МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ІГНАТЮК ВІКТОРІЯ ВАСИЛІВНА

УДК 005.8:625.76

УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

05.13.22 – управління проектами та програмами

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Канін Олександр Петрович
кандидат технічних наук,
доцент

Київ - 2015

З М І С Т

	С.:
Вступ	4
1 СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	10
1.1 Сутність та існуючі підходи до вирішення проблеми відкладених ремонтів	10
1.2 Управління проектами та програми як методологічна основа управління відновленням стану автомобільних доріг	14
1.3 Моделі оптимізації стратегій ремонту дорожнього одягу	28
Висновки по розділу 1	33
2 МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМОЮ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	35
2.1 Концептуальні передумови розробки моделі управління програмою ремонтів дорожнього одягу	35
2.2 Модель деградації дорожнього одягу	52
2.3 Математична модель управління програмою ремонтів дорожнього одягу	59
Висновки по розділу 2	67
3 АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	70
3.1 Сутність генетичних алгоритмів	70
3.2 Застосування генетичних алгоритмів для оптимізації стратегій відновлення стану дорожнього одягу	76
3.3 Генетичний алгоритм пошуку оптимальної стратегії виконання програми ремонтів дорожнього одягу	80
3.4 Дослідження впливу параметрів генетичного алгоритму на	96

ефективність пошуку оптимальних рішень

Висновки по розділу 3 106

4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ З УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ 108

4.1 Інформаційна база обґрунтування програми ремонтів дорожнього одягу 108

4.2 Порядок застосування програмних засобів оптимізації програми ремонтів дорожнього одягу 117

4.3 Розробка методики обґрунтування бюджетних обмежень в управлінні програмами ремонтів дорожнього одягу 126

Висновки по розділу 4 131

Загальні висновки 133

Список використаних джерел 135

Додатки 155

ВСТУП

Актуальність роботи. За останні два десятиріччя різко змінився якісний склад транспортних потоків на автомобільних дорогах України. Збільшення інтенсивності руху та маси експлуатаційного навантаження викликало пришвидшений фізичний знос дорожнього одягу і погіршення його стану. За даними обліку в Системі управління станом покриття Укравтодору на початку 2010-х років за інструментальними обстеженнями дорожнього одягу автомобільних доріг державного значення більше половини протяжності доріг потребувало негайного капітального або поточного середнього ремонтів. Головною причиною виникнення швидких руйнувань дорожнього одягу є низький рівень фінансування ремонтних робіт, який за останні роки становив всього 14-34 % визначеної науковцями мінімальної необхідної потреби на ремонт і утримання мережі автомобільних доріг [57]. З цієї причини, кількість відкладених ремонтів продовжує зростати.

Виконання відкладених ремонтів і поступове приведення стану дорожнього одягу та його покриття до рівня нормативних вимог є складною науковою проблемою управління станом доріг, вперше окресленою В.В. Філіпповим, Є.Д. Прусенком, В.К. Жданюком та Н.В. Смірновою. Вона може бути вирішена на підґрунті методів оптимізації стратегій ремонтів дорожнього одягу, висвітлених в роботах С.С. Кизими, А.Ю. Шпиг, К. Абази, У. Даніельсона, Г. Кералі, С. Паркмана, Р. Робінсона, Н. Робертсона, М. Снейса, Т. Фва та ін. і застосування програмно-ціннісного методу управління на державному, регіональному та галузевому рівнях через розробку і здійснення програм ремонтів доріг.

Теоретичні основи управління програмами розвинуті, зокрема, в роботах українських вчених А.О. Білощицького, С.Д. Бушуєва, Н.С.Бушуєвої, Т.А. Воркут, В.Д. Гогунського, І.О. Гордєєвої, В.Х. Далеки, І.В.Калінько, К.В. Колеснікової, І.В. Кононенка, К.В. Кошкіна, О.М.Медведевої, В.М. Молоканової, Ю.П. Рака, В.А. Рача, А.І. Рибака, С.В.Руденка,

О.В. Сидорчука, П.А. Тесленка, Ю.М. Теслі, А.М. Харченко, С.В. Цюцюри, І.В. Чумаченка.

В той же час, як показали дослідження, ще недостатньо розроблений інструментарій обґрунтування ефективних стратегій відновлення стану дорожнього одягу мережі доріг, відсутні моделі і методики з управління програмами ремонтів дорожнього одягу та відповідне комп'ютерне програмне забезпечення.

З наведених причин, удосконалення управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг є надзвичайно важливим для дорожньої галузі. Відсутність науково-обґрунтованого підходу до вирішення зазначеної проблеми обумовлює актуальність теми дослідження та є передумовою постановки його мети та завдань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до державної бюджетної теми науково-дослідної роботи кафедри організації виробництва Національного транспортного університету № 87 від 01.01.2010 р. «Основи менеджменту експлуатації автомобільних доріг» (державний реєстраційний номер 0110U000126) та науково-дослідної теми кафедри управління виробництвом і майном НТУ «Удосконалення системи управління процесами розвитку дорожнього господарства України» (етап 2014 р., державний реєстраційний номер 0115U002056). Особисто автором у контексті даних тем запропоновано модель управління програмою відновлення стану мережі автомобільних доріг на основі моделей деградації дорожнього одягу та планування досягнення нормативного стану автомобільних доріг за задану кількість років.

Об'єктом дослідження є процес управління відновленням транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу автомобільних доріг до рівня нормативних вимог.

Предметом дослідження є моделі управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг у фазах ініціювання, планування і коригування програм.

Центральна наукова ідея дослідження полягає в пошуку моделі управління програмою ремонтів дорожнього одягу та алгоритму оптимізації змісту і розкладу програми - аналітичної процедури, що дозволяє визначити рівень фінансування, достатній для досягнення нормативного рівня експлуатаційного стану дорожнього одягу за задану кількість років із забезпеченням мінімуму транспортних витрат.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності процесу управління відновленням експлуатаційного стану дорожнього одягу автомобільних доріг до рівня нормативних вимог на основі розроблення моделі оптимізації управління програмами ремонтів дорожнього одягу у фазах ініціювання, планування і коригування програм.

Досягнення поставленої мети обумовило необхідність виконання наступних завдань:

- на основі узагальнення сучасних теоретичних уявлень з управління програмами сформулювати концептуальні передумови обґрунтування змісту, розкладу і бюджету програми ремонтів автомобільних доріг на задану кількість років;
- визначити критерій оптимальності управління програмою ремонтів дорожнього одягу;
- розробити математичну модель формування та коригування програми ремонтів для відновлення стану дорожнього одягу;
- розробити алгоритм пошуку оптимальних рішень в управлінні програмою ремонтів дорожнього одягу;
- розробити методику управління програмою ремонтів із створенням нового модулю у складі програмного забезпечення Системи управління станом покриття.

Методи дослідження. У процесі дослідження використані фундаментальні положення управління проектами та програмами та комплекс взаємодоповнюючих загальнонаукових та спеціальних методів. Методи системного аналізу – для встановлення зв’язків між складовими

досліджуваного процесу при розробці вихідних концептуальних положень, як структурної основи для побудови моделі і алгоритму управління програмами відновлення експлуатаційного стану дорожнього одягу; методи математичного моделювання – для розробки математичної моделі обґрунтування змісту, розкладу і бюджету програми; метод еволюційного моделювання – для пошуку оптимального рішення на основі розробленої математичної моделі; комп'ютерний експеримент – для оцінки ефективності запропонованої моделі і комп'ютерної програми, які її реалізують, у пошуку оптимальних змісту, розкладу і бюджету довгострокової програми.

Інформаційною базою дослідження є результати обстежень стану автомобільних доріг України, що містяться в базі даних Системи управління станом покриття.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці теоретичних та практичних аспектів обґрунтування змісту та розкладу програм ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг у фазах їх ініціювання, планування і коригування шляхом оптимального вибору проектів програм та їх визначальних параметрів при заданому рівні фінансування. Наукова новизна найбільш суттєвих результатів полягає в наступному:

вперше:

- запропоновано поняття модулю програми ремонтів доріг – сукупності взаємно залежних проектів ремонтів на однорідних за умовами експлуатації неперервних ділянках доріг, яке відрізняється врахуванням зв'язку процесів деградації та відновлення стану дорожнього одягу і створює структурну основу формалізації процесу управління програмою ремонтів мережі доріг;

- розроблено модель управління програмою відновлення стану дорожнього одягу на рівні мережі доріг, яка відрізняється від існуючих застосуванням методу еволюційного моделювання у фазах ініціювання, планування і коригування програми, що дозволяє максимізувати вигоди реалізації програми.

удосконалено методи обґрунтування довгострокової програми ремонтів дорожнього одягу.

дістали подальшого розвитку інформаційні технології з планування ремонтів дорожнього одягу на мережі автомобільних доріг.

Практичне значення наукових результатів полягає у тому, що теоретичні положення дисертаційної роботи доведені до рівня алгоритмів, комп'ютерної програми та методики управління програмами ремонтів дорожнього одягу. Їх достовірність обґрунтована порівнянням з результатами розрахунків в Системі управління станом покриття. До результатів, які мають найбільше практичне значення, належать модель, алгоритм та комп'ютерні програмні засоби управління програмами автомобільних доріг

Робота є удосконаленням створеної в Національному транспортному університеті Інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством і Системи управління станом покриття Укравтодору. Наукові положення, висновки, пропозиції і рекомендації дисертаційної роботи можуть бути використані при впровадженні в дорожній галузі систем програмно-ціннісного управління та обґрунтуванні потреби фінансових ресурсів, необхідних для приведення стану дорожнього одягу до рівня нормативних вимог за задану кількість років.

Результати дослідження були впроваджені в державному підприємстві «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (довідка № 20.2б-20/1-508 від 13.05.2014 р.), державному підприємстві «Український державний інститут з проектування об'єктів дорожнього господарства» (довідка № 761-11 від 13.05.2014 р.) та Державному агентстві автомобільних доріг України (довідка № 13-8-84 від 25.08.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. Автором самостійно сформульовані і обґрунтовані наукові ідеї, теоретичні розробки, висновки і рекомендації, а також практичне впровадження результатів дисертаційної роботи. Внесок автора в дві опубліковані колективні роботи:

– виконано аналіз світового досвіду обґрунтування стратегій дорожньо-ремонтних робіт в системах управління дорожнім одягом [44];

– запропоновано підхід до оптимального управління станом дорожнього одягу [43].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідались і отримали позитивну оцінку на Міжнародній науково-практичній конференції за участю студентів і молодих вчених «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов» (м.Харків, 1-4 листопада 2012 р.), XV-й Міжнародній науково-технічній конференції «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы» (м. Севастополь, 10-17 вересня 2012 р.), II Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 30 травня - 3 червня 2012 р.), LXVIII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, травень 2012 р.), LXIX науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, травень 2013 р.), III Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 29.05-01.06.2014 р.) та 6-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегроване стратегічне управління, управління проектами і програмами розвитку підприємств і територій» (курортна зона Буковель,10-13 лютого 2015 р.).

Публікації. За темою дисертації та результатами досліджень автором опубліковано: 1 наукову статтю в зарубіжному виданні, 9 наукових статей у фахових наукових виданнях України (з них: 7 – особисто автором, 2 – в співавторстві), 4 тези доповідей на наукових конференціях.

1 СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

1.1 Сутність та існуючі підходи до вирішення проблеми відкладених ремонтів

Управління станом автомобільних доріг повинне здійснюватись шляхом вибору оптимальних заходів з ремонту і утримання автомобільних доріг. Проблемам управління станом дорожнього одягу висвітлені у роботах вітчизняних вчених: Сіденка В.М. та Міховіча С.І. [85], Філіппова В.В., Прусенка Є.Д., Жданюка В.К., Смірнової Н.В. [97], Гамеляка І.П. [33], Павлюка Д.А. [67], Кизими С.С. [48, 49, 50], Шпиг А.Ю.[103], зарубіжних вчених: Абази К. [106], Васільєва А.П. [18], Даніельсона У., Золотаря І.А. [32], Паркмана С. та Робертсона Н. [131], Кералі Г. [127], Робінсона Р., Сільянова В.В. [89], Снейса М. [135], Фва Т. [116] та інших. В них сформульовані теоретичні основи планування ремонту та утримання автомобільних доріг.

Найбільш наближеним до проблеми, що розглядається в дисертації, є дослідження, виконані авторами роботи [97]. В цій роботі викладені результати досліджень впливу різних стратегій фінансування капітальних і поточних середніх ремонтів з урахуванням потреби у виконанні відкладених ремонтів дорожнього одягу.

Важливо відмітити, що автори [97] виділили такі три перспективні напрями досліджень, розвиток яких обумовлює успішне розв’язання проблеми поступового виконання раніш відкладених ремонтів:

– теоретичні основи динаміки відкладених ремонтів в залежності від стратегії фінансування робіт;

– принципи моделювання зміни в часі експлуатаційних станів доріг та зменшення об’ємів відкладених ремонтів;

– оптимізацію стратегій фінансування для усунення відкладених ремонтів та повернення дорожньої мережі в нормативний стан.

Як справедливо відмічають автори [97], проблема оптимальної за певними критеріями ліквідації відкладених ремонтів ще не знайшла достатнього теоретичного обґрунтування. Застосований ними підхід спирається на такі основні передумови.

За період Т недостатнього фінансування при нормативному строку служби дорожнього одягу $T_{кр}$ довжина доріг $L_{кр,T}$, що потребують капітального ремонту, визначається за формулою [97]:

$$L_{кр,T} = \frac{L}{T_{кр}} + T \cdot \frac{L}{T_{кр}} \cdot (1 - f), \tag{1.1}$$

де f - частка фактичного фінансування.

Період експлуатації $T_{сд,к}$, при якому вся протяжність доріг перейде в критичний стан за критерієм потреби в капітальному ремонті, визначається за формулою:

$$T_{сд,к} = \frac{T_{кр}}{1 - f}. \tag{1.2}$$

З (1.2) слідує, що період експлуатації буде збільшуватись при наближенні f до одиниці. При своєчасному фінансуванні критичний стан дорожнього одягу ніколи не буде досягнутий ($f = 1$).

За аналогічними закономірностями зростають і поточні середні відкладені ремонти [97].

Важливо зауважити, що несвоєчасно виконані ремонти, крім того, що вони значно зменшують строки служби дорожнього одягу $T_{кр}$, призводять до суттєвого зростання вартості робіт з ремонту не відремонтованих своєчасно ділянок доріг (до 12 – 140%), що при обмежених фінансових ресурсах обумовлює зменшення величини f і прискорює темп наближення доріг до

критичного стану [97]. Несвоєчасно виконані ремонти призводять до суттєвого зростання транспортних витрат та зростання кількості ДТП.

В статті [97] стан дорожнього одягу оцінюється індексом експлуатаційного стану j за десятибальною шкалою, причому більше його значення відповідає кращому стану. Зменшення індексів експлуатаційного стану спричиняє підвищення вартості ремонтів, а також зростання транспортних витрат. Залежність індексу експлуатаційного стану j_t в час t знаходиться за формулою:

$$j_t = j_n - j_к \cdot (e^{c \cdot y} - 1), \tag{1.3}$$

де j_n і $j_к$ – відповідно початковий і кінцевий індекси стану;

c – параметр зростання в часі явищ втоми дорожньої конструкції та накопичення пошкоджень і руйнувань дорожнього одягу від попереднього ремонту (або від будівництва чи реконструкції) до наступного ремонту;

y – час від попереднього ремонту;

e – основа натурального логарифму.

Для визначення параметру c необхідно мати історичні дані про початковий і кінцевий індекси стану і про час від попереднього ремонту, однак на сьогодні така інформація систематично не збирається.

Запропонований індекс експлуатаційного стану відповідає практиці оцінки стану дорожнього одягу, яка прийнята в багатьох країнах світу, особливо у США, [132, 70, 107, 122]. На рис. 1.1 наведено широко відомий типовий графік життєвого циклу дорожнього одягу, який дає змогу порівняти витрати в залежності від індексу стану дорожнього одягу.

Приведення стану дорожніх одягів автомобільних доріг не може бути здійснено одномоментно – за один рік, тому що потребує, при сучасному стані, величезної кількості фінансових, трудових і матеріально-технічних ресурсів. Реалізація державної політики у сфері забезпечення населення і територій

країни необхідною для соціально-економічного розвитку сучасною мережею автомобільних доріг та її високого якісного стану являє собою складну комплексну проблему, яка повинна вирішуватись шляхом розробки і реалізації державних цільових програм, розрахованим на довготривалий період.

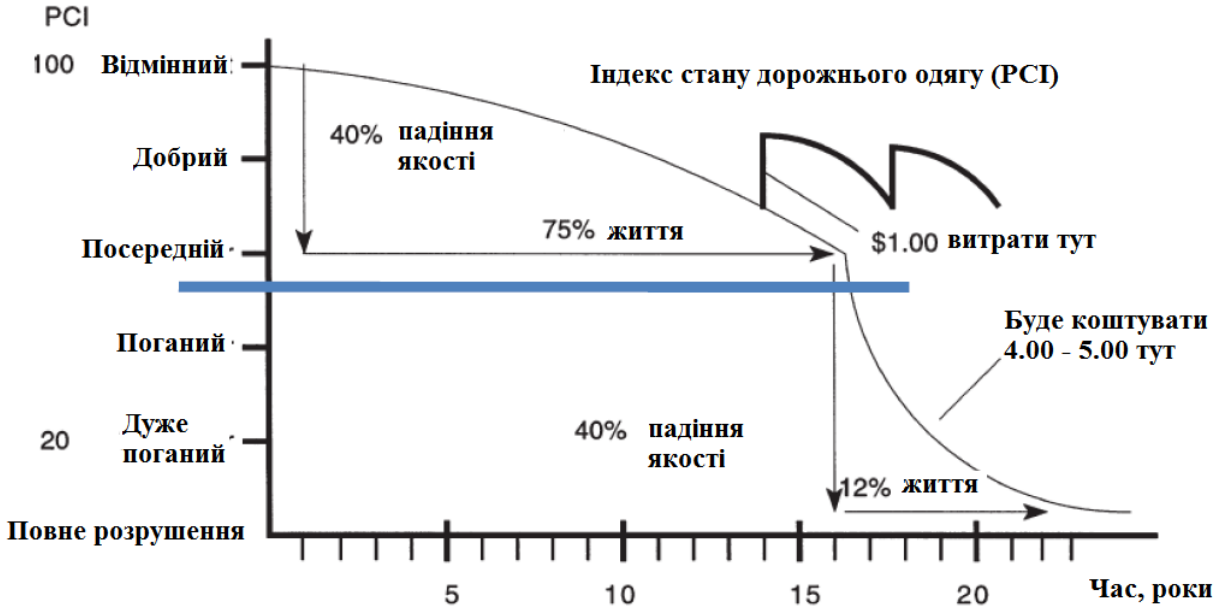


Рисунок 1.1 – Типовий життєвий цикл дорожнього одягу [122]

Згідно статті 1 Закону України Про державні цільові програми [2], державна цільова програма - це комплекс взаємопов'язаних завдань і заходів, які спрямовані на розв'язання найважливіших проблем розвитку держави, окремих галузей економіки або адміністративно-територіальних одиниць, здійснюються з використанням коштів Державного бюджету України та узгоджені за строками виконання, складом виконавців, ресурсним забезпеченням.

Державні цільові програми поділяються на:

загальнодержавні програми економічного, науково-технічного, соціального, національно-культурного розвитку, охорони довкілля (далі - загальнодержавні програми) - це програми, які охоплюють всю територію держави або значну кількість її регіонів, мають довгостроковий період

виконання і здійснюються центральними та місцевими органами виконавчої влади;

інші програми, метою яких є розв'язання окремих проблем розвитку економіки і суспільства, а також проблем розвитку окремих галузей економіки та адміністративно-територіальних одиниць, що потребують державної підтримки.

Натепер, перш за все, потрібна розробка державної цільової програми відновлення стану мережі автомобільних доріг до рівня нормативних вимог з метою повного усунення наслідків відкладених капітальних і поточних середніх ремонтів. Досягнення цієї мети потребує оптимізації років і методів виконання ремонтів, які відрізняються конструктивними параметрами та матеріалами шарів підсилення або вирівнювання.

Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновок, що сьогодні ще недостатньо уваги приділяється розробці науково обґрунтованих моделей і методів пошуку стратегій оптимального усунення відкладених ремонтів шляхом обґрунтування оптимальної їх послідовності і методів виконання, тобто управлінню станом дорожнього одягу.

1.2 Управління проектами та програми як методологічна основа управління відновленням стану автомобільних доріг.

Найбільш доцільно розглядати процес управління відновленням стану дорожнього одягу автомобільних доріг з позицій теорії і кращих практик управління проектами та програмами.

В основі становлення наукових методів управління проектами та програмами лежать методи сіткового планування, розроблені наприкінці 50-х років XX ст. у США. Були запропоновані метод критичного шляху (CPM) і метод аналізу і оцінки програм – PERT [138].

На даний час опубліковано багато робіт в області управління проектами та програмами, в яких викладені сучасні теорії, методи та технології проектного управління, наприклад, [20, 59, 61].

Наукові дослідження та кращі практики управління проектами та програмами відображені у ряді стандартів. Стандарти у сфері управління проектами та програмами розробляються як органами стандартизації на міжнародному та національному рівнях, так і професійними організаціями в галузі управління проектами:

- ISO 21500:2012 (International Standard Organization) - перший міжнародний стандарт з проектного менеджменту [68];
- Керівництво з управління проектами PMBoK (A Guide to the Project Management Body of Knowledge) [79, 105], розроблений PMI (Project Management Institute) - Інститутом управління проектами США, що веде активне розроблення стандартів у сфері управління проектами [79, 105];
- PRINCE2 (Projects in controlled environments) - містить у собі підходи до менеджменту, контролю та організації проектів [113];
- P2M (A Guidebook of Project and Program Management for Enterprise Innovation) - японський національний стандарт з управління проектами та програмами, що базується на поліпшення організації в результаті виконання проектів [47];
- Стандарт для управління програмами, розроблений PMI – описує документовану множину процесів, які репрезентують загальновизнані кращі практики у сфері програмного менеджменту [137];
- IPMA (International Project Management Association) - міжнародна асоціація проектного менеджменту, є авторитетною професійною організацією в галузі управління проектами. Україна в IPMA представлена Національною асоціацією управління проектами УКРНЕТ [124]

Існує декілька визначень поняття проекту. Згідно ISO 21500:2012, *проект* - це унікальна множина процесів, яка включає скоординовані і керовані завдання з датами початку і завершення, вжиті для досягнення мети. Кожен

проект унікальний, так як відмінності можуть виникнути в результатах, що досягаються проектом; у впливі на проект причетних осіб (стейкхолдерів); у використаних ресурсах; в способах адаптації для досягнення результатів. У кожного проекту є встановлені початок і завершення. Звичайно проект реалізується через ряд фаз.

Визначення проекту в ISO 21500:2012 відрізняється від PMBOK [79, с. 5] тим, що ISO 21500:2012 не декларує унікальності процесів. Тільки їх множина (набір) повинна бути унікальною [118, с. 2].

Управління проектами - це застосування знань, навичок, інструментів і методів до робіт проекту для задоволення вимог, що пред'являються до проекту. Управління проектами виконується за допомогою застосування та інтеграції логічно згрупованих 47 процесів управління проектами, об'єднаних в 5 груп процесів. Ці 5 груп процесів наступні: ініціація; планування; виконання; моніторинг і управління; завершення [105, с. 5].

Програма - це ряд пов'язаних один з одним проектів, управління якими координується для досягнення переваг і ступеня керованості, недоступних при управлінні ними окремо. Програми можуть містити елементи робіт, що мають до них відношення, але лежать за межами змісту окремих проектів програми. Проект може бути чи не бути частиною програми, але програма завжди містить проекти [79, с. 9].

Програми і проекти загалом дуже важко відокремити один від одного. В основі програми завжди лежить декілька проектних кластерів, програма впроваджується як серія проектів. Стратегія, у свою чергу, є низкою взаємозв'язаних програм. Тому методологія управління, яка застосовується до розробки та реалізації проектів, програм, стратегій, певним чином перекликається [96].

Програми та управління програмами охоплюють широкий спектр підприємств, наприклад [104, с. 3]:

- розвиток або розширення великої транспортної системи, такі, як метро або міської магістралі;

- провадження системи планування ресурсів підприємства і підтримка політики, процесів та процедур;
- місія НАСА на Марс;
- організаційні зміни для реалізації нової корпоративної стратегії;
- відповідь на кризу тощо.

В стандарті [104, с. 3] дана типізація програм, наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Типи програм за [104, с. 4]

Характеристи-ка програм	**Стратегічна програма**	**Операційна програма**	**Мульти-проектна програма**	**Мега-проект**
Загальна ціль	Забезпечення активів і переваг, які безпосередньо пов'язані з досягненням бажаного майбутнього стану системи, керованої організацією-спонсора програми	Забезпечення активів і переваг, які мають вирішальне значення для організації-спонсора програми	Домогтися синергії від проектів із загальними рисами, такі як загальні ресурси, аналогічні клієнти, або продукт і технологія	Забезпечити специфічні активи організатора програми
Ключова особливість	Зв'язок зі специфічною бізнес-ціллю або стратегічною альтернати-вою	Відносна незалежність проектів програми	Відносна незалежність проектів програми	Значно більші від звичайних проектів
Причина для групування проектів	Початкові результати впливають на рішення відносно пізніших проектів	Мінімізувати негативний вплив на поточні операції	Очікувані переваги від синергії	Набагато більші від звичайних проектів організатора програми

Деякі ключові характеристики програми часто значно різняться [104, с. 4], а саме:

- органами керівництва програми, які вирішують запустити або припинити проекти;
- ступенем інтеграції з організацією-спонсором;
- тим, як організація-спонсор буде оцінювати ефективність керівників програми;
- кількістю проектів;
- взаємозалежністю проектів;
- подібністю технічних дисциплін
- тим, як програма запускається та критеріями її припинення.

Стандарт PMI для управління програмами [137] забезпечує керівництво для управління програмами в організації. Він визначає управління програмою і зв’язані з нею концепції, описує життєвий цикл програмного менеджменту і окреслює відповідні процеси, а також взаємний зв'язок портфелів, програм і проектів (рис. 1.2).

