, комплекс стандартів (або нормативів) експлуатаційних якостей дорожніх активів, набір рівнів обслуговування.

4. Обґрунтування моделі управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг здійснювалося із застосуванням методу аналізу ієрархій та методів оптимізації за набором цілей, факторів та з урахуванням некерованих впливів. Задачею оптимізації є побудова математичної моделі, яка виражає проблему прийняття рішень щодо програми експлуатаційного утримання доріг.

Математична модель оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання доріг була доповнена коефіцієнтом ризику нездійсненності стратегії

та враховує цілі утримання мережі в цілому. Корируючи значення змінних, математична модель оптимізації проектів в програмі вибирає можливе рішення (з точки зору обмежень) з найкращим (оптимальним) значенням визначеної цільової функції. При прийнятті рішення за моделлю змінні представлені набором стратегій, що корелюються з цілями утримання доріг.

Економічну оцінку проекту в програмі запропоновано здійснювати із використанням поточної вартості та чистої теперішньої вартості, а щорічні платежі за програмою або окремим проектом – визначати за підходом Transportation Association of Canada.

Запропоновано пріоритезацію ділянок доріг виконувати за набором факторів з урахуванням некерованих впливів методами оптимізації, зокрема, за найбільш прогресивний метод для пошуку рішень визначено генетичні алгоритми.

Екологічний фактор запропоновано враховувати за комбінованим підходом – за матрицею Леопольда з подальшим дослідженням впливу екологічних показників на проект за допомогою функції Харрінгтона.

За результатами моделювання було розроблено візуальну модель оптимізації проектів у програмі та вдосконалено алгоритм прогнозування стану дорожніх активів за програмою.

Розроблена на основі АНР методології модель управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг є дієвим інструментом у прийнятті рішень щодо дорожніх активів як на передпроектному рівні, так для стратегічного планування альтернативних дій щодо збереження та відновлення якісного стану мережі доріг.

Результати застосування запропонованих моделей та методів свідчать про економічну ефективність програми від 10% вартості, яка відмічається вже на 4-ий рік її здійснення, відносна економія по вартості ремонтно-відновлювальних заходів складає біля 35% при встановленні мінімального рівня обслуговування.

5. За основні інструменти до реалізації розробленої методології на практиці було визначено алгоритм прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання доріг та алгоритмізовані рішення до програмних комплексів та інформаційно-аналітичних систем.

Результати дисертаційного дослідження використано Державним агентством автомобільних доріг України (Укравтодор), ДП «ДерждорНДІ», ТОВ «Науково-технічна компанія «Дорекспо»», ТОВ «Союзтранспроєкт», а також впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при викладанні дисципліни «Методологічні основи розробки та управління науковими проектами» для здобувачів третього (освітньо-

наукового) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-науковою програмою «Будівництво та цивільна інженерія».

6. Наведені результати дослідження можуть бути в подальшому розвинені в моделях управління програмами та проектами життєвого циклу мережі автомобільних доріг в умовах ризику та невизначеності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Vasyl Mateichyk, Viktoriia Khrutba, Anna Kharchenko, Yuliia Khrutba, Olexander Protsyk, Iuliia Silantieva. Developing a Tool for Environmental Impact Assessment of Planned Activities and Transport Infrastructure Facilities. *Transportation Research Procedia*. Volume 55, 2021, P. 1194-1201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.185>

2. 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>.

3. Slavinska O., Stozhka V., Kharchenko A., Bubela A., Kvatadze, A. Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (97)). 2019. P. 46–59. DOI: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>

4. Slavinska, O., Savenko, V., Kharchenko, A., Bubela, A. Development of a mathematical model of evaluation of road-and-transport assets as a component of information-and-management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (90)). 2017. P. 45–57. DOI: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118798>

Статті у фахових виданнях:

5. Dmytrychenko, N., & Kharchenko, A. Development of method for road network management program optimization. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2(60)). 2021. P. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237949>

6. Kharchenko, A., Zaviyskyu, O., Tsybul'skyi, V., & Zavorotnyi, S. Development of methods for parameters of long-term contracts optimization for operational road maintenance. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(57)). 2021. P. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225532>