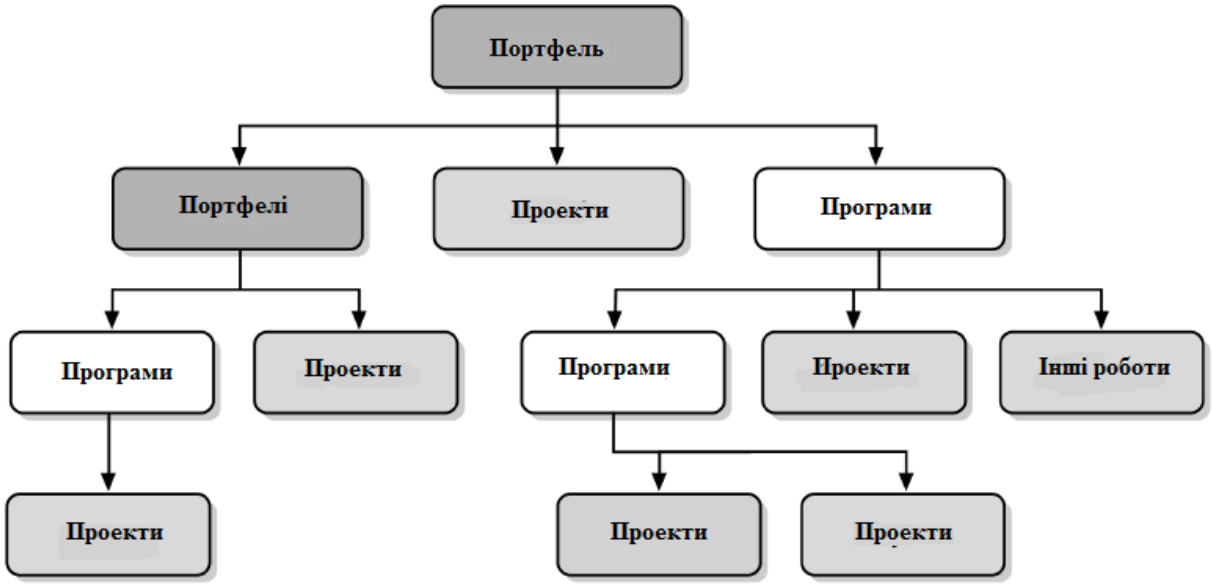


Рисунок 1.2 – Взаємний зв'язок портфелів, програм і проектів [137, с. 6]

На протязі життєвого циклу програми менеджери програми здійснюють нагляд і забезпечують напрям і керівну лінію проектним менеджерам. Менеджери програми координують зусилля між проектами програми, проте не керують проектами безпосередньо. Головна відповідальність програмних менеджерів лежить у площині ідентифікації, раціоналізації, моніторингу і управління залежностями проектів, розв'язанні проблем між проектами, які складають програму, фіксації вкладу кожного проекту та непроектних робіт у консолідовані вигоди від реалізації програми [137, с. 7]. Взаємозв'язок між портфелями, програмами і проектами з точки зору організаційного планування, згідно [137, с. 9], включає три рівні (рис. 1.3).

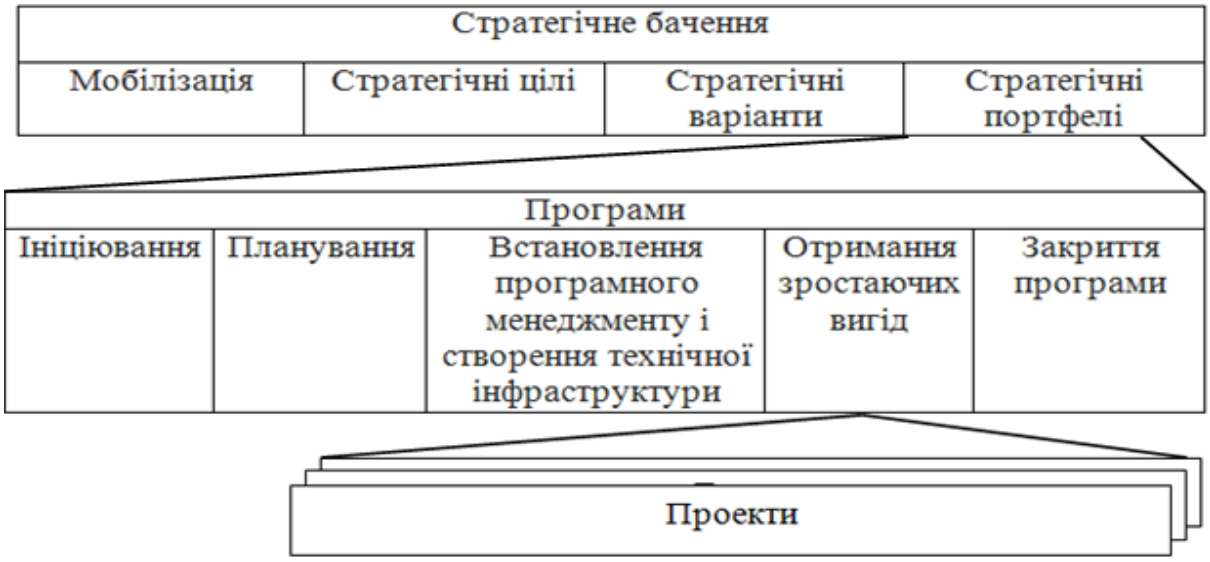


Рисунок 1.3 – Взаємний зв'язок портфелів, програм і проектів [137, с. 9]

Стандарт [137, с. 18] визначає п'ять фаз життєвого циклу програми (рис. 1.4). Тип програми впливає на їх життєвий цикл, однак головні фази життєвого циклу – подібні. Ключові відмінності між програмним і проектним життєвими циклами є:

- програми мають більш тривалий життєвий цикл: коли деякі проекти переходять в операційну сферу, інші тільки починають ініціюватись;

- проекти генерують дискретну поставку продукції після закінчення їх життєвого циклу, і вигода від них послідовно впливає на сумарну вигоду програми;
- можливості, забезпечувані проектами програми інтегруються в порядку забезпечення деякими або всіма проектами програмної вигоди.

Рисунок 1.4 – Фази життєвого циклу програми [137, с. 18]

Опис особливостей управління програмами наведено в японському керівництві з управління проектами та програмами P2M [47]:

– управління програмою - це основа управління реалізацією стратегії організацій, що використовує їх організаційні ресурси і компетенції для залучення ключових інвестицій капіталу, реалізації нових ініціатив розвитку і збільшення доданої вартості (цінності) організації або її підрозділу, з метою гнучкого реагування на зміни в оточенні;

– управління програмою зосереджується на інтеграційній діяльності для повної реалізації місії програми і об'єднання задумів проектів, що входять в програму, їх стратегій, архітектури і елементів управління при реалізації програми;

– ключовою підсистемою в управлінні програмою є управління інтеграцією проектів в рамках програми, а основою практики управління програмою - управління проектною спільнотою.

Управління програмами відрізняється від управління проектами. Підсумком проектів є результат (наприклад, відремонтовані ділянки доріг), а підсумком програми є наслідки від здійснення проектів (наприклад, приведені до нормативного експлуатаційного стану ділянки доріг, за рахунок чого знижуються транспортні витрати і покращується безпека руху).

Управління програмою визначається як централізоване, скоординоване управління групою проектів для досягнення стратегічних цілей і переваг програми. Проекти в рамках програм пов'язані за допомогою загального результату або спільних функціональних можливостей [79, с. 10].

Управління програмою включає сукупність процесів управління, які можуть виконуватися як послідовно, так і паралельно. Окремі процеси можуть виконуватися багаторазово в ході реалізації програми [69]. Послідовність процесів управління програмою визначається умовами і специфікою конкретної програми.

На рис. 1.5 показані основні поняття менеджменту програми [69].

Рисунок 1.5 – Основні поняття менеджменту програми [69]

Загальна схема розробки програм і проектів ремонтів на мережі автомобільних доріг наведена в роботі [131] (рис. 1.6).

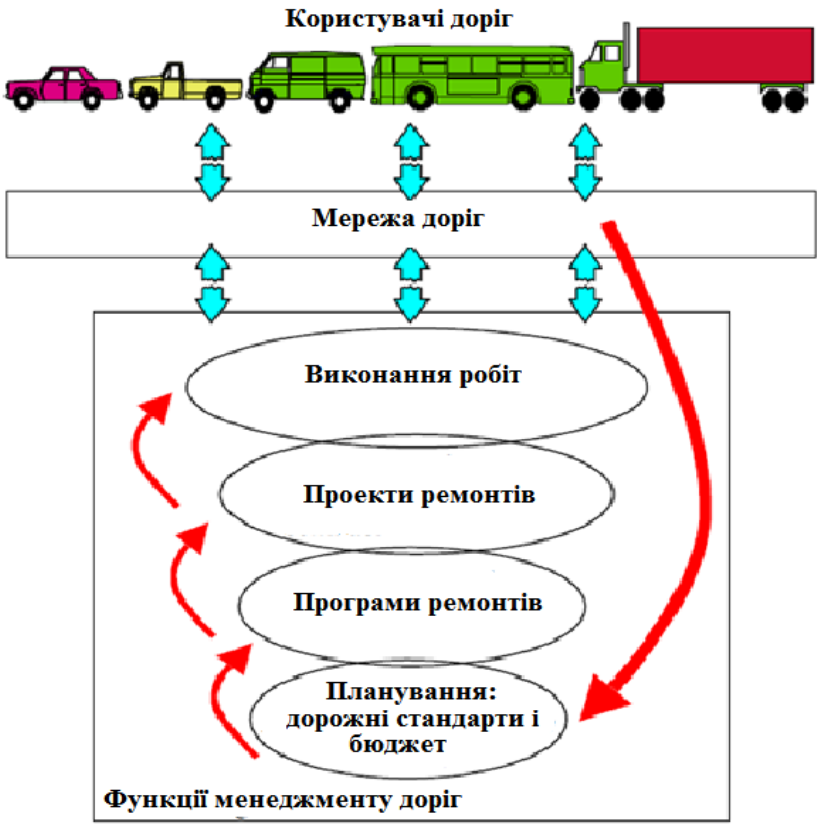


Рисунок 1.6 - Загальна схема розробки програм і проектів ремонтів автомобільних доріг [131]

Значний внесок у розвиток теоретичних основ управління проектами та програмами зробили українські вчені Білощицький А.О. [8], Бушуєв С.Д. [10, 11, 9, 12, 13], Бушуєва Н.С. [9, 16, 15, 13, 11], Гогунский В.Д. [22, 23, 21], Далека В.Х. [25, 26], Кононенко І.В. [54, 55], Кошкін К.В. [58], Медведева О.М. [62], Рак Ю.П. [31], Рач В.А. [75, 71, 72, 73, 74], Руденко С.В. [77, 22], Сидорчук О.В. [86, 87, 88], Тесля Ю.М. [93, 94, 95], Цюцюра С.В. [102], Чумаченко І.В. [83, 29], Гордєєва І.О. [24], Калінько І.В. [42], Колеснікова К.В. [53, 52], Молоканова В.М. [12], Тесленко П.А. [92], Харченко А.М. [100] та багато інших.

Були сформульовані закони проектного менеджменту [23, 53]:

- Закон С.Д. Бушуєва - закон ініціації проекту: «Команда проекту та його турбулентне оточення складають систему, в якій існуючі взаємозв'язки визначають результат проекту».
- Закон Хіроші Танаки – закон «сили мрії» (закон планування): «Планування проекту починається від результату».
- Закон В.А. Вайсмана - закон конкурентних відносин в умовах ринкових відносин: «Ринок обирає найкращих з тих, хто виявився розумнішим, сильнішим, швидкішим».
- Закон Ю.Л. Воробйова - закон контролю параметрів процесів проекту: «Очікувані вигоди і реальні втрати в проектах пропорційні рівню ризику (авантюризму)».
- Закон А.І. Рибака - закон постійного поліпшення процесів проекту: «Креативність пропозицій щодо вдосконалення проекту залежить від рівня фінансування».
- Закон К.В. Кошкіна - закон завершення проектів: «Проекти завершуються з різними результатами по відношенню до очікувань».

Перш за все, важливі загальні оцінки становлення управління проектами та програмами (УПП) та його визначення як науки. В роботі [74] показано, що наука управління проектами та програмами займає місце на стику природничих і гуманітарних наук. Областю досліджень у природничій частині УПП є властивості, закони, об’єкти матеріального світу, а в гуманітарній частині – процеси, пов’язані з життєдіяльності суспільства. Ця теза узгоджується з пропозицією нового паспорту спеціальності 05.13.22 – УПП [14].

Як стверджує автор роботи [74], наука УПП пройшла за останні три десятиріччя певний історичний шлях з поступовою зміною акценту в бік розширення своєї границі у напрямі гуманітарної компоненти (рис. 1.7).

Виходячи з факту зміни акценту, автором [74] запропоноване таке визначення УПП:

управління проектами це наука, в якій об’єктом пізнання виступає проектна діяльність суб’єктів пізнання, а результати пізнання прагнуть представити з максимально високим ступенем формалізації.

Системне управління розвивалось від управління за інструкціями (management by instructions – MBI) до управління за цілями (management by objects – MBO) і, далі, до управління на основі цінностей (management by values – MBV) – новий спосіб організаційного управління і новий спосіб розуміння і використання знань на практиці [12].

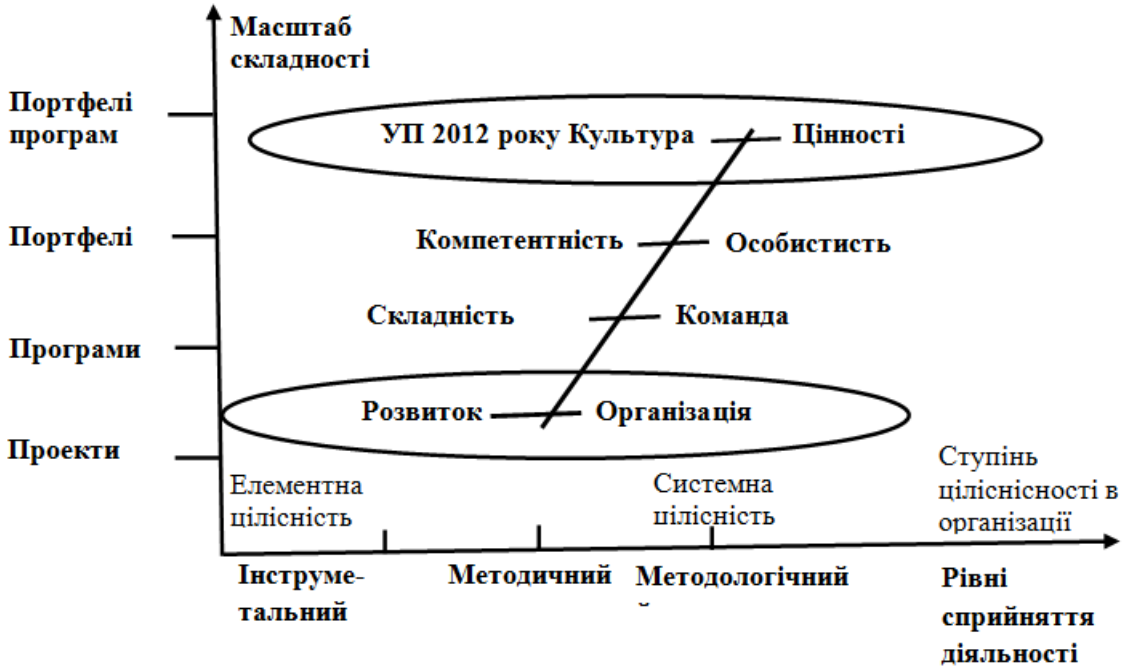


Рисунок 1.7 – Зміна акценту в тезаурусі ментального простору УПП [74]

У проектному менеджменті пропонується розглядати цінність проекту або програми у вигляді ступеню задоволення потреб ключових зацікавлених сторін [13]. Цінність визначається як комплексний показник, який включає цінність процесу та продукту і цінність організації, яка реалізує проект. «Гармонізована цінність» [76] – це цінність що розглядається в двох аспектах: гармонізації із стратегічними цілями організації і гармонізації цінностей зацікавлених сторін.

Життєвий цикл програми, разом з виконанням фаз створення продуктів програми, супроводжується процесами зміни її майбутньої цінності для зацікавлених сторін (рис. 1.8).

З системної точки зору проект розглядається як множина взаємозв'язаних елементів – система, що виникає і живе в оточенні, яке динамічно змінюється, зокрема, під впливом програми.

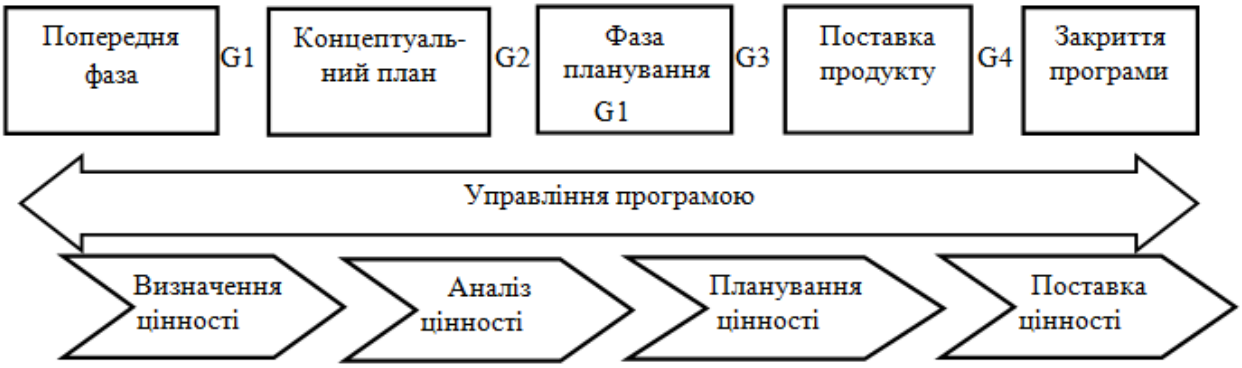


Рисунок 1.8 - Співвідношення життєвого циклу програми і ціннісного управління [12]

В результаті розвитку методології УПП в системах УПП було розроблено ряд підходів [11]:

- системний підхід забезпечує систематизований погляд на проект або програму;
- проектний підхід орієнтується на досягнення цілі – створення продукту проекту, інструменти УПП побудовані з урахуванням унікальності проекту або програми та забезпечення досягнення цілі в заданій системі координат, він вкладений в системний підхід у вигляді «матрьошки»;
- процесний підхід приводить регламентовані та уніфіковані дії менеджерів проектів до процесів, що повторюються, до набору дій з перетворення входу у вихід, він вкладений в проектний підхід;
- сценарний підхід зв'язаний з процесами підготовки і прийняття рішень в УП, він забезпечує швидке перенесення кращої практики в процеси УП і є вкладеним у процесний підхід, тобто завершує формування «матрьошки» (рис. 1.9).

Сутність використання процесного підходу в управлінні програмами розкрита в роботі [55], в якій запропонована методика управління змістом цільових комплексних програм, розглянуті процеси ініціалізації, планування, визначення, перевірки змісту і контролю за зміною змісту, а також наведені вхідні дані, методи і засоби, результати кожного процесу.

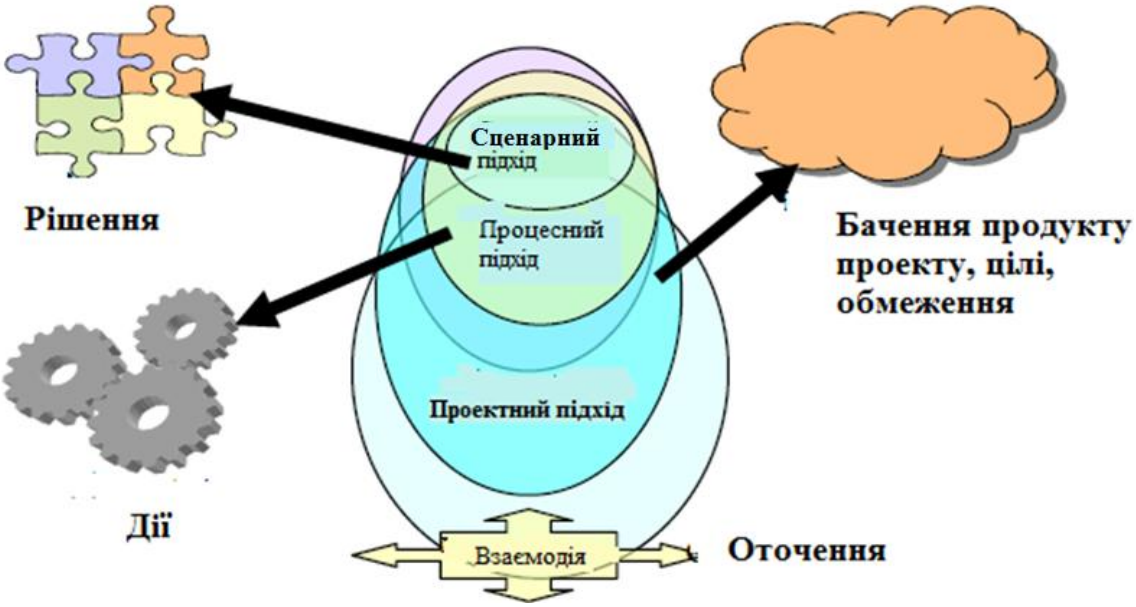


Рисунок 1.9 – Модель «матрьошка» взаємодії підходів в методології УПП [11, 59, с. 26]

Багато сучасних поглядів на УПП і відповідних досліджень наведені в роботі [59], яка узагальнює наукові дослідження, виконані в Київському національному університеті будівництва і архітектури.

Значна увага приділена матричним технологіям проактивного управління програмами організаційного розвитку, наприклад, [9, 15, 16, 17; 59, с. 227-340, 93] (проактивне управління – це управління на основі передбачення розвитку організації [59, с. 227]). В роботі [59, с. 227-340] на основі моделі системної динаміки розроблена концептуальна модель циклів управління програмами організаційного розвитку [59, с. 231-234]; методологія проактивного управління розвитком організації на основі збалансованого підходу [59, с. 235-247];

матрична технологія управління програмами організаційного розвитку [17; 59, с. 247-234]; розглянуті іноваційні механізми і іновації в управлінні проектами; запропонований генетичний підхід до іноваційної технології управління програмами розвитку організацій [59, с. 506-542]; технологія перенесення знань на основі генетичної моделі проектів; когнітивні моделі накопичення знань в УПП [59, с. 687-718].

Значний внесок у розвиток методології управління проектами, програмами і портфелями проектів і програм (УППіПП) зроблено автором роботи [65], в якій виконано аналіз методології управління проектами із застосуванням механізму конвергенції. Ним проаналізовано більше 110 методологій, методик і методів УППіПП з яких складено вибірку з 37 найбільш поширених науково обґрунтованих методологій. Зокрема, автором цієї роботи створена модель генома методологій УППіПП, як засобу зберігання і обробки повної вибірки упорядкованих знань, яка використовується для синтезу ефективних методологій на основі бенчмаркінгу та проведення аналізу кожної методології на предмет її системної повноти, внутрішніх розривів і структурно-семантичних колізій. Розроблено механізм конвергенції методологій УППіПП для створення загальних, агрегованих і спеціалізованих методологій, що задовольняють конкретним потребам бізнесу різної спрямованості, різного масштабу і різного рівня зрілості систем управління [65].

В якості інструментарію в УПП використовуються моделі системної динаміки [59, с. 227, с. 281], нечіткі множини і нечітка логіка [99, 101, 139, 140; 59, с. 227], методи теорії ігор та імітаційні моделі [59, с. 643-686], моделі Марковських процесів [53], логіко-лінгвістичні моделі [59, с. 694], когнітивні карти [59, с. 695-700] тощо.

В системі координат «обґрунтованість - область використання» відбувається зміщення границі рівня обґрунтованості моделей вліво [74] (рис. 1.10).

Слід зауважити, як показує аналіз, проблемі управління програмами присвячено значно менше досліджень в порівнянні з управлінням проектами.

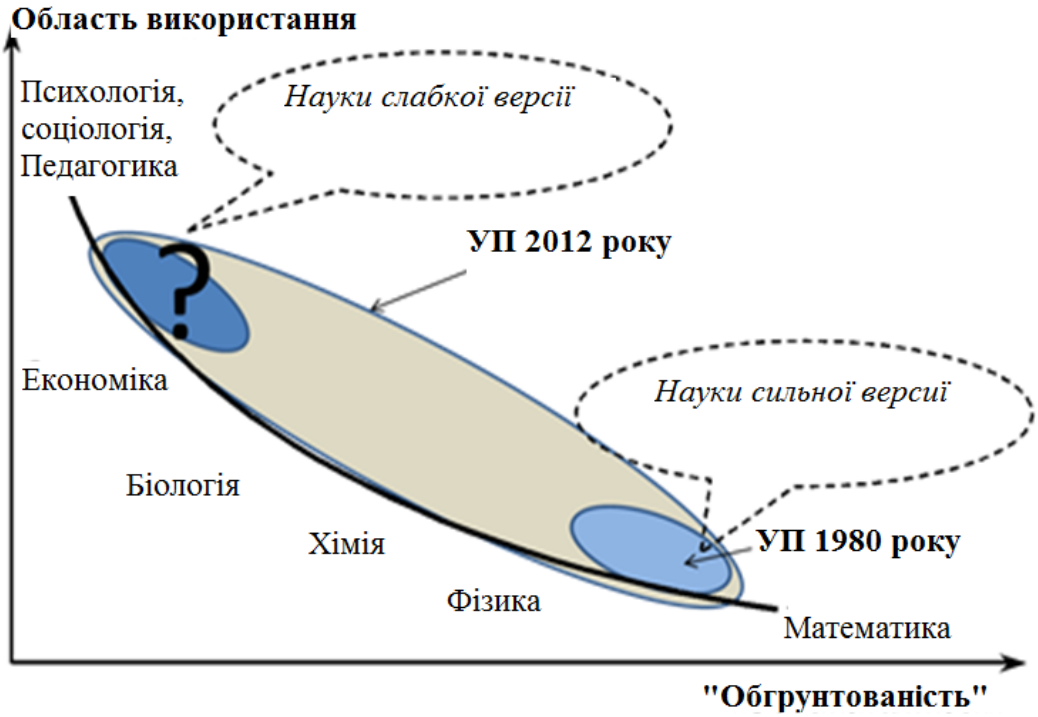


Рисунок 1.10 – Розширення діапазону отримання наукових результатів в науці УПП за останні три десятиріччя [74]

1.3 Моделі оптимізації стратегій ремонту дорожнього одягу

Важливу роль в управлінні програмами ремонтів дорожнього одягу у фазах ініціювання, планування і коригування програм мають моделі і методи оптимізації стратегій ремонту.

Формування науково-практичної підсистеми управління дорожнім господарством України розпочато працівниками НТУ у 2000 році, коли на замовлення Укравтодору була створена перша вітчизняна модель планування дорожньо-ремонтних робіт - Система управління станом покриття (СУСП) [48, 49]. Головним елементом управління у цій моделі прийнято дорожній одяг, що дає змогу обґрунтувати об’єми необхідних коштів для виконання ремонтних робіт на поточний рік і на довгострокову перспективу

Найбільший розвиток і поширення системи управління станом автомобільних доріг, дорожніх одягів та їх покриттів отримали за кордоном.

Такі системи (Pavement Management System - PMS) розробляються вже більше 40 років. PMS засновані на моделях деградації автомобільних доріг. Ціллю PMS є оптимальний розподіл ресурсів в часі для кожної ділянки дороги, вибір виду і черговості їх виконання для кожної ділянки [114, 133]. В якості оцінки експлуатаційного стану використовується 100-бальний показник стану дорожнього одягу PCI (Pavement Condition Index), який можна розглядати помножений на двадцять п'ятибальний показник AASHO [70].

Розглянуті системи управління станом дорожнього одягу засновані на моделях його деградації, специфічних для різних країн: Росії [7, 6], США [70, 39, 111, 141, 114, 109], Великобританії [110], Франції [127, 108] та інших країн [28, 30, 49]. В цих системах оптимізуються стратегії ремонтів автомобільних доріг, характерні для країн-розробників.

Є два основні методи обґрунтування рішень відносно програма ремонту дорожнього покриття на рівні мережі доріг [142]:

1) метод пріоритезації, що включає рейтинг конкуруючих ділянок дорожнього одягу, які потребують ремонтну;

2) метод оптимізації, що включає оцінку всіх можливих стратегій ремонтів і вибір оптимальної стратегії для задоволення наперед визначених цілей [35].

У зв'язку зі складністю процесу прийняття рішення, з 60-х років був запропонований метод Delphi, у якому суб'єктивна оцінка базувалася на експертній оцінці [112]. Згодом розвинулись інші методи, огляд яких, зокрема, виконано авторами робіт [115, 142].

Пріоритезація по суті виконується послідовним способом, я якому пріоритети проектів визначаються на основі необхідності і терміновості потреби в ремонті. Проекти, що мають найвищий пріоритет, виконуються до вичерпання коштів. Будь-який відкладений з-за відсутності коштів проект залишається на повторну пріоритезацію разом з новими проектами.

Звичайною практикою є ранжирування проектів відновлення ділянок дорожнього покриття, що знаходяться у найгірших умовах, першими. Цей

метод не розглядає значення деградації ділянок дорожнього одягу і ефективність ремонту. Часто, це не призводить до економічно ефективного рішення.

Деякі дорожні адміністрації прийняли «обернену пріоритезацію» як стратегію для подолання проблем, що зустрічаються в стратегії «найгірші - перші». У 2002 році запропонували індекс пріоритезації (PI), як функцію індексу потреби в ремонтах (PDI) і пріоритезацію чинників для ранжирування ділянок дорожніх одягів на мережевому рівні [134].

Були застосовані штучні нейронні мережі для встановлення черговості потреби дорожніх одягів у ремонті, щоб імітувати процес прийняття рішень та застосовані нейронні мережі в поєднанні з генетичними алгоритмами для аналізу наслідків управління обслуговуванням дорожніх одягів [115, 142].

Аналітичний ієрархічний процес (AHP) (або метод аналізу ієрархій) був запроваджений Сааті для полегшення рішень користувачів у виборі найкращої альтернативи. У роботі [82] описується AHP як найбільш ефективний спосіб вибору найкращої альтернативи, що базується на парних порівняннях. Він стверджує, що AHP полегшує навантаження у випадку великої кількості альтернатив. Проте, автор підкреслює, що ідея парних порівнянь є лінією людської поведінки і це знижує довіру користувачів такими рішеннями до інтуїції експертів.

Найбільш надійним способом знаходження найкращого варіанту є порівняльна оцінка всіх можливих варіантів (альтернатив). Якщо число альтернатив велике, при пошуку найкращої зазвичай використовують методи математичного програмування [38].

На початку 1980-х років було запропоновано багато оптимізаційних методів для програмування обслуговування в PMS: лінійне програмування (ЛП) [115], динамічне програмування [51], генетичні алгоритми [117]. Більшість досліджень або максимізує стан об’єкту обслуговування і обмежує фінансування ремонту або мінімізує обслуговування і обмежує стан об’єкту обслуговування [106].

Автори [128, 115], які розробили у 1982 році PMS для штату Арізона, розраховували оптимальну стратегію обслуговування для кожної милі з 7400 миль мережі автомобільних доріг. Оптимізація системи поєднувала марковську модель прогнозування стану дорожнього одягу і модель лінійного програмування (ЛП) та використовувала в якості цільової функції функцію вартості, залежну від стратегії дорожньо-ремонтних робіт.

Застосування цілочисельного ЛП наведене в роботі [142]. Бюджетні обмеження впливають на прийняття рішень. Лінійна цілочисельна модель ЛП застосовується для оптимального вибору: цілі змінні є бінарними і можуть приймати тільки значення один (вибрано) або нуль (не вибрано).

В Україні були запропоновані моделі ЛП для оптимізації програми робіт за критерієм мінімізації дорожньо-транспортних витрат при обмеженому фінансуванні [27]. В роботах [100, 101] – за критерієм максимізації експлуатаційного стану мережі доріг, що забезпечується виконанням обмежень на всі види ресурсів. Модель може бути віднесена до моделей ЛП, отже може бути вирішена стандартним симплекс-методом, але задача має значні розміри і містить в собі елементи стохастичного і експертного лінгвістичного обґрунтування.

Динамічне програмування [51], розглядає проблеми виділення коштів у кожному періоді та вибору і плануванню дій. Модель для декількох періодів розробляється як сепарабельна нелінійна багатокрітеріальна задача про ранець, однак не може бути використана для задач великої розмірності («прокляття розмірності» по визначенню Р. Беллмана).

В роботі [141] представлено модель оцінки економічної ефективності стратегій на основі цілочисельного програмування на базі підходу «з року в рік» з обмеженнями бюджетних коштів та необхідного рівня обслуговування дорожнього одягу. Мета оптимізації системи полягає в тому, щоб вибрати найбільш ефективні проекти дорожньо-ремонтних робіт для кожного планового року.

Окрім цих моделей, для багатокритеріальної оптимізації програм ремонтів були запропоновані: цільове програмування, метод зважених сум, нечіткі множини, генетичні алгоритми, генетичні алгоритми + компромісне програмування, генетичні алгоритми + ε-обмеження [142].

Основна ідея методу зважених сум є поєднання різних цільових функцій в одній цільової функції шляхом присвоєння позитивної ваги для кожної з цільових функцій, і параметрично варійованих ваг для створення безлічі оптимальних за Парето рішень, як вперше була запропоновано Заде [139].

Вибір типу цілі програмування – специфічна проблема: особи, що приймають рішення. Вважають, що цілі, які будуть оптимізовані, мають порівняні значення, в той час як в інших випадках вважається, що одна або кілька цілей переважають над іншими в значній мірі, тому цілі не будуть розглядатися [125].

Метод ε-обмеження відноситься до багатоцільової задачі за допомогою скалярного підходу: оптимізація однієї довільно обраної мети в процесі перетворення всіх інших цілей в обмеження з зазначеними границями. Таким чином, цей підхід може зменшити труднощі, з якими стикається метод зважених сум у вирішенні проблем, що мають не опуклі рішення. Підходи до застосування методу ε-обмеження запропоновані у роботах [115].

Значна увага дослідників приділена застосуванню в оптимізації програм управління станом доріг генетичних алгоритмів (ГА) [126, 116, 136]. На сьогоднішній день генетичні алгоритми довели свою ефективність при вирішенні багатьох складних задач, де математичні моделі мають складну структуру, а застосування стандартних градієнтних методів, динамічного або лінійного програмування вкрай утруднено або неможливе.

Практичне використання розглянутих моделей можливе лише при включенні їх в комп’ютерне програмне забезпечення PMS або СУСП. В СУСП оптимізація стратегій ремонтів дорожнього одягу реалізована для випадку, коли здійснено капітальний ремонт і прогнозуються поточні середні ремонти на період рівний нормативному міжремонтному строку для капітальних ремонтів.

При цьому, розглядається незначна кількість можливих стратегій виконання поточних середніх ремонтів (більш або менш потужних) або двохстадійний капітальний ремонт при наявності або відсутності проміжних поточних середніх ремонтів.

Ефективність кожної стратегії оцінюється коефіцієнтом «вигоди/витрати», при чому «вигоди» - це різниця транспортних витрат між *i*-м варіантом стратегії і так званою *0*-ю стратегією, при якій виконуються поточний дрібний ремонт та утримання дорожнього одягу.

В дійсності ж початок реалізації програми ремонтів дорожнього одягу на певних ділянках не обов’язково починається з виконання капітального ремонту, коли стають відомими його експлуатаційні параметри. В СУСП не розглядається ситуація, коли капітальний ремонт потрібно виконати, так би мовити, у середині періоду виконання програми, тому не повністю відомі його визначальні параметри. Ця проблема також потребує свого вирішення.

Як показує виконаний аналіз вітчизняних наукових джерел проблемі відновлення стану дорожнього одягу шляхом розробки моделей управління довгостроковими програмами ремонтів дорожнього одягу приділена недостатня увага. В дослідженнях з управління проектами та програмами ще недостатньо наукових розробок з управління програмами експлуатації інфраструктурних об’єктів.

Висновки по розділу 1

Аналіз моделей управління програмами ремонтів дорожнього одягу і теоретичних засад програмного управління дозволяє зробити наступні висновки.

1. Гострий дефіцит фінансових ресурсів обумовлює збільшення протяжності доріг з відкладеними ремонтами дорожнього одягу, отже обґрунтування програми ремонтів дорожніх одягів за допомогою математичних методів оптимізації є актуальним науковим завданням.

2. Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновок, що сьогодні ще недостатньо уваги приділяється розробці науково обґрунтованих моделей і методів пошуку стратегій оптимального усунення відкладених ремонтів шляхом обґрунтування оптимальної їх послідовності і методів виконання, тобто управлінню станом дорожнього одягу.

3. Проблема управління станом дорожніх одягів повинна розглядатись через призму методології управління програмами їх ремонтів, що забезпечує більш ефективне використання ресурсів. Проте, наукові дослідження з управління проектами та програмами ще не знайшли необхідного розвитку в дорожньому господарстві. Це обумовлює необхідність удосконалення методології програмного управління за цінностями в процесі відновлення стану дорожнього одягу.

4. В світі вже багато років розробляються та ефективно використовуються системи управління станом дорожнього одягу автомобільних доріг. Досвід експлуатації цих систем підтверджує їх високу економічну ефективність. Для оптимізації стратегій ремонту дорожнього одягу широко застосовуються різноманітні математичні методи і моделі, серед яких перспективним вважається метод еволюційного моделювання, а саме, генетичні алгоритми.

5. В Систему управління станом дорожніх одягів та Інформаційну аналітичну систему управління дорожнім господарством Укравтодору необхідно добавити модуль управління програмами ремонтів дорожнього одягу, в основу якого повинна бути покладена математична модель оптимального розподілу фінансових ресурсів на мережевому рівні та удосконалена модель прогнозування стану дорожнього одягу.

2 МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМОЮ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

2.1 Концептуальні передумови розробки моделі управління програмою ремонтів дорожнього одягу

Згідно з Положенням про Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор) [3] одним з основних завдань Укравтодору є реалізація державної політики у сфері дорожнього господарства та здійснення державного управління автомобільними дорогами загального користування.

Укравтодор, відповідно до покладених на нього завдань, зокрема:

- забезпечує організацію будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг за встановленими для них державними стандартами і нормами;
- розробляє державну стратегію та програму розвитку дорожнього господарства, забезпечує їх фінансування та виконання.

Завдання Укравтодору у частині ремонту та утримання автомобільних доріг трактується, як необхідність організувати підтримку транспортно-експлуатаційного стану доріг *на нормативному рівні*. Для цього Укравтодор розробляє, зокрема, програму відновлення стану дорожнього одягу, результатом виконання якої за задану кількість років буде забезпечення нормативного стану покриття мережі доріг.

Якщо розглянути діяльність Укравтодору крізь призму сучасних підходів до управління програмами [47], то вона має ряд особливостей.

1) автомобільні дороги загального користування знаходяться у державній власності, а міські дороги і вулиці – у комунальній власності міських громад;

2) продукт майбутньої програми – новий стан дорожнього покриття не продається на ринку, за виключенням платних доріг, управління якими

здійснюється на концесійних умовах, а користувачі доріг, згідно з діючим законодавством, можуть обрати або не обрати проїзд по таким дорогам;

3) дорожня адміністрація управляє станом доріг майже виключно (натепер, крім експлуатаційного утримання доріг) через створення та реалізацію окремих проектів або програм;

Отже, управління ремонтами та утриманням дорожнього одягу безпосередньо відноситься до сфери управління проектами та програмами. Проблему управління програмою відновлення стану дорожнього одягу за визначену кількість років – програму ремонтів доцільно розглянути виходячи з найбільш загальних підходів до управління, взагалі, і управління програмами, зокрема.

Управління ремонтами дорожнього одягу є складовою частиною управління станом автомобільних доріг, яке здійснюється шляхом моніторингу стану доріг, оптимального планування і реалізації заходів з ремонту та утримання автомобільних доріг.

Програма робіт з ремонту доріг являє собою сукупність проектів:

– капітальних ремонтів;
– поточних середніх ремонтів;
– поточних дрібних ремонтів та утримання доріг.

Для розв’язання проблеми управління програмою відновлення та підтримки стану мережі автомобільних доріг згідно з нормативними вимогами, з’ясування її структури, перш за все, необхідно застосувати методи системного аналізу. Основу системного аналізу складають процедури прийняття рішень з урахуванням взаємозв’язку предметів і явищ, які розглядаються як система. Отже, при прийнятті рішення центральним питанням є визначення системи, в межах якої потрібно здійснювати системний аналіз [98].

Загальним правилом визначення системи є включення в її межі тих явищ, процесів і предметів, для яких можна встановити значущі зв’язки взаємовпливу. Інші явища і предмети, для яких такі зв’язки неоглядні, залишаються за межами робочої системи. Зі збільшенням системи зростають

складнощі системного аналізу. Тому завжди при формуванні моделі системи треба використовувати принцип компромісу між складністю моделі та її точністю [98]. Саме з таких позицій потрібно розглядати умови розв'язання поставлених в дисертаційній роботі задач.

В роботах [55, 87, 88, 86] характеризуються системні засади процесу управління програмами, які можуть бути покладені в основу управління програмами ремонтів дорожнього одягу. Саме з цих позицій далі авторкою дисертації розглядаються концептуальні основи управління програмами ремонту дорожнього одягу. Стосовно державних цільових програм, до них відносяться такі передумови [87]:

- програми є технологічними (виробничими) системами, функціонування яких має початок і завершення;
- розглядаються два компоненти системи - система-продукт і система-програма;
- складовими програм є: технологічна підсистема, інфраструктура матеріального забезпечення, інфраструктура управління, продукт програми;
- системні функції складових - формування продукту програми, постачання ресурсів, управління, використання продукту програми за призначенням;
- ефективність виконання системних функцій - ефективність формування продукту, ефективність постачання, ефективність управління, ефективність використання продукту;
- показники ефективності є відображенням дій складових системи - програми;
- показники ефективності поступово переходять із прогнозованих у реальні. Показники ефективності оцінюються впродовж виконання програми з уточненням у момент отримання продукту програми;
- на етапі ініціалізації програми прогнозуються показники ефективності продукту програми - техніко-економічне обґрунтування необхідності створення продукту програми;

- ефективність віртуальної системи – продукту програми оцінюється шляхом моделювання, тобто розроблюються моделі майбутнього продукту;
- на основі моделі майбутнього продукту розробляється модель системи - програми;
- продукт програми формується на основі виконання проектів віртуальною системою - програмою;
- управління програмою (система-програма) здійснюється з використанням процесного підходу.

Формалізація цих передумов на системному рівні може бути здійснена на підґрунті системних засад, запропонованих в роботі [88]. Згідно з ними, передбачається розкриття причинно-наслідкових зв’язків у системі, що відображується:

1) характеристиками X вхідних впливів;
2) параметрами Z перетворюючої підсистеми;
3) часом T функціонування;
4) показниками Y результатів функціонування.

Розв’язується задача синтезу, представлена у загальному вигляді:

$$Y = f(X, Z, T). \tag{2.1}$$

Вектор показників Y результатів функціонування системи – програми ремонтів дорожнього одягу являють собою, перш за все, витрати на функціонування системи (витрати на здійснення програм та на здійснення перевезень) і так звані позитивні або негативні зовнішні ефекти (екстерналії), коли витрати або вигоди від здійснення програми не враховуються в її вартості в повному обсязі. При негативних (позитивних) зовнішніх ефектах діяльність дорожньої адміністрації спричиняє витрати (вигоди) інших юридичних і фізичних осіб, наприклад:

- зростання або падіння довіри до державної або місцевої влади та дорожньої адміністрації;

- покращення або погіршення впливу на екологічний стан прилеглої території;
- покращення або погіршення економічної привабливості;
- вплив на соціальний і культурний розвиток;
- тощо.

Проте, ціллю керуючого дорогами державного органу є не отримання прибутку для самого себе, а створення нової цінності для економіки і соціальної сфери держави.

Автомобільні дороги є складовою частиною більш складної (ієрархічної за структурою) автомобільно-дорожньої системи, головними елементами якої на вході є:

- параметри автомобілів, елементи доріг,
- вимоги з боку учасників руху,
- ресурси на ремонт і утримання,
- а кінцевим продуктом їх взаємодії - зручність і безпека руху, продуктивність транспортних засобів, пропускна і провізна спроможність доріг, собівартість перевезень.

Функціонування автомобільних доріг в цій системі повинне бути ефективним, тобто в максимальному ступеню сприяти головним цілям створення автомобільно-дорожньої системи.

Ефективність функціонування автомобільних доріг безпосередньо залежить від їх транспортно-експлуатаційного стану. Під транспортно-експлуатаційним станом автомобільної дороги розуміється комплекс фактичних значень параметрів і характеристик технічного рівня і експлуатаційного стану, що забезпечують її споживчі властивості або якість [90, с. 98].

Технічний рівень визначається відносно постійними параметрами дороги, які змінюються лише під час її реконструкції або, частково, капітального ремонту [90, с. 50].

Експлуатаційний стан – це ступінь відповідності змінних параметрів і характеристик дороги, інженерного обладнання, організації та умов руху, що змінюються в процесі експлуатації в результаті впливу, з одного боку, транспортних засобів, природних факторів і, з другого боку, обслуговуванням дороги дорожніми організаціями. До таких параметрів відносять міцність дорожнього одягу, зчіпні якості і рівність покриття, стан покриття і фактично використовувана ширина проїзної частини та узбіч, стан інженерного обладнання, розмітки доріг, в'їздів та переїздів тощо [90, с. 50].

Автотранспортний процес являє собою складний процес, в якому беруть участь люди, автомобілі, дорожні споруди та облаштування, і на які істотний вплив має зовнішнє середовище (рис. 2.1). Це система, яка включає, окрім окремих блоків, різні підпорядковані підсистеми, параметри і характеристики яких змінюються в часі і просторі.

Принциповою основою управління станом автомобільних доріг є здійснення комплексу дорожніх робіт, які, поліпшуючи стан доріг, забезпечують такі зовнішні ефекти - цінності:

- скорочення часу знаходження автомобілів в дорозі і відповідно зниження собівартості перевезень пасажирів та вантажів до місця їх призначення;
- економічний розвиток прилеглих територій;
- нормальний (нормативний) стан автомобільних доріг має соціальне значення, яке не може бути легко і точно виражене в грошовому еквіваленті (охорона здоров’я, освіта, культура тощо) [44].

Процес управління транспортно-експлуатаційним станом автомобільних доріг повинен забезпечувати:

- взаємодію головних елементів автомобільно-дорожньої системи - автомобілів різних марок і автомобільних доріг;
- взаємодію окремих елементів автомобільно-дорожньої системи з функціонуванням її в цілому;

Рисунок 2.1 - Головні елементи автомобільно-дорожньої системи

- управління потоком транспортних засобів в різних природно-кліматичних умовах;

- визначення транспортний-експлуатаційних характеристик доріг на етапі їх проектування з урахуванням змінних техніко-економічних умов функціонування доріг.

З позиції споживачів найбільш важливими є транспортно-експлуатаційні якості дороги, які забезпечують неперервність, оптимальну швидкість, зручність і безпеку дорожнього руху, високу пропускну спроможність, можливість пересування транспортних засобів з допустимими габаритними розмірами, осьовим навантаженням і загальною масою в будь-який час року і в будь-яких погодних умовах; високий рівень дорожнього обслуговування, задоволення екологічним та естетичним вимогам.

Ступінь відповідності дороги цим властивостям в значній мірі залежить від міцності дорожнього одягу, повздовжньої та поперечної рівності дорожнього покриття та зчіпних показників дорожнього одягу [90, с. 257-284].

Елементи дороги, її стан і властивості мають велику кількість параметрів, характеристик і показників [90, с. 97].

Параметр - це величина, що характеризує певну властивість дороги, процесу. Наприклад, ширина проїзної частини, радіус кривої в плані і т.д.

Характеристика - поняття, близьке до поняття параметра. Він означає опис характерних, відмінних якостей предмета або явища. Наприклад, шорсткість дорожнього покриття.

Показник - величина або оцінка, за якою можна порівнювати і судити про кількісні або якісні переваги предмета або явища.

Критерій - кількісний або порядковий показник, що виражає граничну міру оцінюваного параметра або характеристики при виборі прийнятного рішення. Іншими словами, це мірило оцінки або судження.

Від стану доріг безпосередньо залежать всі основні техніко-економічні показники роботи автомобільного транспорту, такі як продуктивність автомобілів, витрата палива, знос шин, витрати на обслуговування і ремонт, собівартість перевезень тощо.

Стан доріг може оцінюватися за різними показниками, різними методами і приладами. Оцінка повинна бути спрямована на врахування інтересів користувачів доріг - споживачів дорожніх послуг, За результатами оцінки призначаються і виконуються заходи по збереженню і підвищенню транспортно-експлуатаційного стану доріг, що дозволяють знизити транспортні витрати користувачів, скоротити час на поїздки та перевезення вантажів, підвищити безпеку та зручність руху [90, с. 97-111, 4].

Будь-яка оцінка може вважатися достовірною тільки тоді, коли оцінюваний показник виміряний кількісно і зіставлений з нормативним або еталонним значенням цього показника. Для оцінки стану автомобільних доріг найбільшого поширення знайшов метод комплексної оцінки транспортно-

експлуатаційного стану доріг по забезпеченості її споживчих властивостей і метод роздільної оцінки технічних параметрів і характеристик доріг шляхом порівняння їх фактичних значень з нормативними.

На ремонт та утримання дорожньої мережі витрачаються значні трудові, матеріальні, фінансові, технічні та інформаційні ресурси. Отже, все більш важливою стає проблема підвищення ефективності витрат цих ресурсів, тобто розвиток і вдосконалення мережі автомобільних доріг і окремих її підсистем [1].

У всіх випадках, одним з основних критеріїв вибору керуючого впливу на систему і прийняття керуючого рішення є економічна ефективність функціонування автомобільно-дорожньої системи.

Стан автомобільних доріг формується під впливом багато факторів, які повинні враховуватись при організації робіт з ремонту та утримання доріг (рис 2.2).

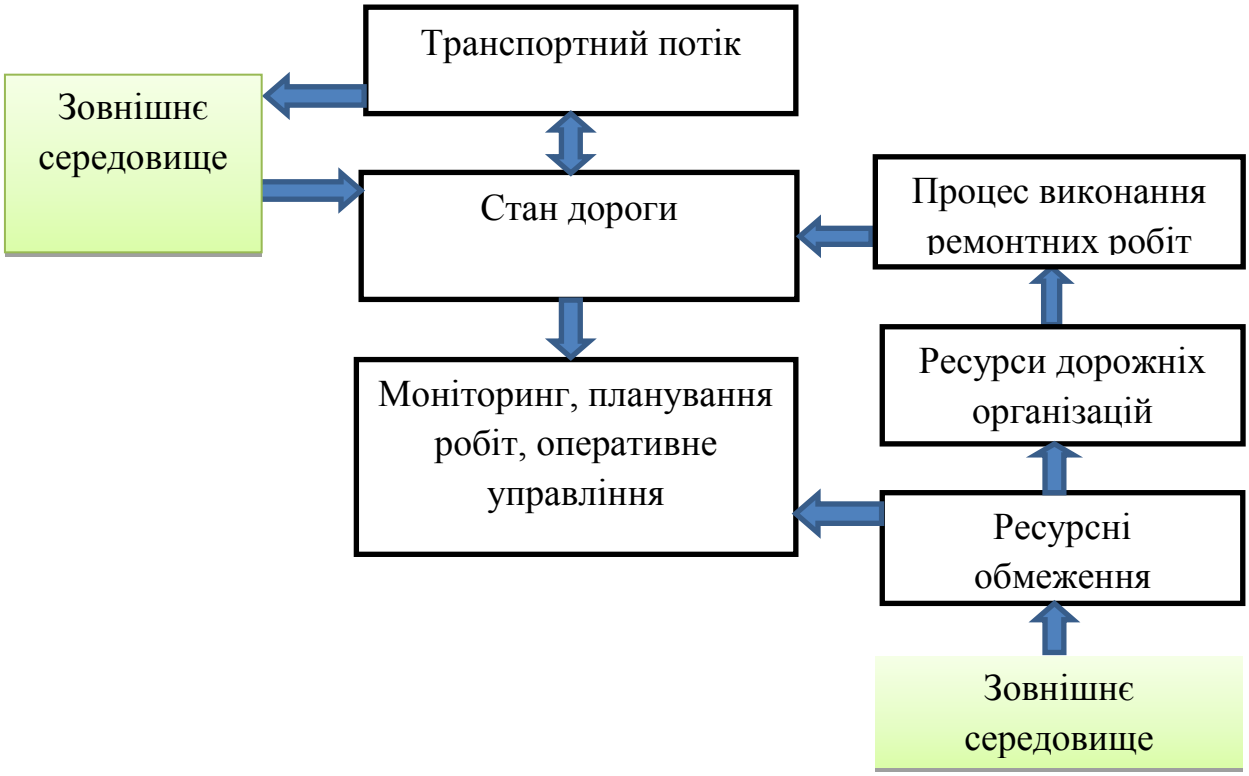


Рисунок 2.2 - Формування стану доріг

Транспортні засоби впливають на дорогу зазвичай одночасно з факторами, залежними від природно-кліматичних умов (водою, температурою, вітром, сонячною радіацією). З усього розмаїття природно-кліматичних факторів найбільший вплив на стан доріг і на умови руху автомобілів надають ґрунтово-геологічні та гідрологічні умови, рельєф і ландшафт місцевості, а також погодно-кліматичні умови або фактори.

Особливостями функціонування автомобільно-дорожньої системи є її випадковий характер і децентралізація взаємодії елементів системи; система включає численні самостійно діючі елементи, що піддаються керуючим рішенням і діям, прийнятим ізольовано один від одного. Випадковий характер функціонування системи обумовлений, зокрема, значним несприятливим впливом імовірнісних факторів клімату на дорожні умови і ймовірнісної природою формування і руху транспортних потоків.

У процесі функціонування автомобільно-дорожньої системи є широкі можливості переведення її з одного стану в інший при використанні відповідних управляючих впливів на окремі елементи (наприклад, на транспортно-експлуатаційний стан доріг, на розподіл транспортних потоків по мережі доріг, на інтенсивність і склад транспортного потоку) або одночасно на сукупність елементів системи.