7. Slavinska O., Kharchenko A., Bubela A., Chechuha O. Development of road sector's land valuation method for aims of asset management. *Technology audit*

and production reserves, 2 (2 (52)). 2020. P. 43–46. DOI: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200743>

8. Bubela A., Kharchenko A., Bezugliy A., Hresko I., Slavinska O., Bibyk Y. Features of carrying out the cost evaluation of public roads. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Iss. 19-20. 2019. P. 5-15. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.005>

9. Kharchenko A., Chechuha O. Development of proposals for improving the monetary value of land at their allocation for roads within the settlement. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Iss. 21. 2020. P. 217-225. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.217>

10. Канін О.П., Харченко А.М., Цинка А.О. Аналіз світового досвіду та розробка пропозицій щодо реалізації контрактів FIDIC в Україні. *Вісник Національного транспортного університету*. Вип.40. 2018. С. 140-154. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/40/140.pdf>

11. 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

12. Канін О.П., Харченко А.М., Цинка А.О. Проблеми та перспективи впровадження контрактів FIDIC в дорожнє господарство України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Вип. 104. 2018. С. 6-16.

13. Харченко А.М., Смірнов А.М. Основні дослідження в напрямку обґрунтування рівнів обслуговування автомобільних доріг в зимовий період. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Вип. 102. 2017. С. 131-143. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/102/131-143.pdf

14. 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

15. 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.

16. Kharchenko A. Problems of property rights in the implementation of standard forms FIDIC contracts in the road sector in Ukraine. *Вісник Національного транспортного університету*. Iss. 2 (38). 2017. P. 92-97. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/38/092.pdf>

17. 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

18. Харченко А.М., Соколова Н.М. Методи аналізу ефективності проектів державно-приватного партнерства в дорожній галузі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 96. 2016. С. 121-133. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/96/121-133.pdf
19. Славінська О.С., Харченко А.М. Застосування кваліметричної моделі до оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 95. 2016. С. 111-120. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/95/111-120.pdf
20. 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
21. 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*. Вип. 94. 2015. С. 124-134. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/94/124-134.pdf
22. Харченко А.М., Мелешук Т.П. Аналіз світового досвіду впровадження та використання довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 93. 2015. С. 138-143. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/93/138-143.pdf
23. Соколова Н.М., Харченко А.М. Еколого-економічне оцінювання впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище. *Вісник Національного транспортного університету*. Вип. 33. 2015. С. 230-238. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/33_2015/230-238.pdf
24. Канін О.П., Харченко А.М. Управління дорожнім господарством шляхом застосування інформаційно-аналітичної системи. *Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті*. Вип.2. 2014. С. 98-102.
25. Харченко А.М., Сагатюк Я. Дослідження взаємозв'язку вартості та тривалості проектів у дорожньому виробництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 89. 2013. С. 152-158. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_89/152-158.pdf
26. Соколова Н.М., Харченко А.М. Оптимізація стану автомобільних доріг в умовах державно-приватного партнерства. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 88. 2013. С. 196-206. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_88/196-206.pdf
27. 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*. Вип.28. 2013. С. 496-504. URL: http://www.publications.ntu.edu.ua/visnyk/28_2013/496-504.pdf

28. 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. Технічна серія*, Вип.12. НТУ. С. 195-207. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_progect/2013_12_tech/193.pdf

29. Соколова Н.М., Канін О.П., Харченко А.М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. Вип.11. 2013. С. 130-139. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_progect/11_2013/130-139.pdf

30. Харченко А.М. Формування річної програми дорожньо-ремонтних робіт з позиції теорії управління проектами. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Вип. 10. 2012. –С. 279-285. URL: http://publications.ntu.edu.ua/upravl_progect/10_2012/279-285.pdf

31. Канін О.П., Харченко А.М. Сутність та призначення інформаційно-аналітичних систем управління дорожнім господарством України. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Вип.9. 2012. С. 71-78.

32. Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М. Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 84. 2012. С. 133-138. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/84/133-138.pdf

33. Харченко А.М. До застосування експертної системи проектування річної програми робіт в дорожньо-ремонтних організаціях. *Вісник Національного транспортного університету*. Вип. 26 (1). 2012. С. 99-103. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_1_2013/099-103.pdf

34. Канін О.П., Харченко А.М. Проектування річної програми робіт в системі управління проектами експлуатації автомобільних доріг. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Вип.8. 2011. С. 88-94.

35. Харченко А.М. Стан інформаційного і програмного забезпечення проектування річної програми робіт в дорожній галузі України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип.81. 2011. С. 103-107. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/81/103-107.pdf

36. Харченко А.М. Експертна система обґрунтування річної програми дорожньо-ремонтних робіт. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 80. 2011. С. 88-95. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/80/088-095.pdf

Монографії:

37. Дмитриченко М.Ф., Харченко А.М., Мороз Т.М. Система діагностування стану автомобільних доріг як засіб стратегічного планування експлуатаційного утримання. *Erbe der europäischen Wissenschaft / Heritage of European science, Germany*. 2021. P. 224-258.

38. Anna Kharchenko, Ylia Khrutba. Development and implementation of electronic service for environmental impact assessment from planned road construction activities. *Integration of traditional and innovation processes of development of modern science: collective monograph / edited by authors*, 3rd ed,

Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2020. Pp.246-276. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-021-6-40>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

39. Дмитриченко М.Ф., Харченко А.М. Розробка методу оцінки стану мережі автомобільних доріг для управлінських цілей. *Conference «Scientific developments: yesterday, today, tomorrow '2021»*. Р. 13-18.

40. Viktoriia Khrutba, Inesa Rutkovska, Anna Kharchenko, Tetiana Morozova, Alla Herasymenko. Environmental impact assessment of the planned activity of aviation transport. *VIII International Scientific-Technical Conference «Problems of chemmology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants»*, 2021. Р. 59-60.

41. 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.

42. Харченко А.М. Обґрунтування рівнів обслуговування при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions» : Conference proceedings, September 25–26, 2020. Prague: Izdevnieciba «Baltija Publishing»*, 2020. Р. 131-133.

43. Гришук О.К., Харченко А.М. Проблеми та перспективи реформування системи управління дорожнім господарством як складової галузі інфраструктури. *Економічний розвиток: теорія, методологія, управління [матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції]*. Nemoros s.r.o., Prague. 2018. С. 162-164.

44. Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М. Дослідження передумов реалізації контрактів FIDIC в Україні. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2017. С. 160.

45. 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.

46. Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М. Управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2015. С. 154-155.

47. Харченко А.М. Застосування інформаційно-аналітичних систем в управлінні дорожнім господарством. *Міжнародна конференція. Сучасна*

інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку. Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2013. С.128.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

48. Kharchenko A., Kotyk D. Development of algorithm for risk assessment of the large ring road construction project around Kyiv. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Випуск 110, 2021. С.225-233.

49. Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М. Обґрунтування рівнів обслуговування при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг загального користування *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Випуск 109, 2021. С.11-26.

50. Харченко А.М. Теоретико-методологічні аспекти експлуатаційного утримання автомобільних доріг за довгостроковими контрактами. *Scientific letters of academic society of Michal Baludansky*. 2019. P. 20-25.

51. Дмитриченко М.Ф., Токін О.П., Харченко А.М. Перспективи розвитку системи професійних кваліфікацій у вищій освіті. *Вісник Національного транспортного університету*. Вип.49. 2021. С. 63-71.

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.

4. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 86516. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Розробка моделі вагомостей параметрів автомобільних доріг у складі інформаційно-управлінської системи грошової оцінки» Славінська О.С., Стьожка В.В., Харченко А.М., Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дата реєстрації 01.03.2019 р.

5. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 76497. Україна. Літературний письмовий твір науково-практичного характеру «Методичні рекомендації з проведення вартісної оцінки автомобільних доріг і споруд на них». Славінська О.С., Харченко А.М., Бубела А.В., Чесноков С.В. Дата реєстрації 01.02.2018 р.

6. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 76682. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Розробка

математичної моделі вартісної оцінки дорожньо-транспортних активів як складової інформаційноуправлінської системи» Славінська О.С., Савенко В.Я., Харченко А.М., Бубела А.В. Дата реєстрації 06.02.2018 р.