Значні матеріальні та трудові витрати пов'язані в основному з найбільш відповідальною та коштовною частиною автомобільної дороги - її дорожнього одягу. Дорожній одяг у великій мірі визначає довговічність дороги, безпеку руху, економічну ефективність капіталовкладень. Стан дороги характеризується відповідністю або невідповідністю його показників нормативним вимогам.

Процеси деградації дорожнього одягу відбуваються під впливом автомобілів і природних факторів. Основними показниками стану автомобільних доріг на стадії експлуатації є рівність дорожніх покриттів, зчіпні якості автомобільних доріг та міцність дорожнього одягу [4].

Кожен елемент автомобільної дороги характеризуються багатьма параметрами, зміни яких відображують складний динамічний і стохастичний процес деградації його властивостей під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів (сил, процесів, тощо).

Таким чином, фактичний експлуатаційний стан дорожнього одягу, являє собою результат двох протилежних процесів:

- *деградації* - процесу розвитку пошкоджень дорожнього одягу;

- *відновлення* - процесу ліквідації пошкоджень шляхом виконання робіт з ремонтів та утримання дорожнього одягу.

Пошкодження – це відхилення якості, форми, фактичних розмірів, суцільності, маси елементів доріг від вимог нормативної або проектної документації, яке виникає в процесі експлуатації в результаті дії внутрішніх та зовнішніх факторів. Вони поділяються на руйнування і деформації.

Отже, для управління програмами ремонтів дорожнього одягу необхідна розробка двох моделей, структура яких наведена на рис. 2.3.

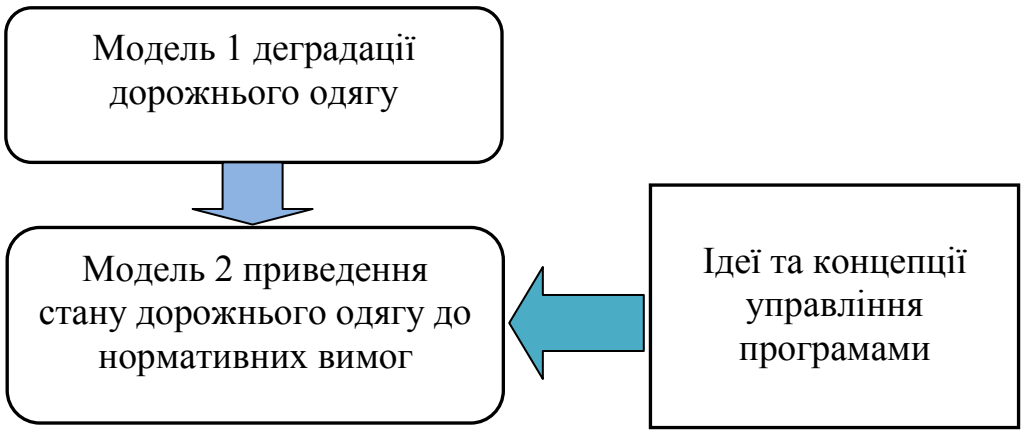


Рисунок 2.3 – Структура моделей управління відновленням стану дорожнього одягу та його приведенням до нормативних вимог

Головними параметрами, що визначають величину об’ємів ремонтних робіт, є:

1) кількісні показники наявності елементів доріг (площа покриттів дорожнього одягу) та

2) показники їх стану (міцність, рівність, зчеплення, інші пошкодження дорожнього одягу), значення яких не відповідають нормативним вимогам [4].

Ремонти дорожнього одягу і покриття планують згідно з проектно-кошторисною документацією, затвердженою у встановленому порядку. Вид ремонту, склад і об’єми робіт по кожній ділянці дороги встановлюють на підставі результатів діагностики й оцінки її фактичного стану, інженерних вишукувань, випробувань і обстежень, які зафіксовані у відомостях дефектів та інших документах [4]. Ця проектно-кошторисна документація являє собою так звані проектні матеріали, на основі яких формується управління проектами та програмами ремонтів доріг [19, с. 29].

Реальною створеною цінністю програми ремонтів доріг є задоволення потреб користувачів доріг. Якщо конкретизувати програму ремонтів, з точки зору кількісних показників, то її місія, крім іншого, полягає, при певному фіксованому рівні дорожніх витрат (бюджету), в забезпеченні мінімально можливої величини відношення протяжності ділянок доріг, які потребують капітального або поточного середнього ремонту, до загальної протяжності доріг, що забезпечує мінімізацію транспортних витрат [34].

Реалізація стратегії держави (наприклад, Укравтодором) або комунальної громади (наприклад, Київавтодором) відносно кількісного та якісного розвитку мережі автомобільних доріг найбільш ефективно повинна здійснюватись через розробку та виконання відповідних програм, серед яких програми ремонтів та утримання доріг (в тому числі ремонтів дорожнього одягу) займають чільне місце.

На рис. 2.4 наведено структуру довгострокової програми ремонтів мережі доріг, яка пропонується в даній дисертаційній роботі. Довгострокова програма поділяється на річні програми, кількість яких дорівнює кількості років виконання довгострокової програми.

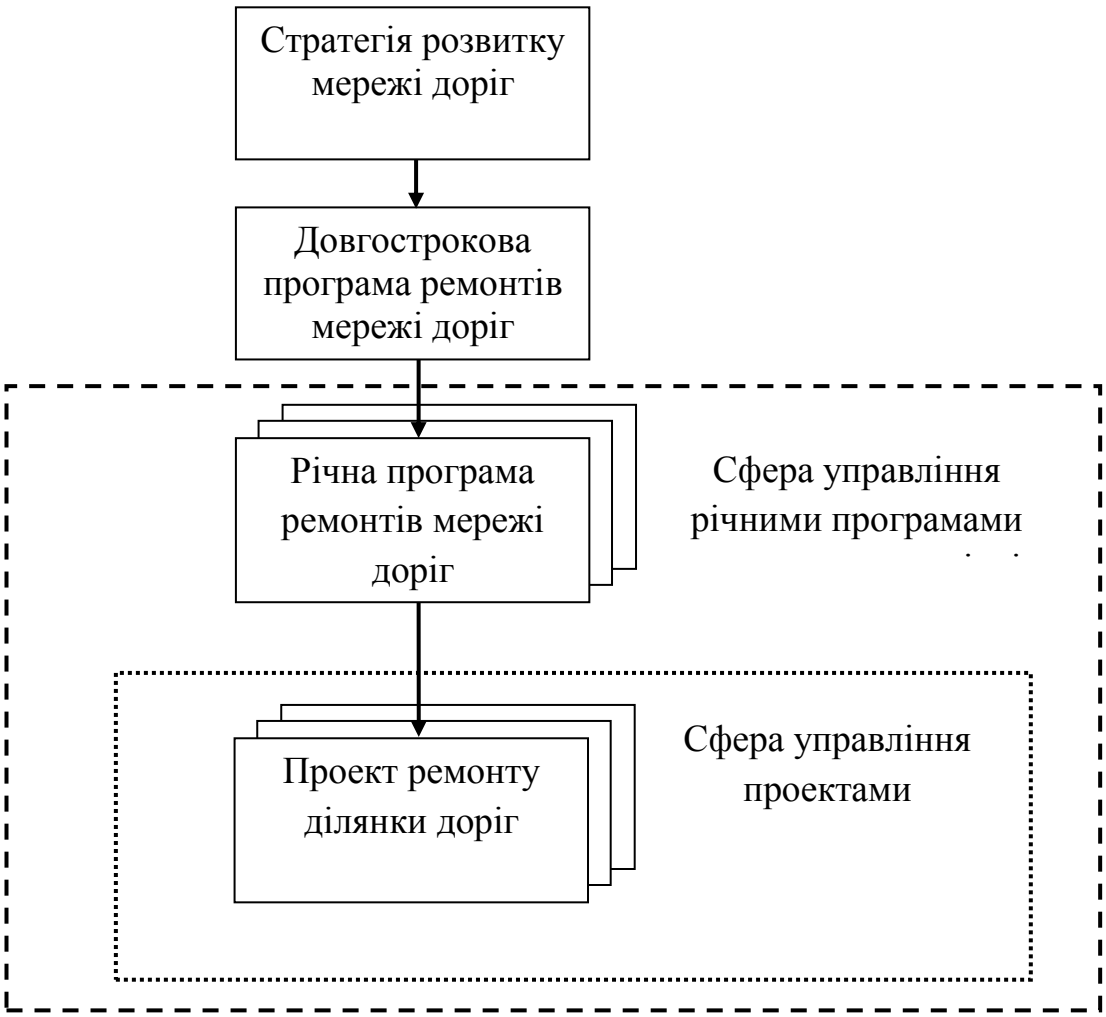


Рисунок 2.4 - Структура довгострокової програми ремонтів мережі доріг

В задачу дослідження входить формування головних параметрів довгострокової програми і річних програм – бюджетів і складу програми (переліку проектів та інших робіт), а також розрахунок основних параметрів проектів ремонтів і методів їх виконання.

Слід зауважити, що згідно [79, с. 10], якщо зв'язок між проектами полягає тільки в наявності загального клієнта, продавця, технології або ресурсу, розпочатими зусиллями слід керувати як портфелем проектів, а не програмою. Проте, в програмі відновлення стану дорожнього одягу виконання одного проекту впливає на параметри наступного проекту

На рис. 2.5 показаний один з багатьох варіантів проектів капітального і поточного середнього ремонтів і проектів експлуатаційного утримання

(останній включає поточний дрібний ремонт) дорожнього одягу. На одній і тій же ділянці дороги вони утворюють так званий ***модуль***, який складається з послідовності означених проектів. Ці проекти зв'язані не лише тільки наявністю загального клієнта (користувачів доріг), продавця (дорожньої служби), технології або ресурсу (фінансування ремонтів), а головним чином *природнім впливом один на одного*. Несвоєчасне виконання капітального ремонту впливає на параметри подальших поточних середніх ремонтів і на об'єми та порядок виконання робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційне утримання покриття дороги і навпаки.

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках (ДККП) - довгостроковий (більше одного року) договір з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг за показником рівня їх обслуговування, основою якого є комплекс заходів щодо підтримки визначеного рівня обслуговування автомобільних доріг і управління дорожньою мережею в рамках державних програм розвитку [64, с. 8].

Таким чином модуль має всі ознаки програми, а сукупність таких програмних модулів може розглядатись як програма.

Визначення:

модуль – це закономірна послідовність взаємно залежних проектів капітального, поточного середнього, поточного дрібного ремонтів, експлуатаційного утримання дорожнього одягу і його покриття на неперервній ділянці дороги з однорідними конструктивними параметрами, однаковим віком дорожнього одягу і однаковими впливами зовнішніх чинників – інтенсивності і складу дорожнього руху, природних факторів тощо, які у сукупності утворюють програму і управляються на основі теорії і методології управління програмами.

Інформаційним джерелом дослідження слугує база даних СУСП. Складові оптимізації програми ремонтів наведена на рис. 2.6. Пропонується така загальна схема алгоритму оптимізації довгострокової програми ремонтів дорожнього одягу, яка наведена на рис. 2.7.

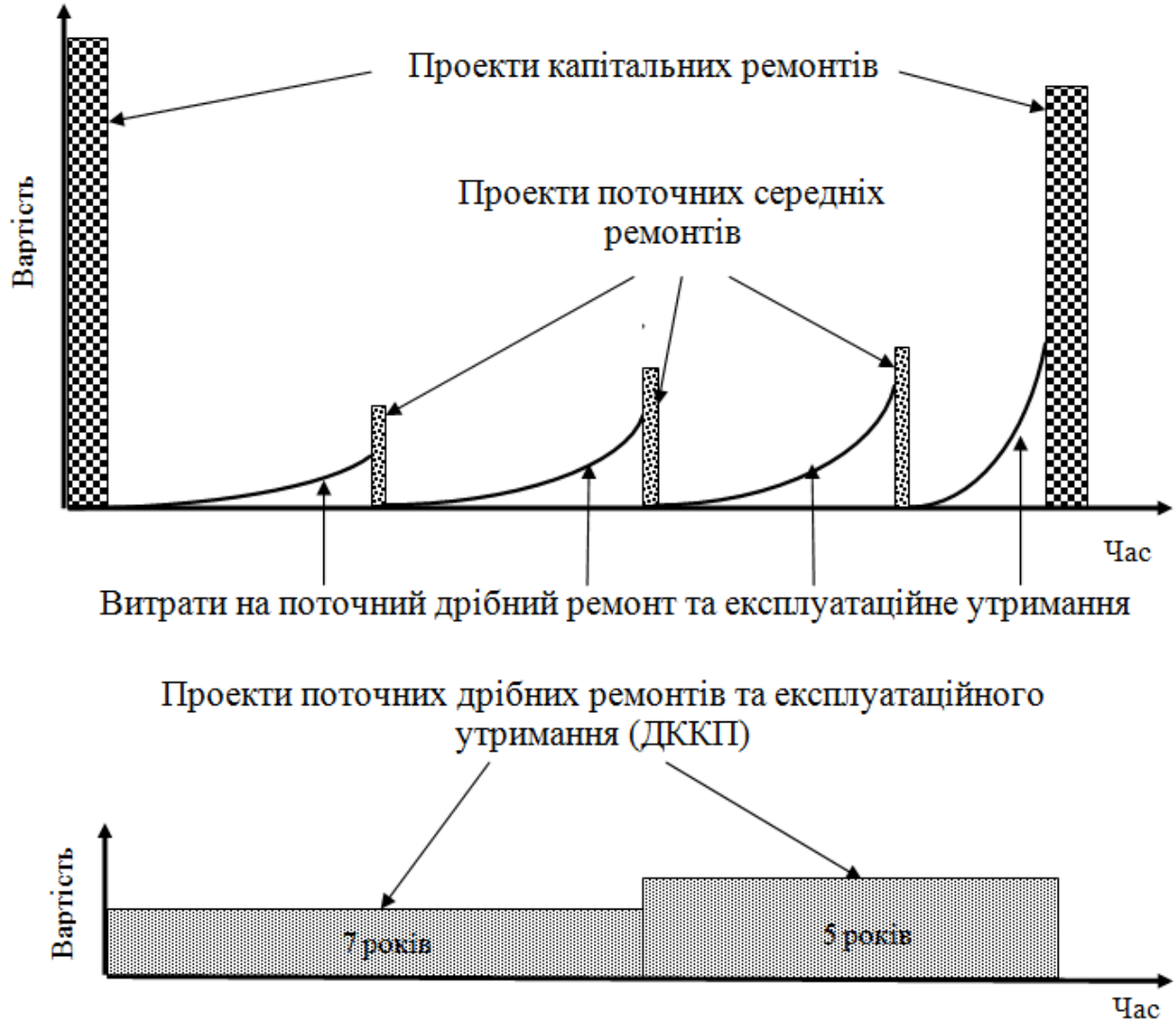


Рисунок 2.5 – Варіант профілю програмного модулю

Сутність її полягає в тому, що за допомогою розробленого за схемою дослідження моделі і алгоритму оптимізації:

- виконується ітеративний процес розрахунку поточного стану дорожнього одягу та його покриття для ділянок (модулів) доріг на початок року,
- оптимізується річна програма ремонтних робіт,
- обчислюється поточний стан дорожнього одягу та його покриття на кінець року, як інтегральна дія процесів деградації та відновлення стану.

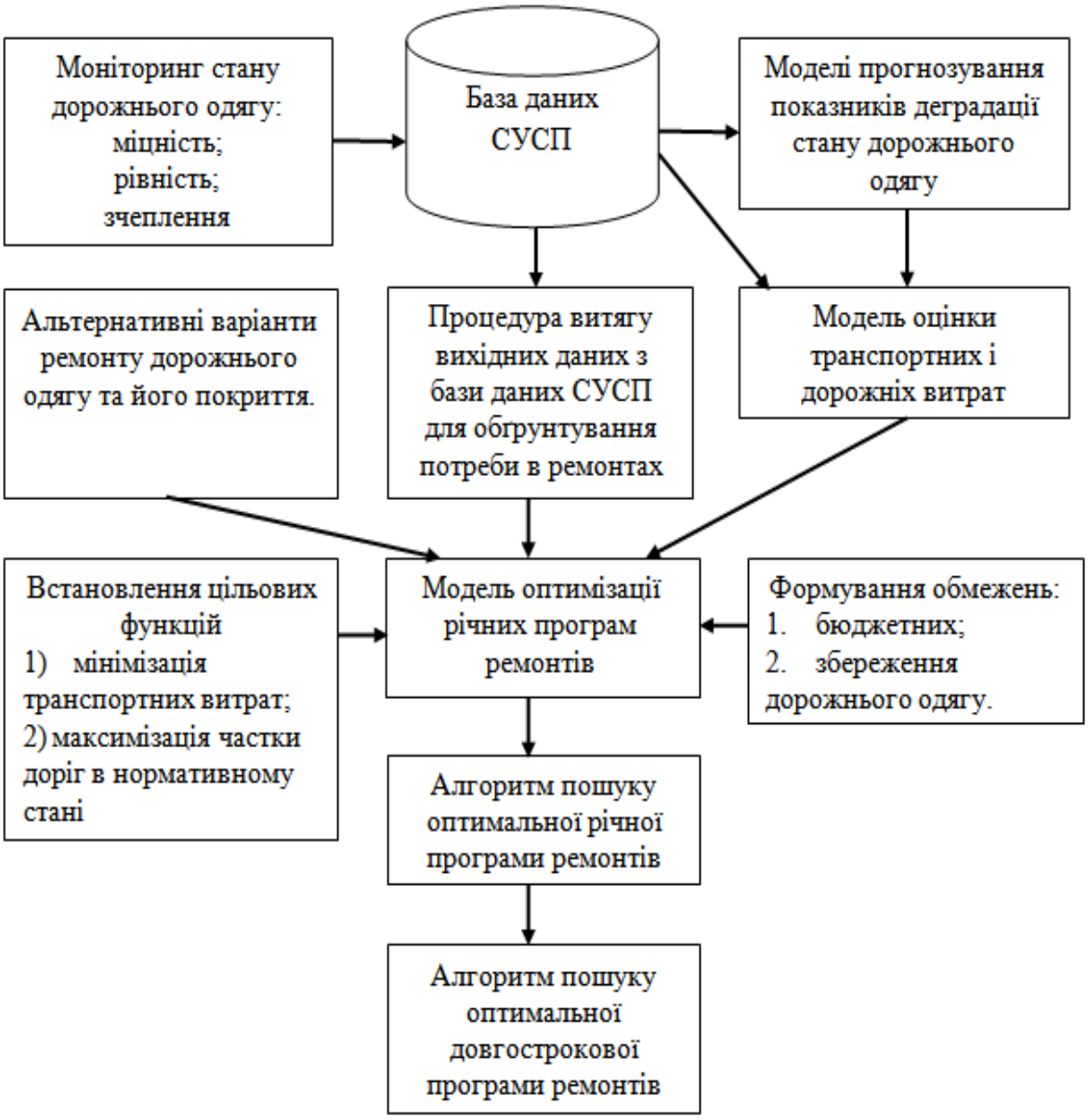


Рисунок 2.6 – Структурна схема оптимізації управління програмою

Для пошуку оптимального варіанта річної програми робіт пропонується розробка і застосування методу еволюційного моделювання, а саме генетичного алгоритму, як його окремого випадку. Генетичні алгоритми знайшли поширення в управлінні програмами підтримки стану дорожніх одягів [116, 117, 130].

На основі оптимального рішення річної програми робіт, яке включає перелік модулів, відібраних для виконання ремонтів формуються проектні матеріали – список проектів ремонтних робіт, управління реалізацією яких

здійснюється в рамках річної програми. Таким чином, управління програмою – це додаткові (зверх управління проектами) дії, ціль яких полягає у створенні цінності – поліпшення стану доріг, за рахунок чого відбувається зменшення транспортних витрат.

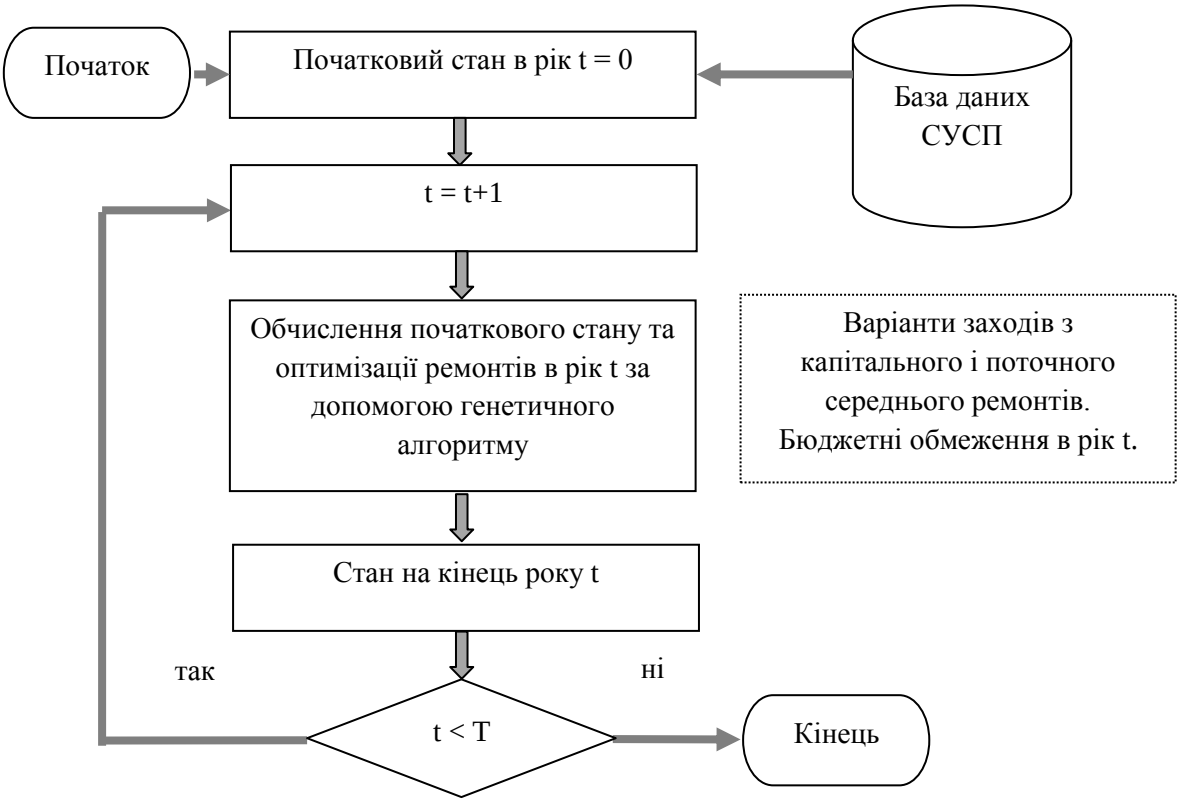


Рисунок 2.7 – Схема алгоритму оптимізації довгострокової програми ремонтів дорожнього одягу

Для виконання намічених проектів залучаються різні підрядні організації, виникає проблема координації їх роботи з управління проектами.

Кожного року здійснюється моніторинг виконання річних програм робіт, в результаті якого здійснюється корекція довгострокової програми робіт шляхом використання аналогічних розробці довгострокової програми моделей і алгоритмів із зменшенням прогнозного періоду до частини років, що залишились до завершення програми.

З метою управління програмою ремонтів дорожніх одягів у складі відповідального дорожнього органу (наприклад, у складі Укравтодору) повинна бути створена відповідна команда, яка:

– здійснює формулювання місії програми, її цілей та задач;

– проектування змісту, терміну здійснення і визначення річних бюджетів програми;

– координації взаємодії учасників і зацікавлених сторін програми;

– моніторинг виконання програми;

– внесення змін в програму на основі результатів моніторингу;

– накопичення нових знань і кращих практик управління.

2.2 Модель деградації дорожнього одягу

Моніторинг стану дорожніх одягів доріг загального користування державного значення (міжнародних, національних, регіональних і територіальних) здійснюється під керівництвом Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) в рамках СУСП або Інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством (ІАСУ ДГ). В централізованій базі даних СУСП накопичується інформація про фактичний стан дорожнього одягу - технічні та експлуатаційні параметри ділянок доріг (категорія дороги, міцність дорожнього одягу, рівність і коефіцієнт зчеплення покриття, геометричні, ґрунтово-геологічні, кліматичні, про конструкцію дорожніх одягів, фактичні інтенсивність і склад дорожнього руху та коефіцієнт їх щорічної зміни, нормативні показники рівня втручання, при яких необхідне виконання того чи іншого виду ремонту, адміністративна належність ділянок доріг тощо).

Отже, для реалізації управління програмою ремонтів дорожнього одягу (планування, організації виконання, мотивації і контролю) потрібно спиратися на моделі деградації, прийняті в СУСП [48, 49, 50]. Проте, в процесі дослідження з’ясувалась необхідність удосконалення моделей деградації

дорожнього одягу та його покриття для ситуації, коли виконання ремонту відкладається проти нормативних вимог з-за бюджетних обмежень. Відкладання ремонтів пояснюється неможливістю у сучасних умовах економічного розвитку виконати одночасно всі ремонти, потреба в яких накопичувалась на протязі десятиріч.

В СУСП використовуються три моделі деградації дорожнього одягу:

1) модель зменшення коефіцієнту запасу міцності;
2) модель погіршення рівності покриття;
3) модель зменшення коефіцієнту зчеплення покриття.

Розглянемо структуру цих моделей і можливість їх застосування для формування річної програми ремонтів.

В процесі моніторингу стану дорожнього одягу вимірюється фактичний модуль пружності дорожнього одягу. Згідно [4] міцність дорожнього одягу оцінюється коефіцієнтом запасу міцності ($К_{зм}$), який визначається як відношення фактичного модуля пружності дорожньої конструкції в розрахунковий період року ($Е_ф$) до необхідного модуля пружності ($Е_н$), при існуючому русі на дорозі:

$$K_{зм} = \frac{E_ф}{E_н}. \tag{2.1}$$

$E_н$ - модуль пружності, який необхідно мати при існуючому русі на дорозі, МПа:

$$E_н = 56{,}1 + 68{,}9 \times \log_{10}(I_{прив} \times f_n), \tag{2.2}$$

де $I_{прив}$ - приведена до розрахункового навантаження середньорічна добова інтенсивність руху;

f_n - коефіцієнт, що враховує кількість смуг руху.

Дорожня конструкція задовольняє вимогам по міцності, якщо виконується умова (2.2):

$$K_{зм} > K_{зм}^{доп}, \qquad (2.3)$$

де $K_{зм}^{доп}$ - мінімально допустиме значення коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу.

У відповідності з діючими нормативами для доріг I-II категорій $K_{зм}^{доп}$ = 0,95, для доріг III категорії $K_{зм}^{доп}$ = 0,90, для доріг IV категорії $K_{зм}^{доп}$ = 0,85 [4].

Потреба в капітальних ремонтах визначається на основі вимірювань фактичної міцності дорожнього одягу, обчислення коефіцієнта запасу міцності і його співставлення з нормативним коефіцієнтом запасу міцності.

Прогнозний період в роках, який залишився до капітального ремонту дорожнього одягу нежорсткого виду, обчислюється за формулою [50]:

$$T_{кр} = 1 + u \times \log_{10}(K_{зм}^{ф} / K_{зм}^{доп}) / (0{,}0035 / m + n \times \log_{10}(q)), \qquad (2.4)$$

де u - коефіцієнт, що враховує вплив дорожньо-кліматичної зони;

m - коефіцієнт, що враховує погіршення властивостей в'яжучого;

n - коефіцієнт, що враховує процеси втомлювання покриття;

q - коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Якщо $T_{кр} \leq 0$, то капітальний ремонт потрібно виконувати в поточному, або наступному році. Приймаючи до уваги той факт, що капітальний ремонт з-за бюджетних обмежень може бути не виконаний в цей рік, потрібно прогнозувати його зменшення за кожний рік відкладання ремонту. На рис. 2.8 показано характер залежності (2.4) відносно коефіцієнту запасу міцності.

Графік залежності побудовано для фіксованих значеннях параметрів. Прийнято $K_{зм}^{доп}$ = 0.95; u = 1.1; m = 0.95; n = 0.18; q = 1.04. Залежність

апроксимується прямою з показником достовірності апроксимації R^2 = 0.9958. Швидкість зменшення коефіцієнту запасу міцності становить для розглянутого приклада 0.0122.

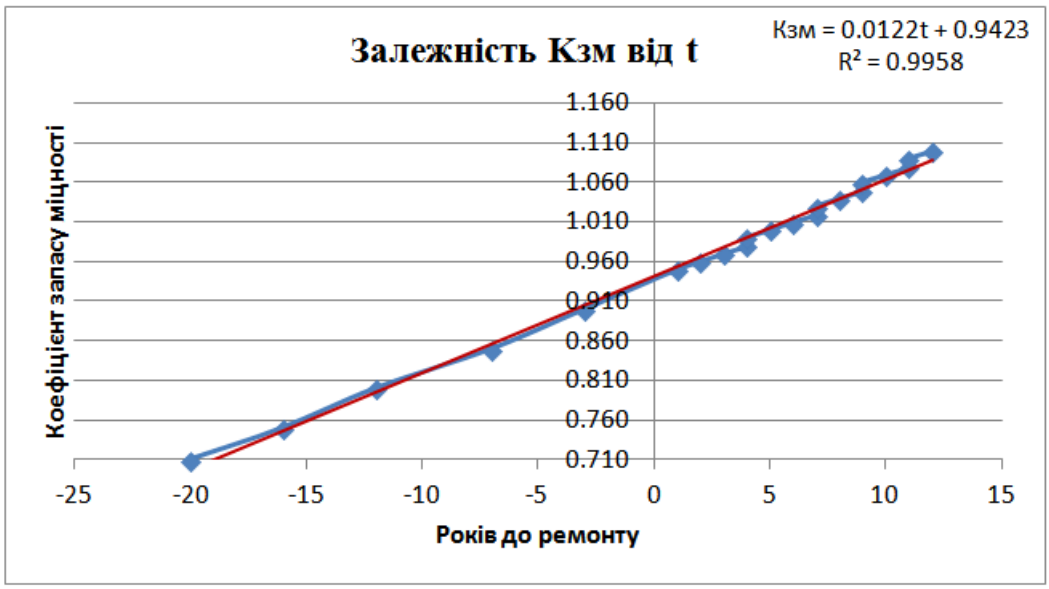


Рисунок 2.8 – Графік залежності коефіцієнту запасу міцності дорожнього одягу від часу експлуатації

При використанні моделі деградації в моделі формування програми робіт для кожного модулю дороги потрібно віднаходити швидкість зменшення коефіцієнту запасу міцності для відповідних їй значень величин $K_{зм}^{доп}$; u; m; n; q, які отримуються з бази даних СУСП.

Прогнозний період в роках, який залишився до відновлення поточним середнім ремонтом рівності покриття дорожнього одягу нежорсткого виду, визначається шляхом розв’язання відносно *t* рівняння [50]:

$$S_0 + \alpha \cdot t \cdot e^{c \cdot t} = S_{доп}, \tag{2.5}$$

де S_0 - показник рівності в рік вимірювання, см/км;

$$\alpha = \frac{0.57 \cdot \nu \cdot (7.62 - B_0) \cdot \delta \cdot \xi}{(h_n - 2)^{0.6} \cdot k_н \cdot \sqrt{(K_{зм} - 0.7)^3 \cdot \tau}} \times \exp(\cdot 0.87 \cdot (K_{зм} - 0.7) - 0.023 \cdot h_n + 0.00045 \cdot \frac{N_p}{f}), \quad (2.6)$$

де ν - параметр саморегулювання математичної моделі, ν =1;

B_0 - ширина смуги руху, м;

δ - коефіцієнт впливу дорожньо-кліматичної зони;

ξ - коефіцієнт впливу типу місцевості за зволоженням;

h_n - приведена товщина верхніх зв'язаних шарів дорожнього одягу, см;

$k_н$ - коефіцієнт неоднорідності міцності одягу;

$K_{зм}$ - коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу в рік вимірювання;

τ - показник структурної міцності несучого шару;

N_p - розрахункова інтенсивність руху в одиницях осьових навантажень групи А на смугу руху за добу в рік вимірювання;

f - коефіцієнт, що враховує кількість смуг руху;

t – час, років;

$S_{доп}$ - допустимий показник рівності проїзної частини доріг, см/км;

$$c = 0{,}02 + 0{,}0035 \times (q - 1) \times 100, \quad (2.7)$$

де q - коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Рівняння (2.5) застосовується в загальній схемі оптимізації річної програми робіт (рис. 2.7) в кожній ітерації з t = 1.

Аналіз параметру α показує, що існують певні обмеження на розрахункові величини. Наприклад, коефіцієнт запасу міцності повинен бути більше 0.7. Проте, дані спостережень фактичної міцності дорожнього одягу в

СУСП містять виміряні величини коефіцієнту запасу міцності, меші від 0.7. тому в моделі деградації в таких випадках приймається величина 0.71. При величинах коефіцієнту запасу міцності близьких до цього значення коефіцієнт має дуже великі значення, тому прогнозована рівність також приймає досить велике значення. Це свідчить про неможливість підтримки рівності за рахунок поточного середнього ремонту на ділянках доріг, які вже давно очікують капітального ремонту дорожнього одягу.

Прогнозний період в роках, який залишився до відновлення зчеплених якостей покриття дорожнього одягу нежорсткого виду, визначається за формулою [50]:

$$T_{\varphi} = \beta \times \log_{10}(\varphi_{ф} / \varphi_{доп}) / (0{,}013 + 0{,}3 \times 10^{-4} \times N_{p}), \qquad (2.8)$$

де: β - коефіцієнт, який враховує тип покриття;

$\varphi_{ф}$ - фактичний коефіцієнт зчеплення;

$\varphi_{доп}$- мінімально допустимий коефіцієнт зчеплення;

N_{p} - розрахункова інтенсивність руху на смугу (осей на добу).

Якщо T_{φ} = 0, то ремонт потрібно робити в рік вимірювання, або наступного року (рис. 2.9). Для врахування поточного дрібного ремонту покриттів в СУСП використовується математична модель об'ємів руйнувань покриття:

$$\omega(t) = \frac{\Theta \cdot \sqrt[3]{\dfrac{0.001 \cdot I_{n} \cdot q_{1}^{-T_0}}{f}}}{(\lg(2.5 \cdot I_{n}) / (\lg(2.5 \cdot I_{n}) - T_0 \cdot \lg(q_1)) \cdot K_{зм})^{7}} \cdot \text{x}$$

$$e^{K_{дкз} \cdot \sqrt{\dfrac{\lg(2.5 \cdot I_{n})}{\lg(2.5 \cdot I_{n}) - T_0 \cdot \lg(q_1)}} \cdot K_{зм} \cdot (T_0 + t)}, \qquad (2.9)$$

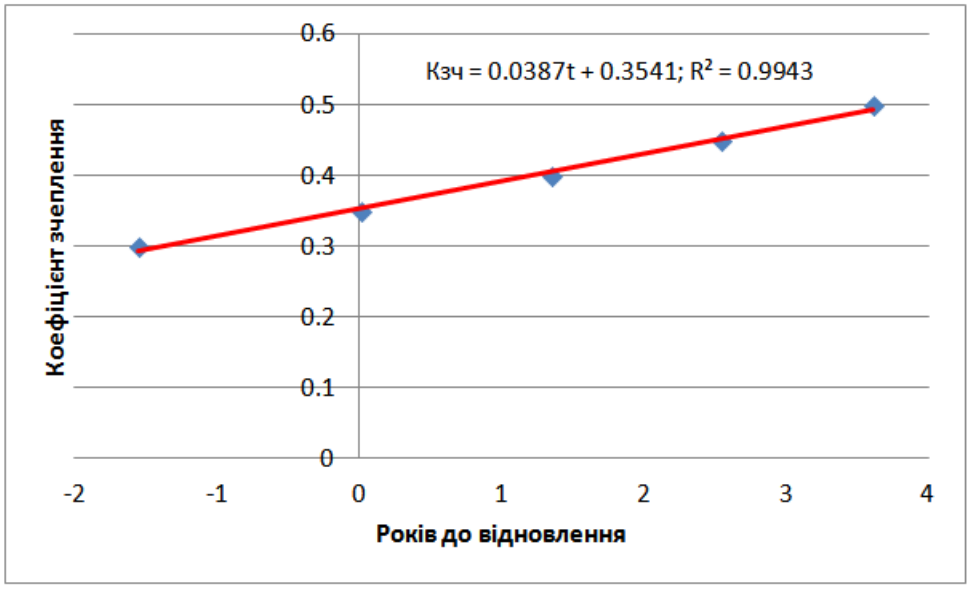


Рисунок 2.9 – Графік залежності коефіцієнту зчеплення від часу експлуатації покриття

де $\omega(t)$ - % площі руйнування від площі покриття;

t - номер року після року прогнозування;

Θ - коефіцієнт, що залежать від типу покриття і дорожньо-кліматичної зони;

I_n - розрахункова приведена інтенсивність руху, авт./добу;

f - коефіцієнт врахування кількості смуг руху покриття;

$q_1 = 1 + q$, де q - коефіцієнт приросту інтенсивності руху;

T_0 - строк служби покриття, що пройшов від останнього капітального ремонту до року прогнозування, років;

$K_{зм}$ - коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу;

$K_{дкз}$ - коефіцієнт, що враховує дорожньо-кліматичну зону.

Для кожної ділянки (модулю) доріг на основі виміряного і прогнозованого стану її дорожнього одягу за допомогою моделі деградації визначається вид проекту ремонту, причому поточний середній ремонт не призначається, коли дорожній одяг ділянки потребує капітального ремонту,

але, при неможливості виконання (або відсутності потреби) капітального ремонту або поточного середнього ремонту, призначається поточний дрібний ремонт та утримання покриття дорожнього одягу (табл. 2.1) [36]. В табл. 2.1 індексом *п* помічені початкові значення величин, а індексом *к* - кінцеві значення величин

Таблиця 2.1 – Зміна стану дорожнього одягу ділянки дороги

$K_{зм}^{п}$	$S_п$	$\varphi_п$	$\alpha_п$	$h_{прп}$	$N_п$	$N_{прп}$	На початок року
Прогнозування стану і вибір виду ремонту							Наприклад, капітальний ремонт
$K_{зм}^{к}$	$S_к$	$\varphi_к$	$\alpha_к$	$h_{прк}$	$N_к$	$N_{прк}$	На кінець року

2.3 Математична модель управління програмою ремонтів дорожнього одягу

Функція планування в управління програмою ремонтів дорожнього одягу мережі автомобільних доріг має на меті, крім іншого, визначення витрат на виконання капітальних, поточних середніх, поточних дрібних ремонтів та утримання дорожнього одягу (далі бюджету або дорожніх витрат), які за час виконання програми приводять стан дорожнього одягу до максимально близького до нормативного рівня. Управління здійснюється при заданих фіксованих щорічних бюджетах, розмір яких залежить від досягнутого на початок кожного року рівня стану дорожнього одягу.

В якості критерію оптимальності рішень в обґрунтуванні нормативних вимог до експлуатаційного стану дорожнього одягу прийнято вважати мінімум сумарних дорожньо-транспортних витрат (рис. 2.10). В даному випадку, мова йде про вибір оптимального рівня обслуговування дорожнього одягу

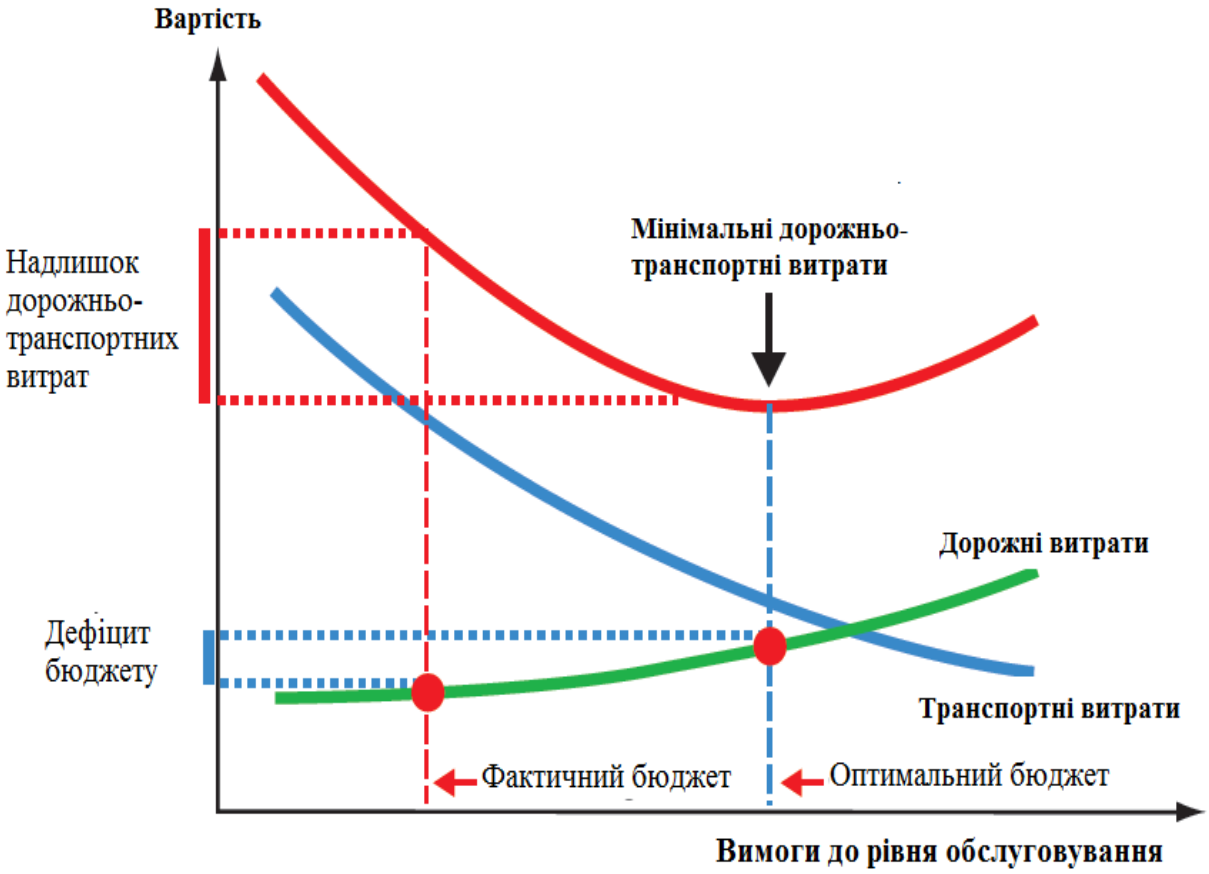


Рисунок 2.10 – Взаємний зв'язок між рівнем обслуговування та сумарними дорожньо-транспортними витратами [129, с. 11]

Слід зауважити, що сучасні рівні обслуговування задані існуючими нормативними обмеженнями на показники експлуатаційного стану дорожнього одягу та його покриття. Вони встановлюються шляхом техніко-економічного порівняння значень експлуатаційних показників [103]. Рівень обслуговування, перш за все, характеризується рівнем втручання – таким значенням експлуатаційного показника, при якому потрібно виконувати ремонт того чи іншого виду.

При зменшенні дефіциту бюджету стан дорожнього одягу на мережевому рівні, згідно (1.1) – (1.2) буде покращуватись і вийде на нормативні значення, коли дефіцит бюджету буде дорівнювати нулю (рис. 2.11).

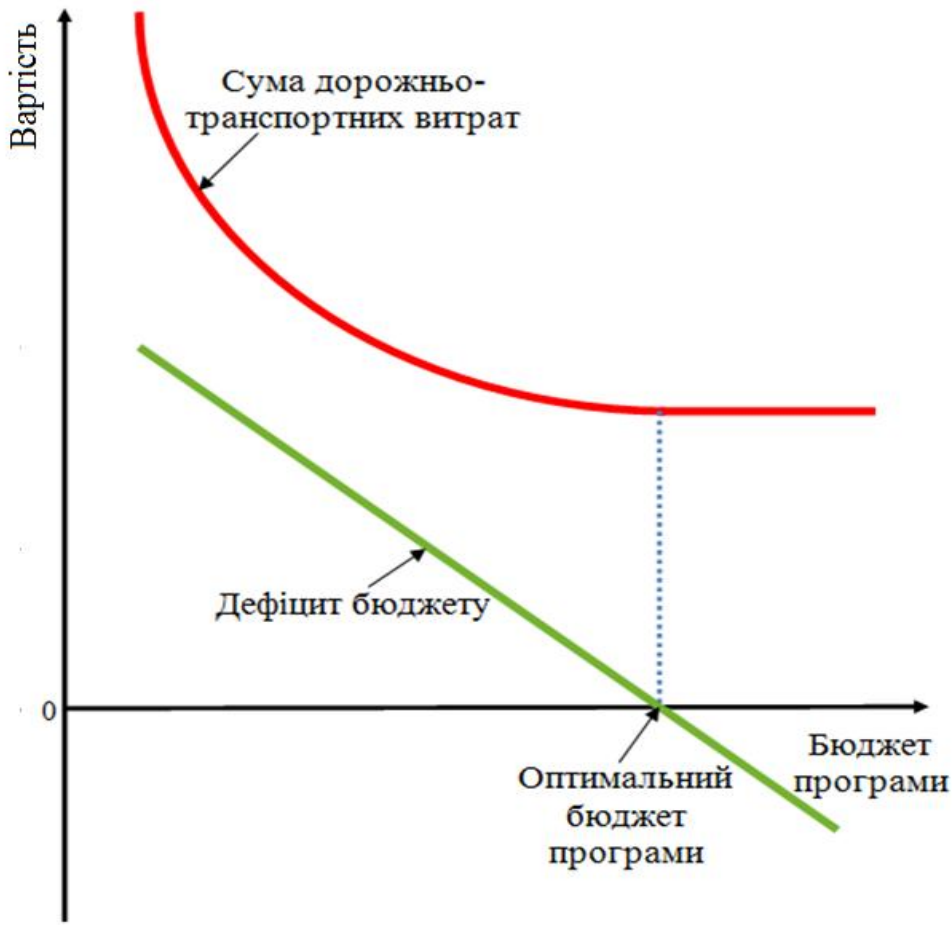


Рисунок 2.11 – Гіпотетична залежність суми дорожньо-транспортних витрат від бюджету програми ремонту дорожнього одягу

Окрім різних значень дефіциту бюджету, варіанти програми ремонтів дорожнього одягу мережі автомобільних доріг породжуються ще й типами виконання ремонтів та їх параметрами, які впливають на величину витрат на ремонти.

Отже, задача управління програмою ремонтів дорожнього одягу мережі автомобільних доріг може бути сформульована, як задача *однокритеріальної оптимізації*, таким чином [40].

Цільова функція:

$$F_{mp} = \sum_{t=1}^{T}(1+d)^{-t} \cdot \sum_{n=1}^{N}[(c_{t,n,r,m(r)}^{рем} + c_{t,n,r,m(r)}^{mp}) \cdot X_{t,n,r,m(r)}] \Rightarrow \min, \qquad (2.10)$$

де $F_{тр}$ - сумарні приведені до 0-го року дорожньо-транспортні витрати на мережі доріг;

t - номер року з початку виконання програми;

T - тривалість програми, років;

n - номер програмного модулю - ділянки дороги з однорідними параметрами;

N - кількість модулів;

r - вид ремонту;

d - коефіцієнт дисконтування:

$d = (1 + c)(1 + i) - 1$,

де *c* - ставка дисконту, *i* - середньорічний індекс інфляції;

m(r) - тип ремонту виду *r*;

$c^{рем}_{t,n,r,m(r)}$ - вартість *m(r*-го*)* варіанту *r*-го виду ремонту *n*-го модулю в рік *t*, грн.;

$c^{тр}_{t,n,r,m(r)}$ - транспортні витрати в залежності від експлуатаційного стану, забезпеченого або не забезпеченого виконанням проекту ремонту *m(r)*–го типу *r*-го виду ремонту *n*-го програмного модуля в рік *t*, грн.;

$X_{t,n,r,m(r)}$ - змінна рішення: $X_{t,n,r,m(r)} = 1$, якщо буде здійснено проект ремонту типу *m(r) r*-го виду *n*-го програмного модулю в рік *t*; $X_{t,n,r,m(r)} = 0$, якщо проект ремонту типу *m(r) r*-го виду *n*-го програмного модулю не буде здійснено в рік *t*.

У випадку $X_{t,n,r,m(r)} = 0$, здійснюються проект поточного дрібного ремонту та експлуатаційне утримання покриття дорожнього одягу;

Вид ремонту *r* приймає значення з множини:

$$r \in \{0,1,2\}, \tag{2.11}$$

де 0 – поточний дрібний ремонт та утримання дорожнього одягу;

1 – поточний середній ремонт;

2 – капітальний ремонт.

Повинна виконуватись умова допустимості тільки одного типу ремонту:

$$\sum_{r=0}^{2} \sum_{m(r)-1}^{K_r} X_{t,n,r,m(r)} \leq 1. \tag{2.12}$$

Тип ремонту *m(r)* приймає значення з відповідної виду ремонту множини:

$$m(r) \in \{1,2, \dots , K_r\}, \tag{2.13}$$

де K_r - кількість варіантів ремонту *r*-го виду.

Значення $c^{mp}_{t,n,r,m(r)}$ розраховується набором алгоритмів, структура яких залежить від виду ремонту *r*. В комп'ютерному програмному забезпеченні математичної моделі управління програмою ремонтів дорожнього одягу використовують алгоритми і залежності, покладені в основу СУСП.

Транспортні витрати прямо пропорційні рівності покриття дорожнього одягу за моделлю:

$$c^{mp}_{t,n,r,m(r)} = T_\partial \cdot N_0 \cdot (1+q)^t \cdot \sum_{i=1}^{K_a} (\xi_i \cdot p_i) \cdot (a + b \cdot S_t) \cdot L, \tag{2.14}$$

де T_∂ - число діб за рік (365 або 366);

N_0 - середньорічна добова інтенсивність руху, авт./добу;

K_a - кількість груп автомобілів у складі руху;

q - коефіцієнт приросту інтенсивності руху;

ξ_i - коефіцієнт зведення автомобілів *i*-го типу до «економічного» розрахункового автомобіля (приймається з СУСП);

p_i - частка автомобілів *i*-го типу в складі руху;

a - параметр розрахунку транспортних витрат не залежний від рівності на один кілометр руху автомобіля, грн./(км·авт.);

b – коефіцієнт збільшення транспортних витрат за один сантиметр погіршення рівності на один кілометр руху автомобіля, грн./см;

S_t - рівність покриття в рік *t*,см/км;

L - довжина модулю, км.

Транспортні витрати мають місце і при новому рівному покритті – після будівництва або капітального ремонту. Показник рівності приймається S_{min} = 45 см/км. Отже, доцільно враховувати тільки подальші транспортні витрати, що мають місце при збільшенні цього показника. В такому випадку, формула (2.14) замінюється на:

$$c^{mp}_{t,n,r,m(r)} = T_{\partial} \cdot N_0 \cdot (1+q)^t \cdot \sum_{i=1}^{N_{za}} [(\xi_i \cdot p_i) \cdot b \cdot (S_t - S_{\min}) \cdot L], \qquad (2.15)$$

Рівність покриття S_t залежить від приведеної товщини верхніх зв'язаних шарів дорожнього одягу (2.5), отже від капітального ремонту дорожнього одягу за рахунок підсилення дорожнього одягу одним шаром або більше з приведеною товщиною зв'язних шарів *h*. Прийнято, що рівність покриття після капітального ремонту становить 45 см/км. З часом, відбувається зменшення коефіцієнту запасу міцності (2.6) і рівність покриття погіршується.

Поліпшення рівності відбувається після поточного середнього ремонту:

$$S_t = (S_0 + \alpha \cdot t \cdot e^{c \cdot t}) \cdot \exp(-0.6 \cdot h) + 13 \cdot h^{0.7}, \qquad (2.16)$$

де S_0 - рівність покриття в 0-й рік, см/км;

h – товщина вирівнюючого шару, см.

Види, варіанти і конструктивні параметри ремонтів *h* визначають вартість ремонтів.

Обмеження витрат на ремонти в рік *t*:

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{r=0}^{R}\sum_{m(r)=1}^{K_r}(c_{t,n,r,m(r)}^{mp}\cdot X_{t,n,r,m(r)})\le Б_t, \qquad (2.17)$$

де $c_{t,n,r,m(r)}^{mp}$ - вартість ремонту, грн.;

$Б_t$ - бюджет t-го року, грн.

$$c_{t,n,r,m(r)}^{mp}=c_{r,m(r)}^{од}\cdot B\cdot L\cdot h, r=\overline{1,2}, \qquad (2.18)$$

де $c_{r,m(r)}^{од}$- вартість ремонту одиниці вимірювання площі покриття, грн./(см·м2);

B - ширина покриття, м;

L - довжина модулю, м;

h - товщина шару ремонту, см.

Вартість поточного дрібного ремонту та утримання доріг:

$$C_{t,n,0}^{рем}=c_0^{од}\cdot\omega(t)\cdot B\cdot L, \qquad (2.19)$$

де $c_0^{од}$ - питома вартість поточного дрібного ремонту та утримання покриття, грн./м2;

$\omega(t)$ - частка площі руйнування від площі покриття.

Таким чином враховуються витрати на виконання ремонтів. Вони не можуть перевищувати річного бюджету (2.17).

Прийнявши до уваги обмеження на дорожні витрати (2.17), можна стверджувати, що при заданих нормативних вимогах до експлуатаційного стану і наявності дефіциту бюджету цільова функція (2.10) може бути спрощена шляхом виключення дорожніх витрат, які будуть дорівнювати бюджету, тобто будуть однаковими для всіх альтернатив:

$$F_{mp} = \sum_{t=1}^{T}(1+d)^{-t} \cdot \sum_{n=1}^{N}(c_{t,n,r,m(r)}^{mp} \cdot X_{t,n,r,m(r)}) \Rightarrow \min, \qquad (2.20)$$

Керованими змінними моделі (2.10) або (2.20) є рік виконання, номер виду, номер альтернативи ремонту з відповідними розрахунковими конструктивними параметрами ремонту.