7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 58880. Україна. Науковий твір «Методика оцінки ефективності проектів державно – приватного партнерства в дорожній галузі». Харченко А.М., Соколова Н.М. Дата реєстрації 05.03.2015 р.

8. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50503. Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційно – аналітична система управління дорожнім господарством – Аналітична експертна система управління мостами» («ІАСУ ДГ – АЕСУМ»). Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М. Дата реєстрації 30.07.2013 р.

9. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50504. Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційно – аналітична система управління дорожнім господарством – Система управління станом покриття» («ІАСУ ДГ – СУСП»). Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М. Дата реєстрації 30.07.2013 р.

10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50972. Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційно – аналітична система управління дорожнім господарством» («ІАСУ ДГ»). Канін О.П., Харченко А.М., Соколова Н.М. Дата реєстрації 27.08.2013 р.

АНОТАЦІЯ

Харченко А.М. Наукові основи управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.22 – управління проектами та програмами. – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми в області управління програмами – розробленню методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, яка дозволяє виконувати моделювання пакету проектів у програмі за визначеним набором цілей, факторів та з урахуванням некерованих впливів.

Проведене теоретичне дослідження видів проектів, програм, стратегій та методичних підходів до впливу ремонтно-відновлювальних заходів на стан мережі автомобільних доріг показало необхідність змін у парадигмі системного управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, зокрема, обґрунтовано, що для ефективного експлуатаційного утримання необхідно застосовувати довгострокове планування, що ґрунтується на забезпеченні якісних показників доріг, а не на об'ємах виконаних робіт як за традиційними підходами.

Наступний аналіз був проведений, виходячи із зарубіжного досвіду розвитку методології управління програмами експлуатаційного утриманням

автомобільних доріг. На основі проведених теоретичних досліджень було сформовано концептуальну модель розробки методології управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, що базується на тезаурусу, моделях, методах, критеріях та інструментах управління. Існуючий тезаурус з управління програмами було доповнено рядом нових визначень. Вдосконалено модель стратегічного планування програми з управління мережею автомобільних доріг та розроблено архітектуру моделі управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Вдосконалено математичну модель обґрунтування стратегії відновлення стану автомобільних доріг на основі проектів, які реалізуються через довгострокові контракти з утримання автомобільних доріг за принципом забезпечення їх експлуатаційного стану.

Обґрунтовано модель управління програмами експлуатаційного утримання автомобільних доріг, що базується на використанні методу аналізу ієрархій АНР Saaty та методів оптимізації за набором цілей, факторів та некерованих впливів. Математичну модель оптимізації проектів в програмі експлуатаційного утримання доріг доповнено коефіцієнтом ризику нездійсненності стратегії. Розроблено візуальну модель оптимізації проектів у програмі та вдосконалено алгоритм прогнозування стану дорожніх активів за програмою.

Вдосконалено алгоритм прийняття рішення щодо управління програмою експлуатаційного утримання автомобільних доріг та алгоритмізовані рішення до програмних комплексів й інформаційно-аналітичних систем.

Ключові слова: програма експлуатаційного утримання, пакет проектів, методологія управління програмами, стратегія, цілі управління, стан автомобільних доріг, експлуатаційне утримання.

АННОТАЦІЯ

Харченко А.М. Научные основы управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.22 – управление проектами и программами. – Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной проблемы в области управления программами – разработке методологии управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог, которая позволяет выполнять моделирование пакета проектов в программе по определенному набором целей, факторов и с учетом неуправляемых воздействий.

Проведенное теоретическое исследование видов проектов, программ, стратегий и методических подходов к воздействию ремонтно-восстановительных мероприятий на состояние сети автомобильных дорог показало необходимость изменений в парадигме системного управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог, в

частности, обосновано, что для эффективного эксплуатационного содержания необходимо применять долгосрочное планирование, основанное на обеспечении качественных показателей дорог, а не на объемах выполненных работ как при традиционных подходах.