Стан дорожнього одягу на рівні мережі доріг можна охарактеризувати двома показниками:

$$S_{к} = \frac{\sum_{n=1}^{N} L_{к,n}}{\sum_{n=1}^{N} L_{n}} \times 100\% \Rightarrow \min, \qquad (2.21)$$

$$S_{c} = \frac{\sum_{n=1}^{N} L_{c,n}}{\sum_{n=1}^{N} L_{n}} \times 100\% \Rightarrow \min, \qquad (2.22)$$

де $L_{к,n}$ - довжина модулю *n* дороги, яка потребує капітального ремонту;

$L_{c,n}$ - довжина модулю *n* дороги, яка потребує поточного середнього ремонту;

L_{n} - довжина модулю *n* дороги.

Виконання проектів ремонту зменшує транспортні витрати та, одночасно, величину показників стану дороги.

Алгоритм оптимізації за дорожньо-транспортними витратами та за критерієм (2.20) полягає у виборі значень правих частин обмежень (2.17), тобто річних бюджетів, і обґрунтуванні такої річної програми проектів ремонтів, яка б доставляла мінімум цільовій функції (2.20) і відповідним їй показникам стану дорожнього одягу.

В якості алгоритму пошуку оптимального рішення автор пропонує застосувати генетичний алгоритм. Така пропозиція обґрунтовується наявністю в ступінчастих змін рівності покриття після виконання капітального або поточного середнього ремонту, які не дозволяють застосування градієнтних методів оптимізації. Генетичний алгоритм повинен давати змогу команді управління програмою здійснювати пошук оптимального рішення на основі критерію мінімізації дорожньо-транспортних витрат, що може бути забезпечено наявністю у рішенні як параметрів вибраних видів, методів та конструктивних параметрів ремонтів, так і бюджетних асигнувань.

Висновки по розділу 2

1. Принциповою основою управління станом автомобільних доріг є здійснення програм ремонтів на основі управління за цінностями, які забезпечують скорочення часу знаходження автомобілів в дорозі, підвищують рівень безпеки та комфортності руху і, також, мінімізацію собівартості перевезень пасажирів та вантажів. Досягнення і підтримка нормативного стану автомобільних доріг має також зовнішні ефекти, які не можуть бути легко і точно виражені в грошовому еквіваленті (довіра до влади і дорожньої адміністрації, оборона, охорона здоров’я і матеріальних цінностей, освіта, культура тощо).

2. Стан доріг, зокрема стан дорожнього одягу, формується в результаті взаємної дії двох протилежних процесів - процесу деградації елементів доріг та погіршення їх корисних властивостей і процесу їх відновлення шляхом виконання програм з ремонту та експлуатаційного утримання дорожнього одягу та його покриття. Програми складаються з модулів, які включають взаємозв’язані проекти ремонтів та експлуатаційного утримання на неперервних ділянках дороги з однорідними зовнішніми (інтенсивність і склад руху, природні умови тощо) і внутрішніми (конструкція дорожнього одягу, матеріали тощо) умовами.

3. Процеси деградації дорожнього одягу відбуваються під впливом автомобілів і природних факторів, а також внутрішніх процесів старіння матеріалів. Основними показниками стану автомобільних доріг на стадії експлуатації є рівність дорожніх покриттів, зчіпні якості автомобільних доріг та міцність дорожнього одягу. Математичні моделі деградації дорожнього одягу запозичені з СУСП і вдосконалені з огляду на те, що, в силу ресурсних обмежень, потрібний ремонт може не виконуватися в рік, коли виникає його прогнозована в СУСП потреба, а відкладається.

4. Управління ремонтами дорожнього одягу є складовою частиною управління станом автомобільних доріг, яке здійснюється шляхом моніторингу стану дорожнього одягу, оптимального планування і реалізації заходів з ремонту та утримання автомобільних доріг.

5. Програма ремонтів дорожнього одягу складається з річних програм, що включають програмні модулі проектів ремонтів. Вона має чітко визначений термін дії, після якого стан дорожнього одягу повинен бути максимально наближений до нормативного рівня, в залежності від об’єму фінансування річної програми.

6. Критерієм оптимальності в прийнятті рішень щодо включення в річну програму проектів ремонтів ділянок дорожнього одягу є мінімум додаткових транспортних витрат, спричинених погіршенням рівності покриття, порівняно з рівністю нового покриття, і забезпечений прийнятими в програмі бюджетними обмеженнями. Мінімізація транспортних витрат визначається вибором з можливого набору альтернатив капітальних і поточних середніх ремонтів найкращої за прийнятим в математичній моделі критерієм.

7. Прийнявши до уваги складну структуру критерію оптимальності, в якості алгоритму пошуку оптимальної річної програми ремонтів запропоноване використання генетичного алгоритму, який не обмежений жорсткими вимогами до властивостей цільової функції. Генетичний алгоритм повинен давати змогу команді управління програмою здійснювати пошук оптимального рішення на основі критерію мінімізації дорожньо-транспортних витрат, що може бути

забезпечено наявністю у рішенні як параметрів вибраних видів, методів та конструктивних параметрів ремонтів, так і бюджетних асигнувань

3 АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

3.1 Сутність генетичних алгоритмів

Основні труднощі з управління програмою відновлення стану дорожнього одягу на мережевому рівні полягають у надзвичайно великій кількості можливих доступних рішень (або у широкому виборі стратегій), які називають "комбінаторним вибухом" у просторі рішень, та у відносно великій кількості обмежень, часто присутніх в реальній життєвій ситуації [117].

Генетичні алгоритми (ГА) є інструментом оптимізації і гілкою штучного інтелекту, спроможним подолати "комбінаторний вибух". ГА являють собою потужні прийоми пошуку найкращого рішення, які формулюються через механізми природного відбору і генетики. Природна еволюція відбувається в хромосомах – органічних пристроях, які кодують структуру живих істот. Ідею генетичних алгоритмів висунув Дж. Холланд наприкінці 1960-х – на початку 1970-х років.

Генетичний алгоритм - це евристичний алгоритм пошуку, який відображує природну еволюцію методів розв’язання задач оптимізації. Це процедури пошуку, засновані на механізмах природного відбору і наслідування, в яких використовується еволюційний принцип виживання найбільш пристосованих особин. Генетичні алгоритми в класичному виді відрізняються від традиційних методів оптимізації декількома базовими елементами [81, с. 125].

ГА:

– обробляють не значення параметрів самої задачі, а їх закодовану форму;

– здійснюють пошук рішення виходячи не з єдиної точки, а з їх деякої популяції;

– використовують тільки цільову функцію, а не її похідні або іншу додаткову інформацію;

– застосовують імовірнісні, а не детерміновані правила вибору.

Отже, вони не потребують властивостей диференціювання, опуклості або інших допоміжних властивостей параметрів задачі.

Ці властивості – кодування параметрів, операції на популяціях, використання мінімуму інформації про задачу і рандомізація операцій - приводять до стійкості генетичних алгоритмів та їх перевазі над іншими технологіями оптимізації.

В генетичних алгоритмах використовуються поняття, запозичені з генетики. Наведемо визначення основних понять за [81, с. 126].

Популяція – кінцева множина особин. В математичному смислі – це кінцева множина можливих рішень задачі.

Особина представляється хромосомою із закодованою в ній множиною керованих змінних задачі, тобто рішень, які називаються точками в просторі пошуку.

Хромосома – упорядкована послідовність (ланцюжок або кодова послідовність) генів.

Ген (властивість) – атомарний елемент генотипу, зокрема, хромосоми.

Генотип або структура – набір хромосом даної особини, тобто особинами популяції можуть бути генотипи або одиничні хромосоми (генотип складається з однієї хромосоми).

Фенотип – набір значень, що відповідають даному генотипу, тобто декодована структура або множини параметрів задачі (рішення, точка простору пошуку).

Алель – значення конкретного гену, інакше – значення властивості або варіант властивості.

Локус або позиція – місце розміщення даного гену в хромосомі. Множина позицій генів – це локи.

Дуже важливим поняттям в ГА вважається функція пристосованості – міра пристосованості даної особини в популяції. Роль функції пристосованості полягає в тому, що вона дозволяє оцінити пристосованість конкретних особин в популяції і вибрати з них найкращі. В задачах оптимізації функція пристосованості називається цільовою функцією.

Процес оптимізації в ГА здійснюється через генерацію послідовності поколінь. У кожній ітерації (епосі, поколінні) ГА за допомогою функції пристосованості оцінюється пристосованість кожної особини. На цій основі формується наступна популяція особин (хромосом), які складають множину потенційних рішень проблеми – задачі оптимізації.

Класичний ГА складається з певної кількості кроків, наведених на рис. 3.1.

Блок 1. Ініціалізація вихідної популяції хромосом полягає в імовірнісному виборі значень параметрів генів заданої кількості хромосом, представлених двійковими послідовностями фіксованої довжини.

Блок 2. Розрахунок функції пристосованості хромосом. Кращою вважається хромосома з максимальним або мінімальним значенням функції пристосованості, в залежності від того, яка задача оптимізації вирішується.

Блок 3. Зупинка алгоритму відбувається, коли значення функції пристосованості не покращується з заданою точністю на протязі заданої кількості послідовних ітерацій (епох, поколінь) або після досягнення максимальної кількості ітерацій.

Блок 4. Селекція хромосом полягає у виборі за значеннями функції пристосованості тих хромосом, які будуть приймати участь у створенні нащадків для наступного покоління (популяції). Найбільші шанси на участь у створенні нових особин (хромосом) мають хромосоми з кращими значеннями функції пристосованості (найбільшими або найменшими, в залежності від задачі).

Блок 5. Застосування генетичних операторів до вибраних в блоці 4 хромосом має на меті формування нової популяції нащадків від батьківської популяції.

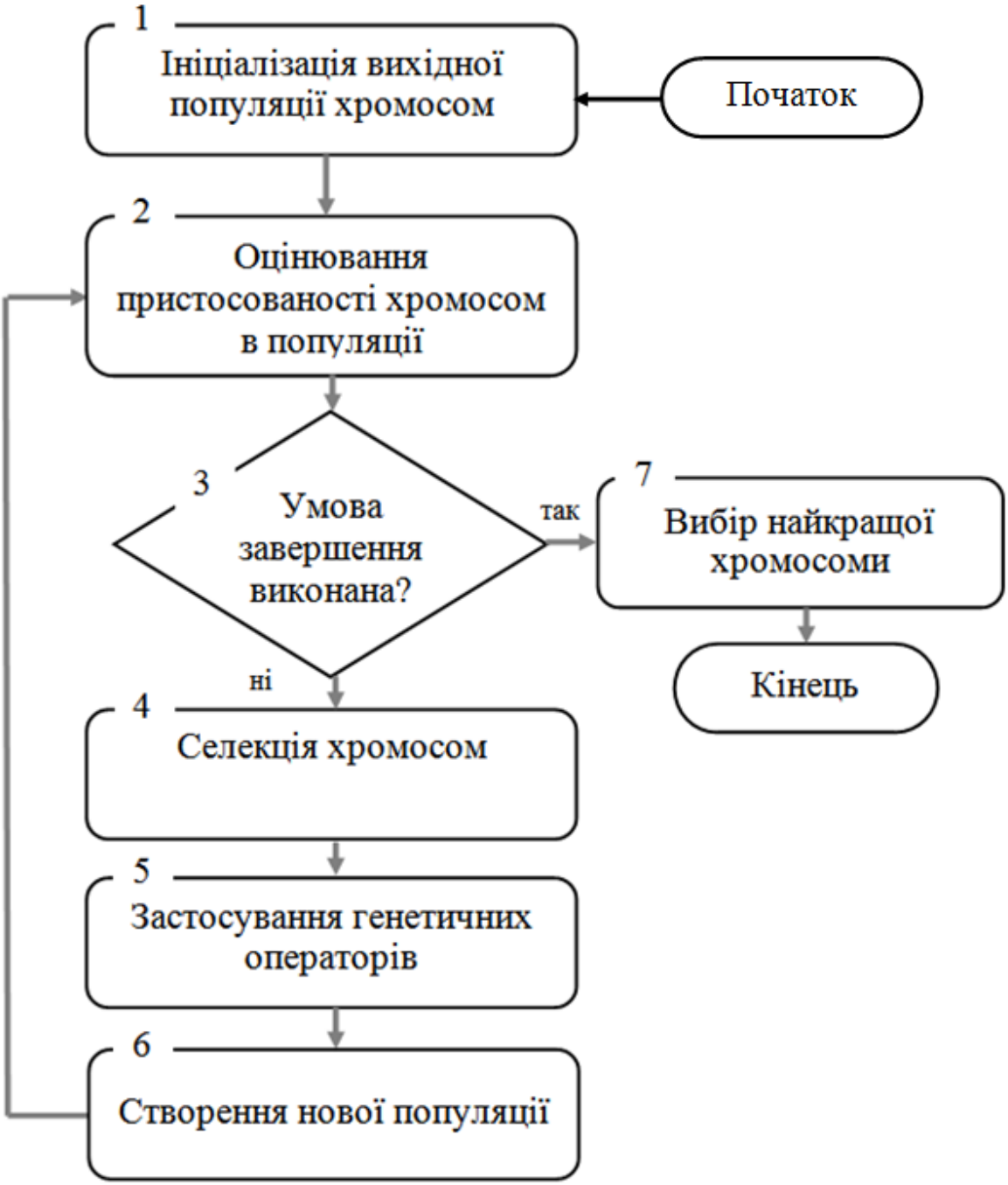


Рисунок 3.1 – Схема генетичного алгоритму

В основному застосовуються два генетичних оператори: оператор схрещування (кросоверу), та оператор мутації.

Сутність оператора схрещування полягає в тому, що з тимчасової популяції, яка складається з хромосом, відібраних з метою формування нового покоління, вибираються пари батьківських хромосом, які з заданою імовірністю схрещування обмінюються значеннями генів (рис. 3.2) і формують нащадків [43].

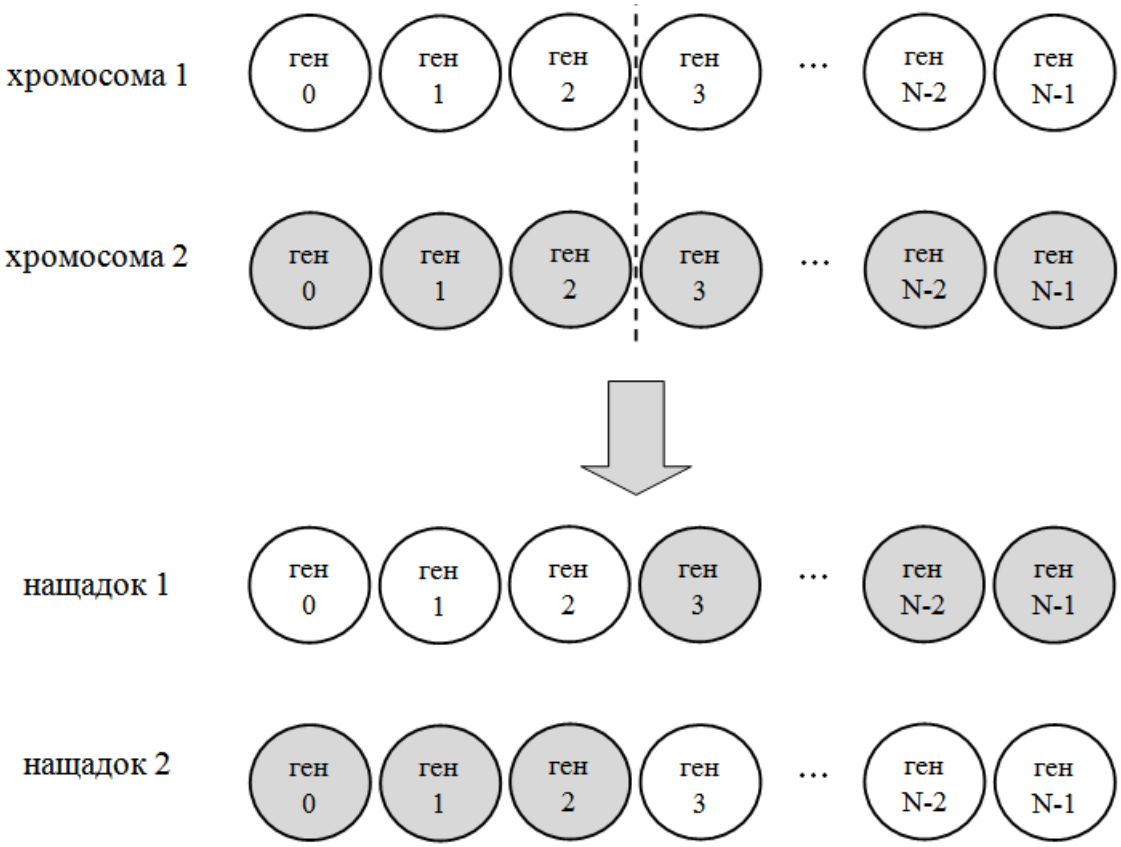


Рисунок 3.2 – Оператор одноточкового кросоверу

Оператор кросоверу може бути також багатоточковим.

Оператор мутації з заданою імовірністю змінює значення гену в хромосомі на протилежне (рис. 3.3). Імовірність мутації звичайно мала.

Формування нової популяції відбувається за рахунок хромосом, отриманих в результаті застосування операторів кросоверу і мутації. На кожній

черговій ітерації розраховується значення функції пристосованості для всіх хромосом нової популяції, після чого перевіряється умова зупинки алгоритму і або фіксується найкраща хромосома, або здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. В класичному ГА вся попередня популяція хромосом замінюється новою популяцією тієї ж чисельності.

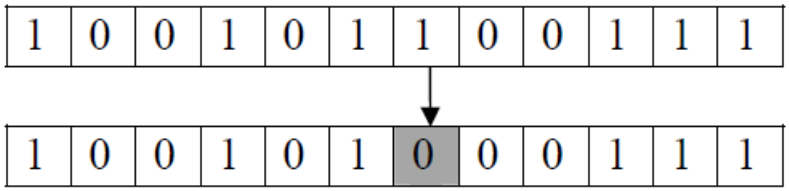


Рисунок 3.3 – Мутація гену

Слід зауважити, що в класичному алгоритмі параметри задачі кодуються двійковими послідовностями, тому при ініціалізації хромосоми потрібно виконати процедуру кодування, а при розрахунку функції пристосованості і виборі найкращої хромосоми – операцію декодування. Недоліком класичного генетичного алгоритму є вихід закодованих параметрів генів за межі їх області визначення. Тому в ньому використовують спеціальні прийоми для відсічення недопустимих рішень. До невідповідних обмеженням задачі рішень застосовується штрафна функція, проте ця технологія має багато недоліків [117].

Застосовуються і інші способи кодування [84, с. 211-213, 66]:

цілочисельне кодування, коли значення параметрів ніяким трансформаціям не піддаються;

кодування дійсними числами;

символьне кодування;

використання структур даних.

Генетичний алгоритм являє собою один з видів еволюційних алгоритмів [81, 84]. Для побудови еволюційного алгоритму необхідно виконати наступні кроки:

- вибрати представлення рішень (спосіб кодування фенотипу в генотип);
- вирішити, як ініціалізувати множину рішень (популяцію);
- визначити основні генетичні оператори:
    - вибрати відповідний оператор мутації;
    - вибрати відповідний оператор схрещування (кросоверу);
- вибрати спосіб оцінки цільової функції рішення (пристосованості особини);
- вирішити, як керувати множиною рішень (популяцією):
    - вирішити, як вибрати рішень-батьків;
    - вирішити, як вибрати рішення для заміни;
- вирішити, коли зупинити алгоритм.

3.2 Застосування генетичних алгоритмів для оптимізації стратегій відновлення стану дорожнього одягу

Генетичні алгоритми оптимізації стратегій ремонтів дорожнього одягу на мережевому рівні знайшли чільне місце в дослідження зарубіжних авторів [117]. В них було обґрунтовано, що генетичні алгоритми можуть ефективно вирішувати проблему оптимізації управління станом дорожнього одягу на довгострокову перспективу.

В роботі [117] показано, що типова проблема оптимізації для програмування ремонтів дорожнього одягу на рівні мережі характеризується заданою цільовою функцією з урахуванням операційних і ресурсних обмежень. Параметри проблеми можуть бути згруповані в наступні категорії: параметри рішення, параметри мережі, параметри дорожнього одягу, параметри пошкоджень, параметри ремонтів, параметри дорожнього руху і параметри ресурсів для виконання ремонтів.

Параметри рішення складаються зі змінних задачі, які визначають значення цільової функції, що встановлює напрям пошуку в процесі розв’язання задачі. Змінні рішення описують програму ремонту дорожнього одягу. Вони містять інформацію про час і тип ремонту, який повинен виконуватись на кожному сегменті дороги. Варіанти цільової функції включають:

– максимізацію продуктивності ремонтів при визначеному бюджеті і ресурсних обмеженнях;

– максимізацію рівня обслуговування дорожнього одягу при визначеному бюджеті і ресурсних обмеженнях;

– максимізацію використання щорічно виділених коштів;

– мінімізацію чистої приведеної вартості при заданому рівні обслуговування.

Може бути призначений зважений фактор для комбінації названих функцій цілі.

Параметри мережі доріг і дорожнього одягу витягуються з бази даних спостережень стану дорожнього одягу. Інформація про типи пошкоджень та їх серйозність забезпечується даними обстеження доріг.

Функція деградації дорожнього одягу представляє собою аналітичну модель, яка відображує зростання рівня серйозності та рівня розповсюдження пошкоджень як функції від віку дорожнього одягу і транспортного навантаження.

На рис. 3.4 наведений приклад кодування для мережі з двох сегментів для планового періоду з двох років. Структура представлення подібна хромосомам в природній еволюції, відома як генотип. Значення кожного гену являє собою алель [117].

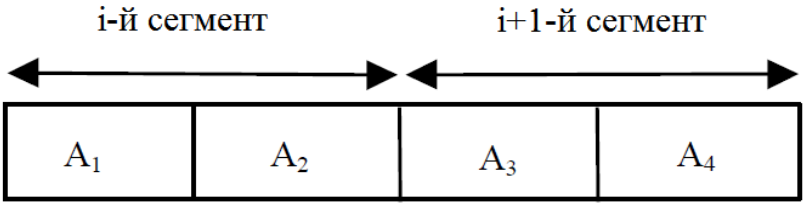
Вихідні дані для оптимізації поточного ремонту запропонованим ГА включають:

– чотири класи доріг згідно класифікації США;

– чотири типа пошкоджень (мілкий та глибокий ямковий ремонт, вирівнювання, заливка тріщин), для яких встановлені три рівні потреби (високий, середній, низький);

– вимоги для виконання робіт (трудовитрати, потреба в обладнанні) та про обмеження в кількості ресурсів;

– рівні терміновості ремонтів (високий, середній, низький).



A_i = 0 ремонт відсутній
= 1 ремонт планується в 1-й рік
= 2 ремонт планується в 2-й рік

Рисунок 3.4 – Генетичне кодування параметрів рішення [117]

В системах управління дорожнім одягом (PMS) програми ремонтів та утримання традиційно проектуються на основі однокритеріальної оптимізації, проте між різними цілями розробки програм існує конфліктність. В такого типу проблемах особа, що приймає рішення, не може бути задоволена оптимальним рішенням за одним критерієм [123].

Принципи багатокритеріальної оптимізації відмінні від принципів оптимізації за одним критерієм. Головна мета оптимізації за одним критерієм – знайти глобальний оптимум функції пристосованості. Однак, в проблемі багатокритеріальній оптимізації присутні більш ніж одна функція цілі, кожна з котрих може мати відмінне від інших оптимальне рішення, тобто функції цілі конфліктують одна з одною. В такому випадку, оптимальним може бути рішення відносно одночасно всіх функцій цілі. Такі оптимальні рішення називається Парето-оптимальними рішеннями від імені економіста Вілфредо

Парето, який в 1896 р. встановив концепцію, названу «Парето оптимальність» [123]. Концепція полягає в тому, що рішення проблеми багатокритеріальної оптимізації звичайно не одне значення, а множина значень – Парето-множина.

Для оптимізації програми використовується генетичний алгоритм, базований на обмеженнях. В проблемі оптимізації факторами, які впливають на оптимальність рішень, є, наприклад, бюджет, час, вимоги до якості, поліпшення стану, продуктивність робіт та можливі ресурси. Обмеження цих факторів є множина гарантій, що кінцевий результат процедури пошуку оптимуму можливий при задоволенні всіх обмежень. Обмеження поєднуються в такі категорії з такими властивостями:

– число обмежень може бути більше одного. В роботі [121] досліджені два обмеження – бюджетні та збереженні системи;

– метричні: оцінка порушення обмеження з точки зору відстані від задоволення обмеження;

– критичність: виражається в термінах абсолютного задоволення. Обмеження зазвичай визначаються як тверді (абсолютні), але деякі з них часто м'які. У деяких випадках, остаточний вибір результату повинен рахуватися з невеликими порушеннями.;

– складність задоволення: вона може бути охарактеризована шляхом порівняння розміру допустимого рішення і простору вибірки, який не може бути апріорно відомий. Два методи можуть бути використані для визначення складності задоволення: як легко можна змінити порушені рішення бути не порушеними рішення, і ймовірність обмеження, які порушуються при пошуку.

Цільовими функціями в роботі [121] прийняті:

– мінімізація транспортних витрат при заданому бюджеті;

– максимізація поліпшення дорожніх умов (стану покриття, який характеризується рівністю).

Значеннями генів хромосом – рішень слугують коди можливих ремонтів від 0 до 5, причому 0 означає відсутність ремонту.

Алгоритм оптимізації включає зовнішній цикл по роках планового періоду і генетичний алгоритм для кожної річної програми ремонтів. Ініціалізація популяції в ГА полягає у визначені виду ремонту (значення кожного гену) та перевірці наявності порушень прийнятих обмежень. Якщо обмеження порушуються, цикл ініціалізації повторюється. Після цього виконуються генетичні оператори, перевіряється умова зупинки ітерацій і, якщо оптимальне рішення не досягнуто, формується наступна популяція. В якості функцій пристосованості обчислюються обидві прийняті цільові функції.

Для пошуку оптимального рішення використовується концепція Парето-оптимальності. Множина не домінованих рішень отримується за допомогою фільтра Парето-множини [121].

Аналіз багатокритеріальних моделей показує, що вони призначені для розв’язання іншої від поставленої в дисертаційному дослідженні задачі. Мета багатокритеріальної оптимізації полягає, перш за все у знаходженні оптимального рівня експлуатаційного показника в сенсі концепції, наведеної на рис. 2.10. В дисертаційному дослідженні авторкою розв’язується задача визначення бюджету, достатнього для відновлення стану дорожнього одягу до прийнятого в нормативних документах рівня за певну задану кількість років при оптимальному рівні обслуговування. Це дозволяє обмежитись тільки одним критерієм.

3.3 Генетичний алгоритм пошуку оптимальної стратегії виконання програми ремонтів дорожнього одягу

Генетичний алгоритм (ГА) оптимізації програми ремонтів дорожнього одягу є складовою частиною моделі управляння програмою ремонтів, основні теоретичні засади якої запропоновані у другому розділі дисертаційної роботи. В процесі розробки ГА були прийняті наступні передумови:

– ГА спирається на базу вихідних даних Системи управління станом покриття (СУСП), в рамках якої збирається, зберігається і оброблюється

інформація щодо поточного стану дорожніх одягів автомобільних доріг України державного значення (міжнародних, національних, регіональних і територіальних);

– прийнята модель деградації стану дорожнього одягу в своїй основі базується на моделях деградації міцності дорожнього одягу, рівності і зчеплення його покриття;

– дані про геометричні параметри, конструкцію дорожнього одягу, інтенсивність та склад руху та інші необхідні для застосування моделей деградації дорожнього одягу і прогнозування транспортних витрат вибираються з СУСП;

– ділянки доріг, які при перевищення пропускної спроможності вимагають реконструкції, розглядаються до року реконструкції і після неї з новими параметрами, однак проблема планування реконструкції в даній дисертаційній роботі не розглядається, так як виходить за рамки поставлених задач;

– обмеження на значення керованих змінних пропонованого ГА обумовлені нормативними вимогами щодо гранично допустимих рівнів змінних параметрів деградації властивостей дорожнього одягу і його покриття, а також ресурсними обмеженнями на виконання ремонтів;

– вибір виду ремонту на конкретній ділянці дороги - модулі обумовлюється експлуатаційним станом дорожнього одягу, наприклад, поточний середній ремонт покриття не повинен виконуватись у тих випадках, коли коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу менший нормативного;

– з метою запобігання виходу керованих змінних ГА за межі області їх визначення властивості генів не кодуються двійковим кодом, а використовуються їх звичайні значення;

– ГА застосовується для оптимізації річних програм ремонтів, кількість яких дорівнює кількості років дії програми ремонтів дорожнього одягу (рис. 2.6);

– в якості критерію оптимізації – функції пристосованості ГА прийнята цільова функція (2.20). Бюджет та потрібні ресурси враховуються в обмеженнях;

– реалізована ідея застосування «жорстких» та «м’яких» обмежень, останні допускають перевищення заданого бюджету або кількості ресурсів, яке може виникати в процесі виконання генетичних операторів.

Структура даних про автомобільні дороги і дорожній одяг обумовлюється прийнятою схемою їх державного кодування, адміністративної та технічної класифікації, належності до певних адміністративно-територіальних одиниць (областей), обслуговуючих дорожньо-ремонтних організацій, даними спостережень експлуатаційних якостей та моделями деградації в СУСП за схемою, наведеною на рис. 3.5.

Згідно вимог СУСП дорога поділяється на елементарні ділянки –модулі, довжиною, як правило, рівною 1000 м або меншою, для забезпечення однорідності умов експлуатації та технічних параметрів дороги, а також у відповідності до діючої практики вимірювання експлуатаційних якостей дорожнього одягу [4].

В пропонованому ГА такі ділянки поєднуються в програмні модулі і у відповідність ним ставиться один ген. Інформація про модулі дорожнього одягу отримується з бази даних СУСП і включає параметри, наведені в табл. 3.1.

Структура даних про поточний стан дорожнього одягу виконання програми ремонтів наведена в табл. 3.2. Структура гену хромосоми наведена в табл. 3.3. Ген містить дві керовані змінні:

– вид ремонту:

– товщину шару підсилення або товщина шару поточного середнього ремонту.

$$F = f(P, m, h_n) \Rightarrow \min, \tag{3.1}$$

де F - функція пристосованості ГА;

P - вектор параметрів гену (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Структура даних про модуль дорожнього одягу

$n_о$	номер модулю
$К_д$	код дороги
$h_{пзш}$	приведена товщина зв'язаних шарів дорожнього одягу, см
$S_п$	рівність покриття в прямому напрямі, см/км
$S_з$	рівність покриття у зворотному напрямі, см/км
$S_{доп}$	нормативно допустимий показник рівності, см/км
$Kfi_п$	коефіцієнт зчеплення покриття в прямому напрямі
$Kfi_з$	нормативно допустимий коефіцієнт зчеплення
$Kz_ф$	коефіцієнт запасу міцності фактичний
$Kz_{доп}$	коефіцієнт запасу міцності допустимий
$E_ф$	фактичний модуль пружності дорожнього одягу, МПа
N	сумарна середньорічна добова інтенсивність руху, авт./добу
$N_п$	приведена інтенсивність руху, авт./добу
Q	коефіцієнт приросту інтенсивності руху

Таблиця 3.2 – Структура даних про поточний стан модулю дорожнього одягу на кінець поточного року

$n_о$	номер модулю
$К_д$	код дороги
$h_п$	товщина шару підсилення
$h_{пзш}$	приведена товщина зв'язаних шарів дорожнього одягу, см
α	поточний параметр для прогнозування рівності
S	поточна усереднена рівність покриття
Kfi	поточний усереднений коефіцієнт зчеплення покриття
Kz	поточний коефіцієнт запасу міцності
$E_ф$	поточний модуль пружності дорожнього одягу
N	середньорічна добова інтенсивність руху
$N_п$	приведена інтенсивність руху
$C_{кр}$	вартість капітального ремонту, тис. грн
$C_{ср}$	вартість поточного середнього ремонту, тис. грн
$C_{др}$	вартість поточного дрібного ремонту та утримання, тис. грн
$T_в$	транспортні витрати, тис. грн
m	Здійснений варіант ремонту

Таблиця 3.3 - Структура гену хромосоми

n_o	номер гену, рівний номеру модуля
M	вид ремонту: -2 – не вибраний; -1 – капітальний ремонт; 0 – поточний дрібний ремонт та утримання; >0 – метод капітального або поточного середнього ремонту;
$h_п$	товщина шару підсилення
$h_{пзш}$	приведена товщина зв'язних шарів
Kz	коефіцієнт запасу міцності на кінець року
S	рівність на кінець року
Kfi	коефіцієнт зчеплення на кінець року
$C_{кр}$	вартість капітального ремонту, тис. грн
$C_{ср}$	вартість поточного середнього ремонту, тис. грн
$C_{др}$	вартість поточного дрібного ремонту та утримання дорожнього одягу, тис. грн
$T_в$	транспортні витрати, тис. грн
α	параметр для прогнозування рівності
R	варіант виду капітального або поточного середнього ремонту

Вибір виду ремонту залежить від поточного експлуатаційного стану дорожнього одягу модуля та бюджетних і ресурсних обмежень. Капітальний ремонт призначається, коли коефіцієнт запасу міцності не задовольняє нормативним вимогам, але можливість його призначення залежить від залишку бюджетних коштів, інших ресурсів, тобто від обмежень задачі. Теж саме можна стверджувати відносно поточного середнього ремонту покриття дорожнього одягу, який призначається по виходу показника рівності за нормативну границю.

В ГА прийнято, що у випадках, коли призначено капітальний або поточний середній ремонт модуля, витрати на поточний дрібний ремонт та утримання дорожнього одягу враховується в складі вартості цих ремонтів.

Керована змінна $h_п$ означає товщину шару підсилення при виконання капітального ремонту або товщину шару вирівнювання при виконанні поточного середнього ремонту, розраховується різними залежностями або алгоритмами.

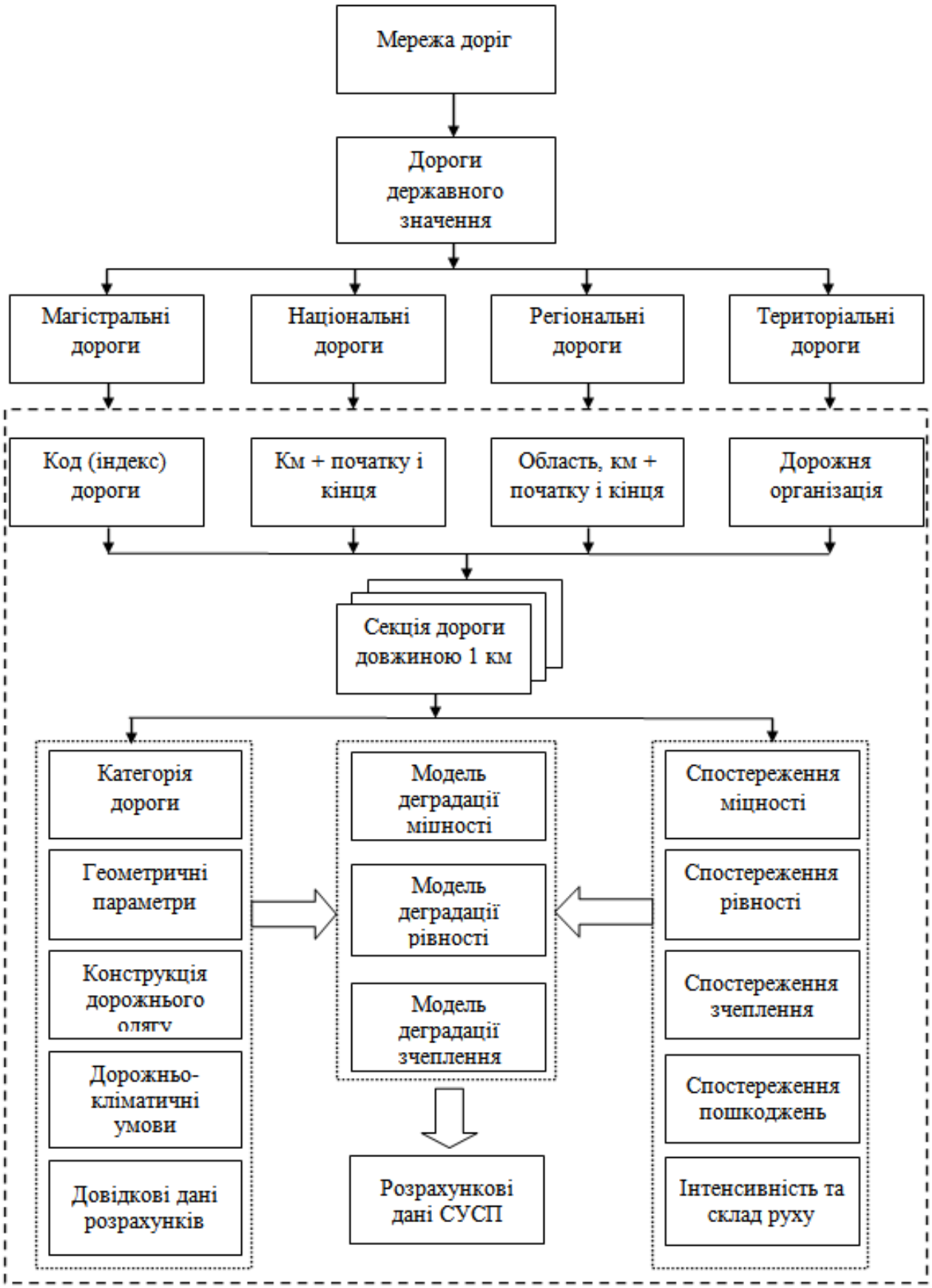


Рисунок 3.5 – Структура даних СУСП

Для капітального ремонту:

$$h_п = \sqrt{\frac{\left(\frac{E_р^2}{E_н^2} \cdot \left[\frac{(E_ш - E_н)}{(E_ш - E_р)}\right]^2 - 1\right)}{\left[\frac{E_ш}{E_н}\right]^{\frac{2}{3}}}} \cdot \frac{D}{2}, \qquad (3.2)$$

де $E_р$ – розрахунковий модуль пружності;

$E_н$ – модуль пружності нижніх шарів дорожнього одягу;

$E_ш$ – модуль пружності шару підсилення;

D – діаметр сліду колеса, D = 37 см.

Потрібний розрахунковий модуль пружності обчислюється за двома варіантами: одно стадійного і двостадійного капітального ремонту. В обох варіантах підсилення розраховується на період $T_{кр}$, тільки в першому варіанті $T_{кр} = T_н$, а в другому $T_{кр}$ = k$T_н$, де $T_н$ – нормативний строк служби дорожнього одягу, в розрахунках прийнято k = 0.5.

Приведена до розрахункового навантаження інтенсивність руху:

$$N_р = N_{р,0} \cdot q^{T_{кр}+t}, \qquad (3.3)$$

де $N_р$ – розрахункова приведена середньорічна добова інтенсивність руху, авт./добу;

$N_{р,0}$ – початкова розрахункова приведена середньорічна добова інтенсивність руху в рік перед початком здійснення програми ремонтів;

q – коефіцієнт приросту руху;

t – поточний рік виконання програми ремонтів.

Потрібний модуль пружності дорожнього одягу розраховується за формулою:

$$E_n = 56.1 + 68.9 \cdot \log_{10}(N_p \cdot f), \tag{3.4}$$

де f – коефіцієнт врахування кількості смуг руху.

Товщина шару поточного середнього ремонту розраховується шляхом підбору з рівняння за допомогою розробленого алгоритму:

$$\Delta_n = S_{доп} \cdot (1 - \exp(-0.6 \cdot h_n) + 13 \cdot h_n^{0.7}, \tag{3.5}$$

$$h_n \le h_{\max},$$

де Δ_n - потрібне зниження показника рівності покриття;

$S_{доп}$ - допустиме значення показника рівності покриття;

h_n – товщина шару поточного середнього ремонту;

h_{max} – максимально допустима товщина шару поточного середнього ремонту.

Укрупнена схема ГА наведена на рис. 3.6. Робота ГА починається з формування структури вихідних даних, наведених в табл. 3.1 і 3.2.

Вихідні дані отримуються з бази даних СУСП, в якій вони попередньо обробляються в потрібному смислі. Дані попередньо закачуються у вихідну таблицю Microsoft Excel за допомогою спеціального запиту до бази даних. Ця таблиця доповнюється інформацією про методи ремонтів і обмеження.

Окрім того, вводяться параметри ГА, такі як кількість хромосом в популяції, максимальна кількість генерацій (поколінь або епох), імовірність кросоверу та мутації, правило зупинки алгоритму, використання стратегії елітизму або ні, метод вибору модулів для включення в програму ремонтів та інші необхідні параметри.

Далі формується поточний стан всіх модулів дорожнього одягу на кінець так званого 0-го року як множина структур даних табл. 3.2 за кількістю модулів. Саме перетворення поточного стану модулів в результаті щорічного застосування ГА відображує траєкторію виконання програми ремонтів.

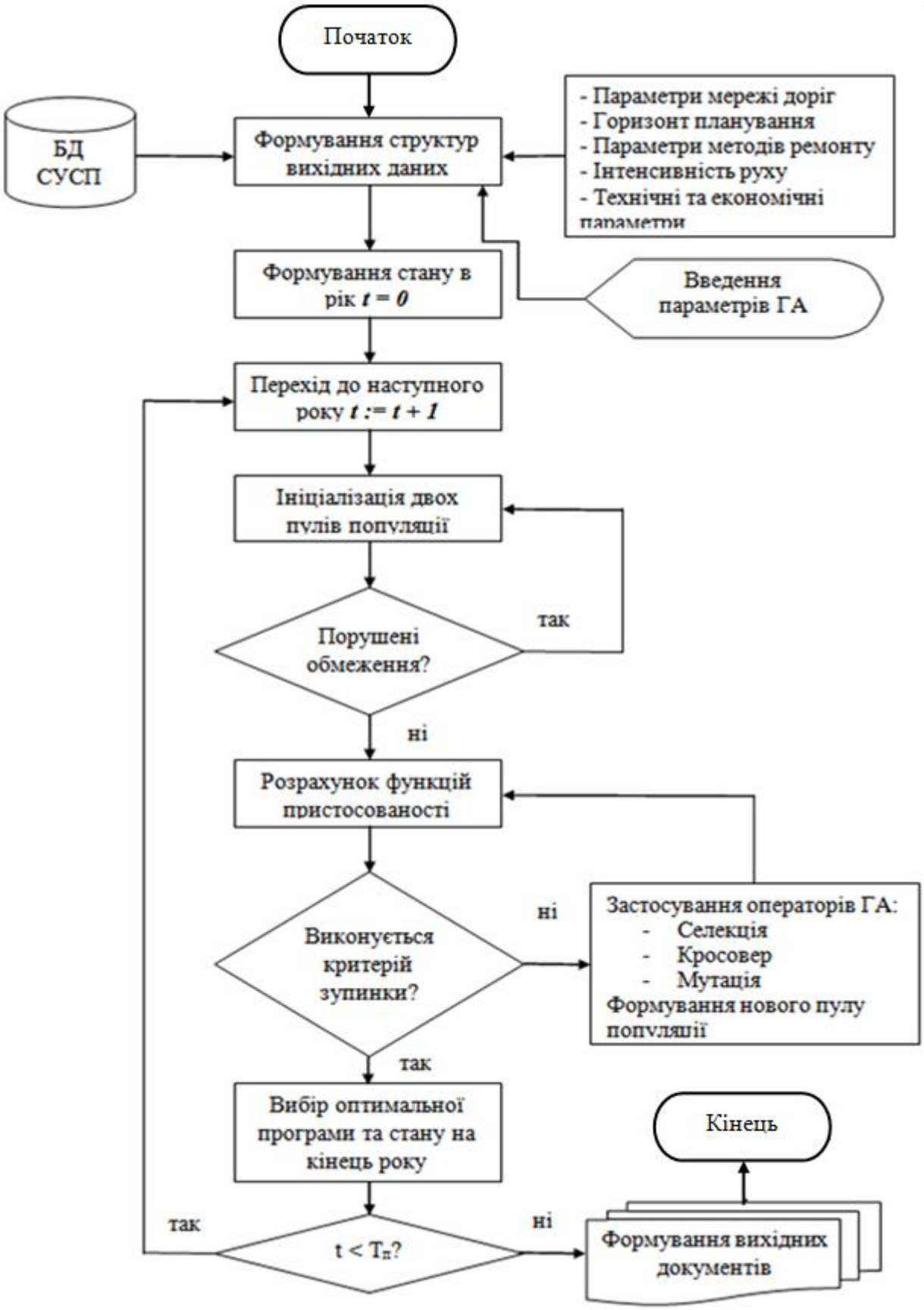


Рисунок 3.6 – Укрупнена схема ГА

Початком роботи ГА є формування двох масивів даних, які називаються пулами, що утворюють початкові популяції хромосом – рішень. Схема алгоритму ініціалізації популяції наведена на рис. 3.7.

Приймаючи до уваги наявність бюджетних обмежень, не всі модулі, які потребують того чи іншого ремонту, можуть бути відремонтовані в поточному році. Тому запропоновані два способи відбору модулів для призначення ім. того чи іншого виду ремонту:

1) вибір гену з однаковою імовірністю, коли визначається рівномірно розподілене в інтервалі [0, max(n_o)], де n_o – номер гену, випадкове число *r* і номер вибраного гену $n_o = r$;

2) вибір гену в залежності від його пріоритету, який обернено пропорційний коефіцієнту запасу міцності модуля дорожнього одягу на початок року:

$$P_{n_o} = \frac{1}{Kz(yearNo-1, n_o)} \cdot \frac{N_{n_o}}{\sum_{n_o=0}^{\max(n_o)} N_{n_o}}, \qquad (3.6)$$

де позначення відповідають структурі даних табл. 3.2.

Вибраний ген не повертається до розглядуваної множини генів, а ця множина зменшується на один елемент.

Застосування одного з цих методів задається при введенні параметрів ГА.

Після відбору номеру гену за спеціальним алгоритмом визначаються вид і методу ремонту та його параметри за алгоритмом, схема якого наведена на рис. 3.8.

Формування даних для призначення ремонту означає вибірку поточних експлуатаційних параметрів зі структури даних поточного стану (табл. 3.2) та необхідних постійних параметрів розрахунків зі структури даних про модуль дорожнього одягу (табл. 3.1).

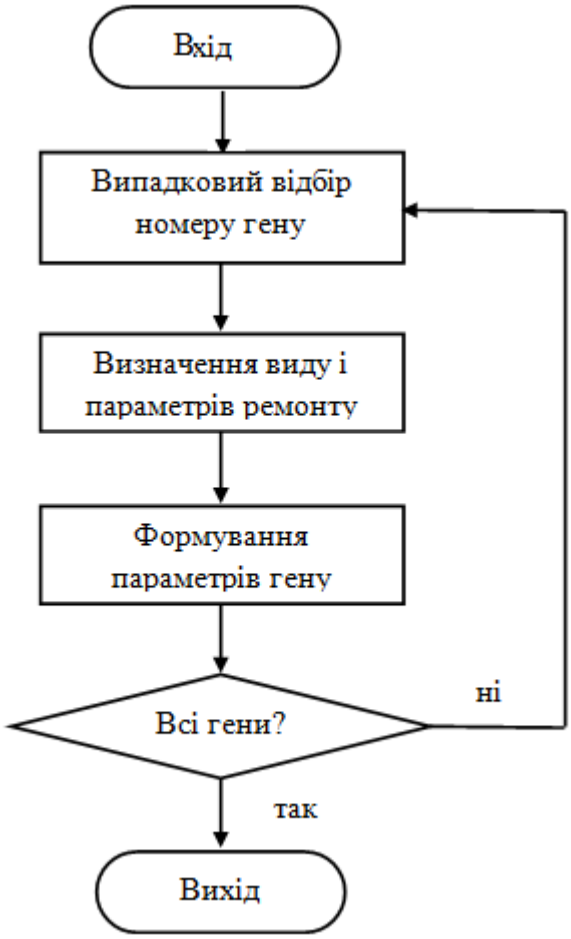


Рисунок 3.7 - Схема алгоритму ініціалізації популяції

Зменшення коефіцієнту запасу міцності, яке відбувається за один рік розраховується за методом, наведеним на рис. 2.7, моделі деградації міцності дорожнього одягу. Швидкість деградації визначається виходячи з параметрів конструкції дорожнього одягу, відповідних розглянутому модулю.

Виконується розрахунок приведеної до розрахункового навантаження інтенсивності руху N_n, після чого розраховується прогнозований фактичний модуль пружності дорожнього одягу.

Розраховується також річне значення збільшення показника рівності покриття дорожнього одягу S з використанням залежностей (2.5), (2.6) і (2.7).

В залежності від розрахованого показника рівності покриття визначаються транспортні витрати (2.18).

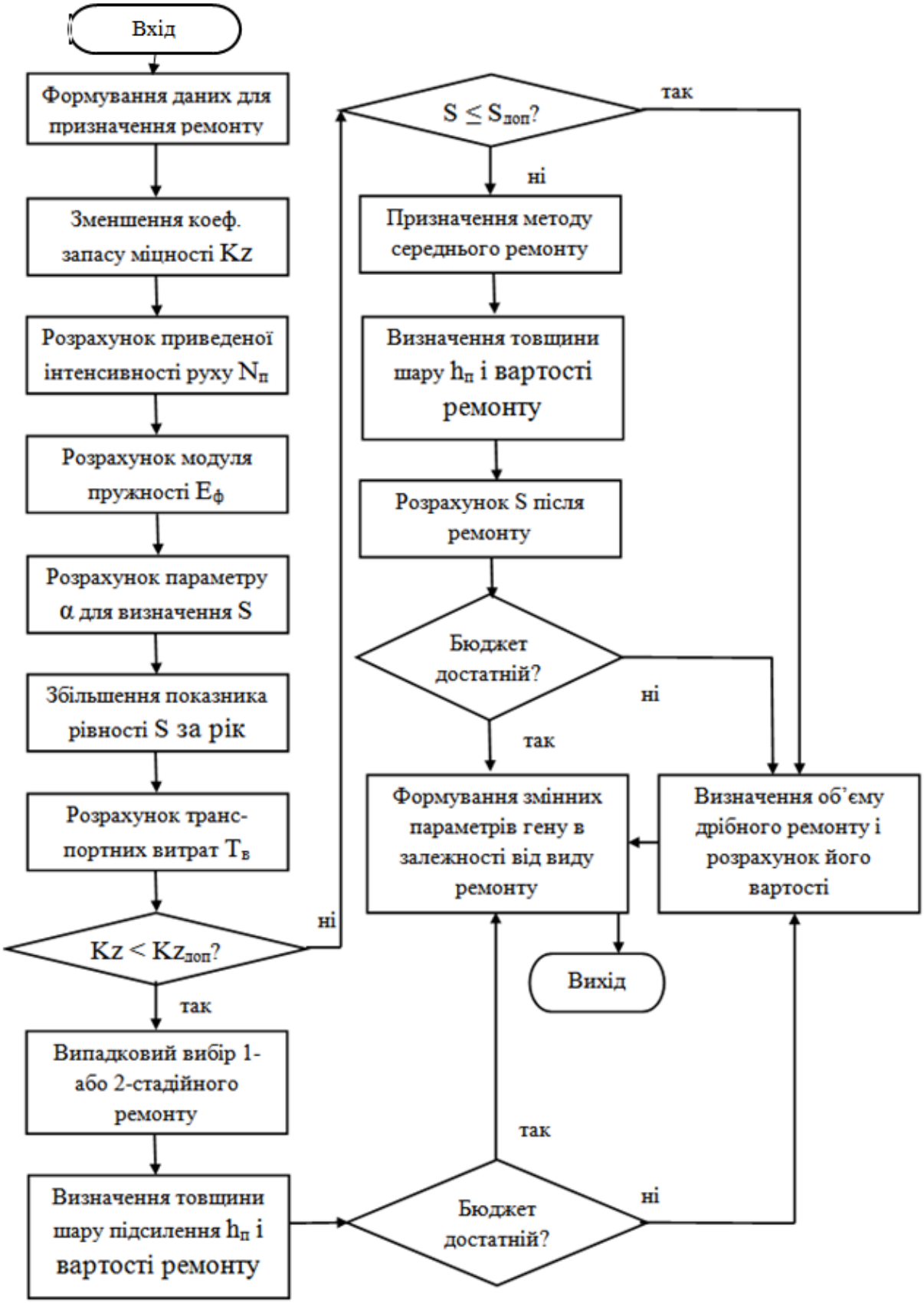


Рисунок 3.8 - Схема алгоритму визначення виду і методу ремонту та його параметрів

Далі перевіряється умова необхідності капітального ремонту модулю, яка визначається виконанням умови:

$$Kz < Kz_{доп}, \tag{3.7}$$

тобто коли фактичний коефіцієнт запасу міцності менший ніж допустимий для даної категорії дороги.

Якщо капітальний ремонт необхідний, то спершу випадковим чином визначається стадійність ремонту – в одну або в дві стадії, $T_{кр} = kT_н$, де $T_н$ – нормативний строк служби дорожнього одягу, а k = 1 або 0.5. Потім за формулою (3.2) розраховується товщина шару підсилення дорожнього одягу. Визначається вартість ремонту, яка порівнюється з величиною залишку бюджетних коштів. Якщо коштів достатньо, то капітальний ремонт призначено, і залишок бюджетних коштів зменшується на величину вартості капітального ремонту модуля. Якщо капітальний ремонт не може бути виконаний з-за бюджетного обмеження, то відбувається перехід до розрахунку витрат на поточний дрібний ремонт та утримання дорожнього одягу. Слід відмітити, що поточний середній ремонт у такому випадку не призначається, тому що він не впливає на міцність дорожнього одягу, а витрати на нього будуть марними.