Последующий анализ был проведен, исходя из зарубежного опыта развития методологии управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог. На основе проведенных теоретических исследований было сформировано концептуальную модель разработки методологии управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог, которая основывается на тезаурусе, моделях, методах, факторах и инструментах управления. Существующий тезаурус по управлению программами был дополнен рядом новых определений. Усовершенствована модель стратегического планирования программы по управлению сетью автомобильных дорог и разработаны архитектуру модели управления программой эксплуатационного содержания автомобильных дорог.

Была усовершенствована математическая модель обоснования стратегии восстановления состояния автомобильных дорог на основе проектов, которые реализуются через долгосрочные контракты по содержанию автомобильных дорог по принципу обеспечения их эксплуатационного состояния.

Обоснованно методологию управления программами эксплуатационного содержания автомобильных дорог, которая базируется на использовании метода анализа иерархий АНР Saaty и методов оптимизации по набору целей, факторов и неуправляемых воздействий. Математическую модель оптимизации проектов в программе эксплуатационного содержания дорог дополнено коэффициентом риска неосуществимости стратегии. Разработано визуальную модель оптимизации проектов в программе и усовершенствован алгоритм прогнозирования состояния дорожных активов по программе.

Усовершенствован алгоритм принятия решения по управлению программой эксплуатационного содержания автомобильных дорог и алгоритмизированные решения к программным комплексам и информационно-аналитическим системам.

Ключевые слова: программа эксплуатационного содержания, пакет проектов, методология управления программами, стратегия, цели управления, состояние автомобильных дорог, эксплуатационное содержание.

ABSTRACT

Kharchenko A.M. Scientific bases of road maintenance program management. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.13.22 – project and program management. – National Transport University, Kyiv, 2021.

The dissertation work is devoted to the decision of an actual problem in the field of program management – development a methodology of road maintenance program management, which allows to perform modeling of a projects package in the

program according to a certain set of goals, factors and taking into account uncontrolled influences.

The theoretical study of projects, programs, strategies types and methodological approaches to the repair and restoration measures impact on the road network condition showed the need for changes in the paradigm of system management of road maintenance programs, in particular, it is necessary to apply long-term planning which is based on ensuring the quality of roads, rather than on the volume of work performed as in traditional approaches.

The following analysis was conducted based on foreign experience in developing a methodology for operational maintenance managing programs of roads. On the basis of the conducted theoretical researches the conceptual model of development of road maintenance program management methodology based on the thesaurus, models, methods, criteria and management tools was formed. A number of new definitions have been added to the existing program management thesaurus. The model of strategic planning of the program management of a road network is improved and the architecture of road maintenance program management model is developed.

The mathematical model of the restoration strategy substantiation of a road condition on the basis of the projects which are realized through long-term road maintenance contracts on the principle of maintenance of their operational condition is improved.

Adjusting the values of variables, the mathematical model of project optimization in the program selects a possible solution (in terms of constraints) with the best (optimal) value of the defined objective function. When deciding on the model, the variables are represented by a set of strategies that correlate with the road maintenance objectives. The economic evaluation of the project in the program is proposed to be carried out using current cost and net present value, and annual payments for the program or individual project – to be determined by the approach of the Transportation Association of Canada. It is proposed to prioritize road sections according to a set of factors taking into account uncontrolled influences by optimization methods, in particular, genetic algorithms are defined as the most progressive method for finding solutions.

The methodology of road maintenance programs is substantiated, which is based on the use of the method of analysis of AHP Saaty hierarchies and methods of optimization by a set of goals, factors and uncontrolled influences. The mathematical model of project optimization in the road maintenance program is supplemented by the risk factor of strategy failure. The visual model of projects optimization in the program is developed and the algorithm of road assets condition forecasting under the program is improved.

The algorithm of decision-making on management of road operational maintenance program and algorithmic decisions to software complexes and information-analytical systems are improved.

Key words: maintenance program, project package, program management methodology, strategy, goals of management, road condition, maintenance.

Підписано до друку 09.08.2021 р. Формат 60x84¹/₁₆.
Папір офсетний. Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 2,56.
Обл.-вид. арк. 2,75. Наклад 100. Зам. 67.

Поліграфічний центр АТ «ПТІ «Київоргбуд».
01010, Україна, Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 4/6,
тел. +380 44 280 91 13