Якщо необхідне виконання поточного середнього ремонту, то з допустимих методів ремонту, які відрізняються матеріалами, технологією і, відповідно, вартістю, випадковим чином вибирається один з варіантів, з рівняння (3.7) визначається товщина шару ремонту та показник рівності, що буде забезпечений цим ремонтом. Коли вартість ремонту перевищує залишок бюджетних коштів, призначених на поточні середні ремонти та утримання дорожнього одягу, то ремонт не призначається, інакше формуються змінні параметри гену, зв’язані з поточним середнім ремонтом.

Після ініціалізації початкової популяції виконується цикл застосування операторів генетичного алгоритму: селекція, кросовер (схрещування) та мутація.

Схема алгоритму однієї генерації алгоритму – епохи наведена на рис. 3.9. Спочатку з першого пулу популяції вибирається хромосома з мінімальним значенням функції пристосованості. Якщо задана стратегія елітизму, то ця хромосома поміщується до другого пулу популяції, і цикл розгляду хромосом починається з 1-ї хромосоми, інакше – з 0-ї хромосоми. Стратегія елітизму задається параметром e, який приймає значення 0 або 1. Потім вибирається ch_i хромосома з другого пулу, яка буде модифікована оператором мутації. На основі турнірного відбору (або відбору методом рулетки) вибирається краща хромосома ch_j з першого пулу, а значення її параметрів копіюються в хромосому другого пулу ch_i.

Для здійснення оператора кросоверу генерується рівномірно розподілене в інтервалі від 0 до 1 випадкове число R, і, якщо воно менше або дорівнює імовірності кросоверу, то оператор кросоверу виконується, інакше – ні. При виконанні оператора кросоверу створюється так звана «батьківська» пара хромосом ch_k, ch_n, відносно яких і здійснюється схрещування, як показано на рис. 3.2.

Наступний крок ГА полягає у здійсненні оператора мутації. Він здійснюється при умові, коли знов згенероване випадкове число R не перевищує імовірності мутації $P_м$. Мутують гени хромосоми ch_i.

Наявність обмежень ГА обумовлює необхідність їх врахування в операторах кросоверу і мутації. Схема алгоритму кросоверу наведена на рис. 3.10.

Особливістю цього оператору є перевірка достатності бюджетних коштів. У випадку їх недостачі, попередньо призначений капітальний або поточний середній ремонт відміняється.

Схема алгоритму мутації наведена на рис. 3.11. Особливістю алгоритму мутації є необхідність відміни певних видів ремонтів, якщо вони призначені, або встановлення капітального, поточного середнього ремонту чи поточного дрібного ремонту. В останньому випадку використовується алгоритм визначення виду і варіанту ремонту та його параметрів (рис. 3.10).

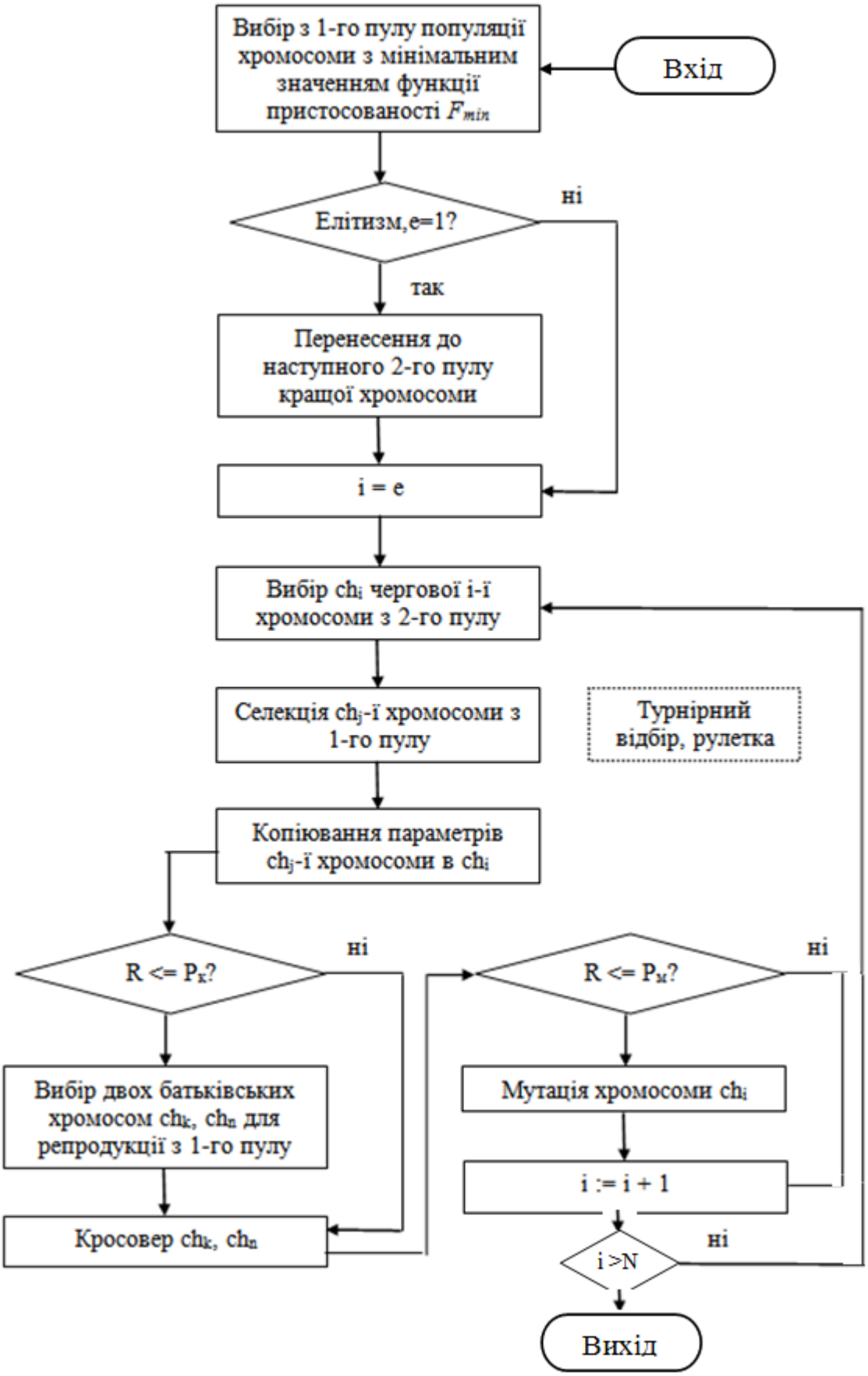


Рисунок 3.9 - Фрагмент алгоритму однієї генерації алгоритму – епохи

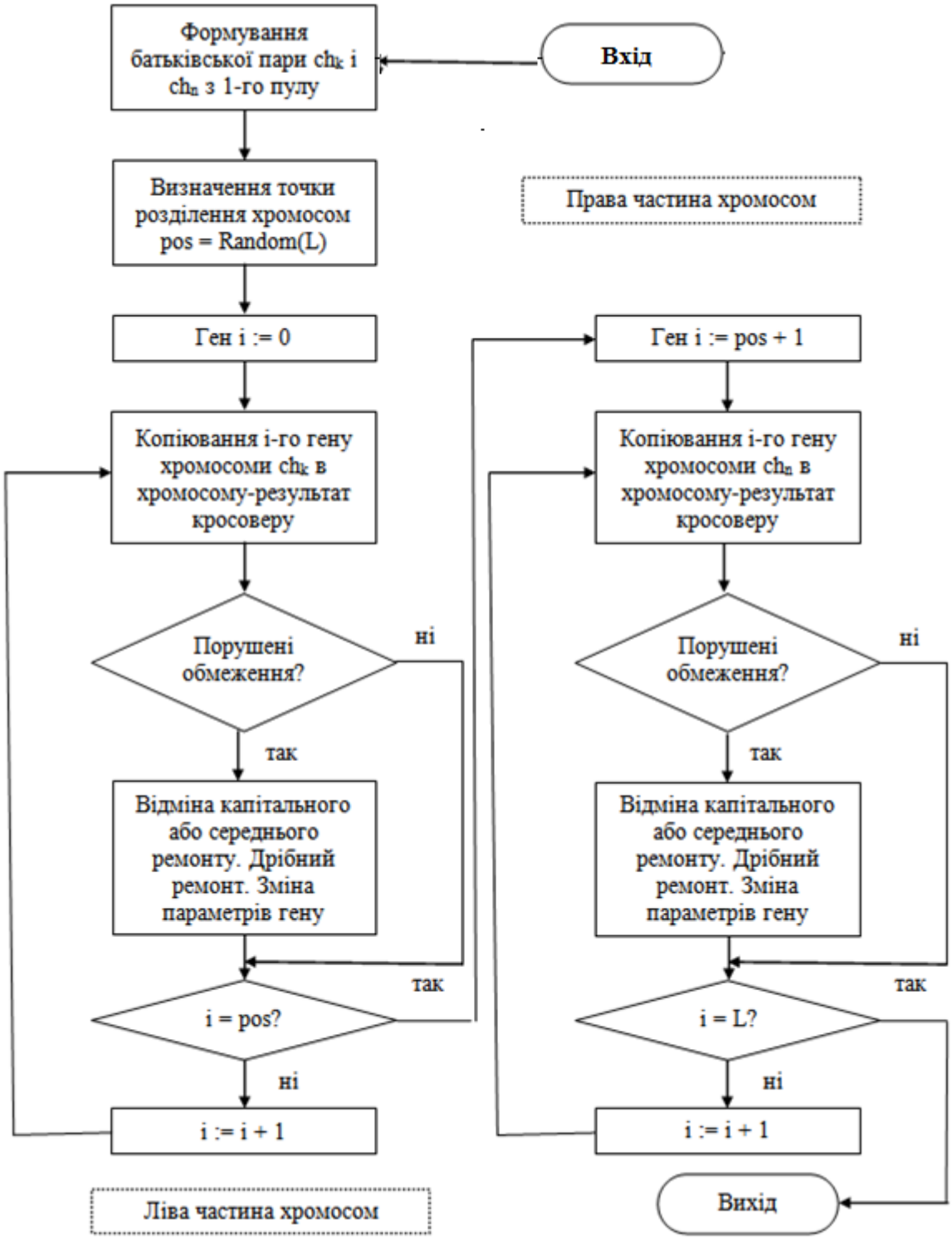


Рисунок 3.10 - Схема алгоритму оператора кросоверу: pos – точка кросоверу; L – кількість генів; Random(L) – функція визначення випадкового номера гену

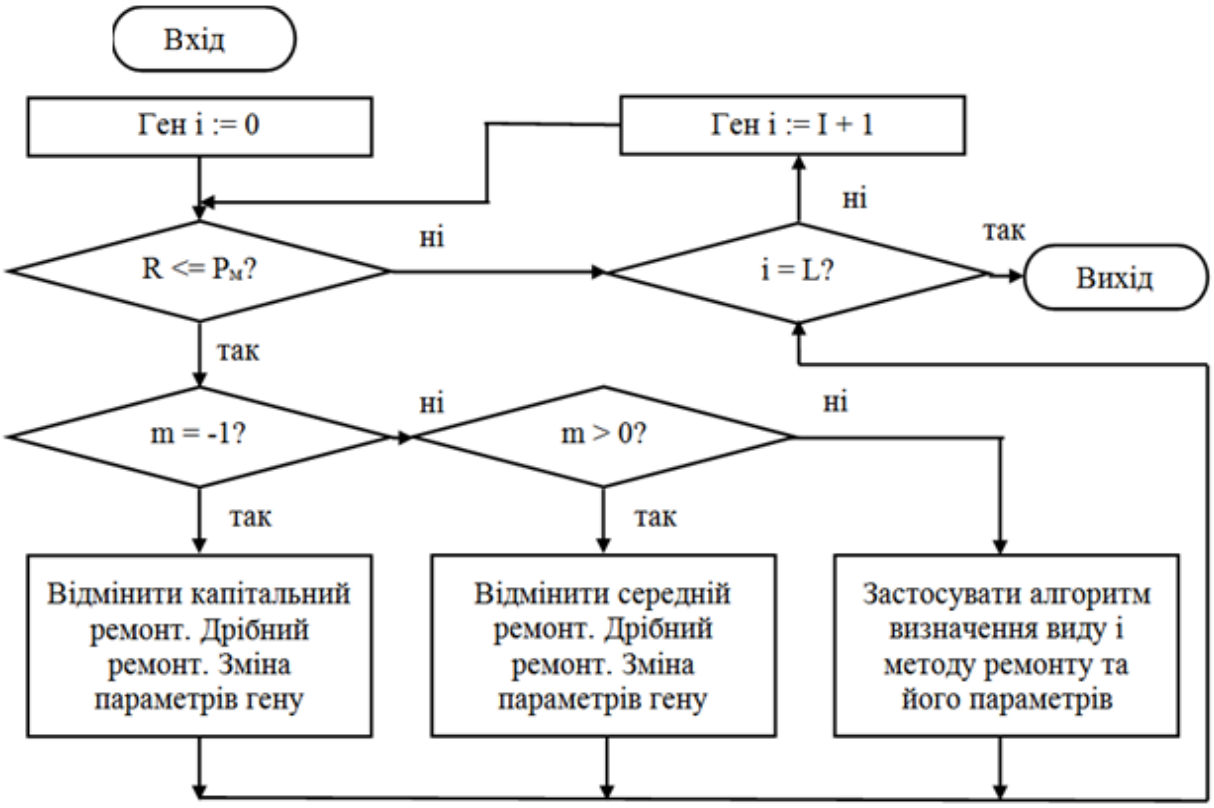


Рисунок 3.11 - Схема алгоритму оператора мутації: R випадкове число; L– кількість генів

3.4 Дослідження впливу параметрів генетичного алгоритму на ефективність пошуку оптимальних рішень

Запропонований в п. 3.3 ГА реалізовано у вигляді комп’ютерної програми, яка дозволяє виконати дослідження впливу вхідних параметрів ГА на характер змін цільової функції і є основою пошуку оптимальних рішень з управління програмою ремонтів дорожнього одягу нежорсткого виду. Детальний опис програми і методика її використання в управлінні програмою ремонтів дорожнього одягу наведені в розділі 4 дисертації.

З метою кращого відображення цільової функції в комп’ютерній програмі обчислюється функція пристосованості - функцією розрахунку транспортних витрат в рік *t*, обумовлені виконанням *r*-го виду ремонту на *n*-му модулі дороги в рік *t* методом *m(r)* (2.20), в якій транспортні витрати становлять різницю між

фактичними транспортними витратами і транспортними витратами для нового покриття з показником рівності 45 см/км. Ця різниця далі називається величиною перевищення транспортних витрат.

Для виконання комп'ютерних експериментів з бази даних СУСП вибрана ділянка дороги М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград - Знам'янка з сумарною протяжністю 225 км, що складається з 225 модулів, кожна по 1 км. Вихідні дані готуються у таблицях Microsoft Excel.

Задачі експериментального дослідження запропонованого ГА полягають у вивченні впливу на значення функції пристосованості основних параметрів ГА: чисельності популяції, кількості генерацій (поколінь або епох) алгоритму, ймовірностей кросоверу та мутації та інших, а також можливості використання ГА в управлінні програмою ремонтів дорожнього одягу. З метою розв'язання цих задач в комп'ютерній програмі передбачені можливості маніпулювання вихідними даними і відповідні вихідні форми і графіки, які містять результати досліджень.

Головна екранна форма програми наведена на рис. 3.12. на ній розміщені елементи управління даними, які можуть бути змінені дослідником. Відображення результатів експериментів здійснюється у вигляді графіків (рис. 3.13 та 3.14) та даних таблиць Excel (наприклад, рис. 3.15). Результати досліджень складають інформацію, потрібну для формування сукупності річних програм ремонтів доріг та всієї програми на передбачений період її виконання.

Звичайно в дослідженні генетичних та еволюційних алгоритмів розглядається вплив ймовірностей кросоверу та мутації на пошук глобального оптимуму [117], тому в даній дисертаційній роботі, насамперед, був досліджений вплив цих параметрів генетичного алгоритму.

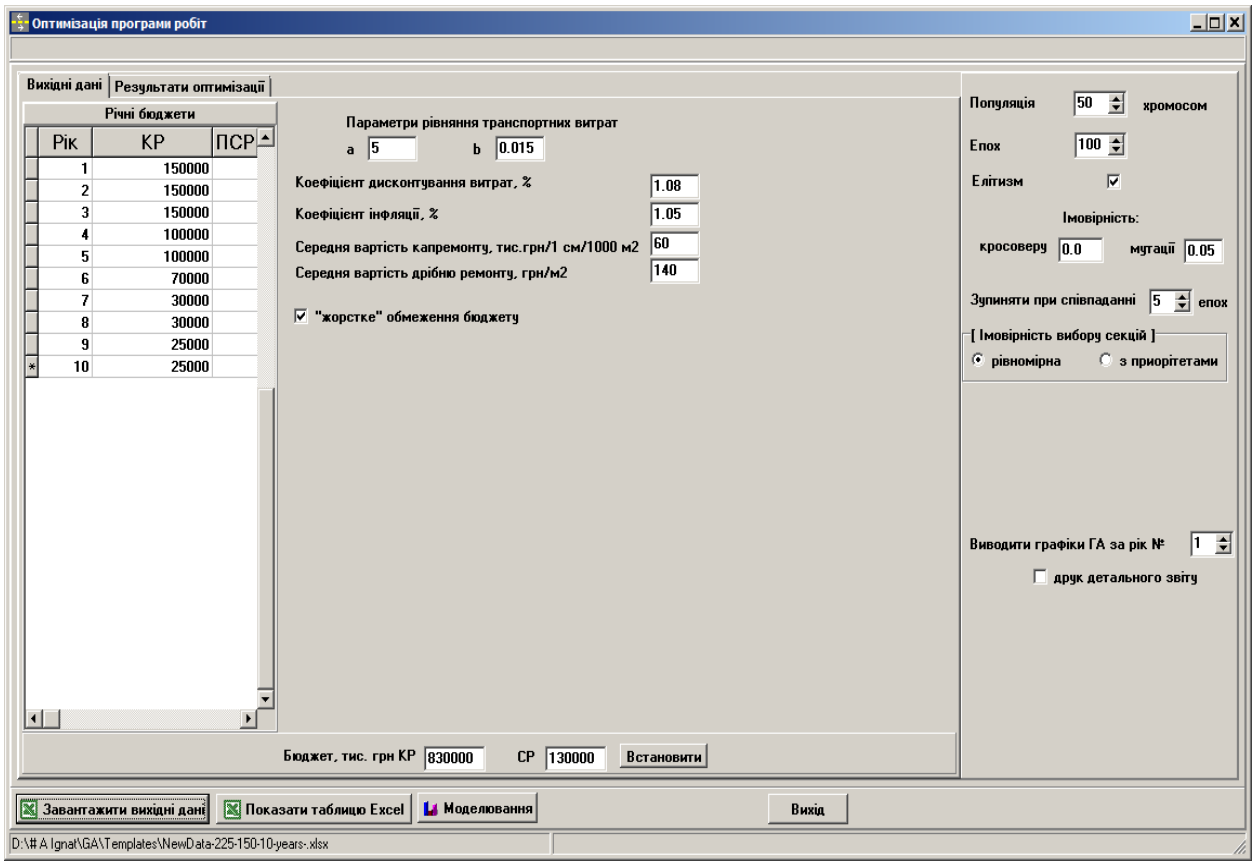


Рисунок 3.12 – Головна екранна форма програми ГА

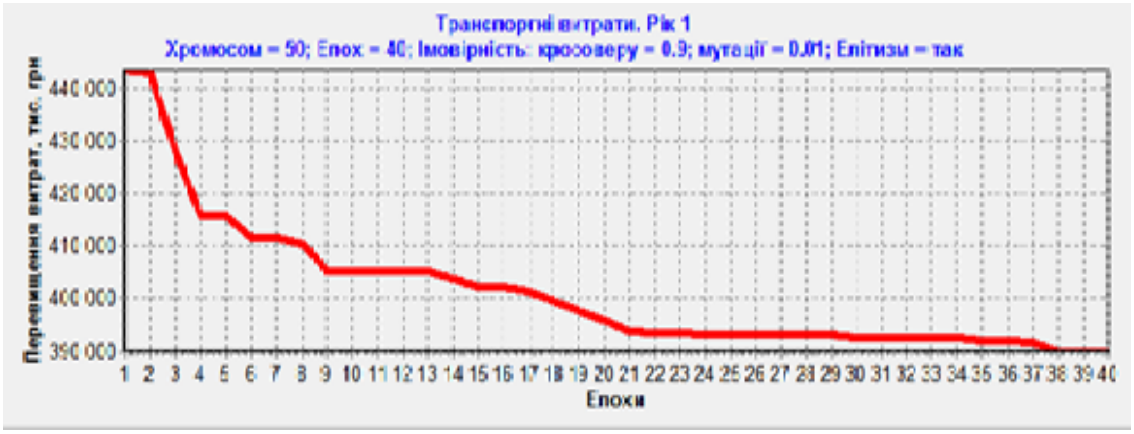


Рисунок 3.13 – Графіки оптимізації транспортних витрат

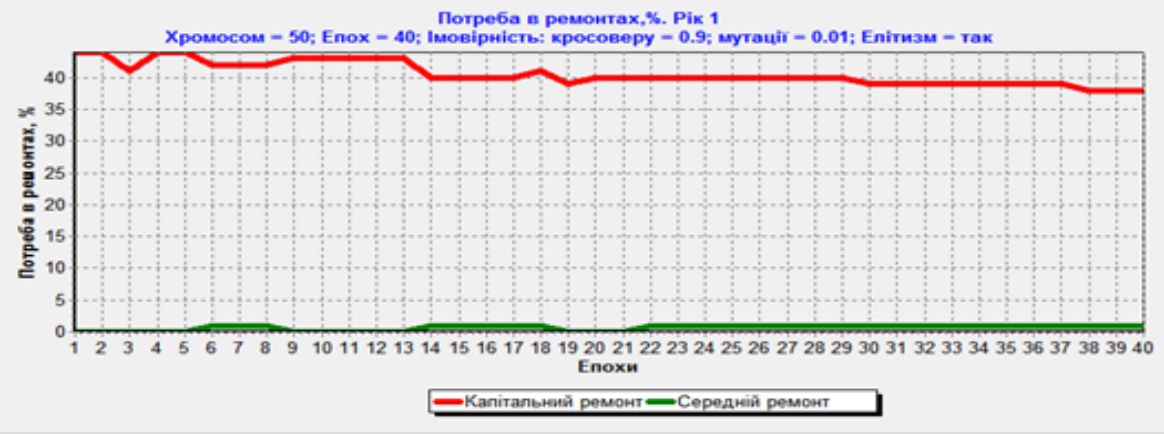


Рисунок 3.14 – Графік потреби в ремонтах

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ										
2	C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx										
3											
4											
5	Розмір популяції	Кількість епох	Елітизм	Імовірність		Сумарні витрати, тис	Дорожні	Транспортні	Стан		Характер обмежень
6				кросоверу	мутації				% КР	% ПСР	
7	50	100	+	0.9	0.1	2 896 953	947 287	1 949 666	12	16	жорсткі
8	50	100	+	0.9	0.1	2 795 777	1 057 198	1 738 579	2	20	м'які
9											

Рисунок 3.15 – Одна з таблиць результатів досліджень

Дослідження запропонованого оператору кросоверу (схема алгоритму на рис. 3.10) показали, що так зване «жорстке» дотримання обмежень задачі оптимізації приводить до необхідності відміни виконання призначеного капітального або поточного середнього ремонту з-за порушення обмеження, хоча на етапі ініціалізації пари батьківських хромосом вони обидві задовольняють обмеженням [37]. Коли ж відбувається обмін ділянками хромосом (рис. 3.2), сума витрат на ремонти може виходити за верхню границю. Отже ефективність оператору кросоверу знижується (зростає величина функції пристосування), як показано на рис. 3.16. В такому випадку застосування оператору кросоверу небажане.

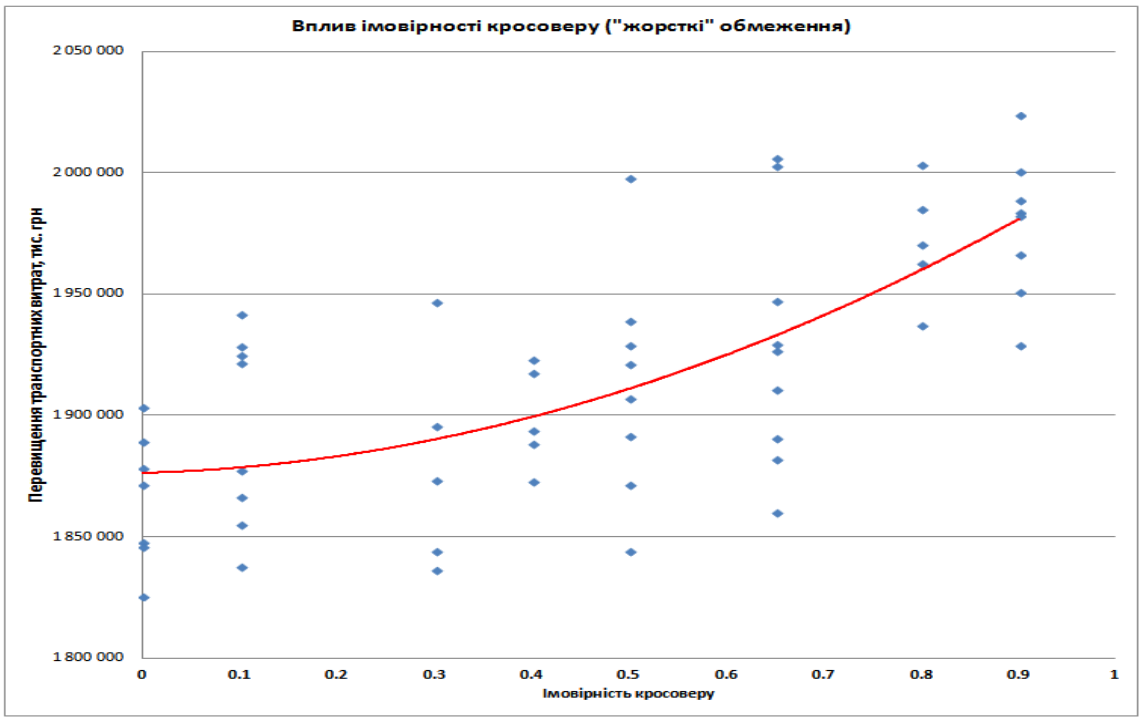


Рисунок 3.16 – Ефективність кросоверу при «жорстких» обмеженнях

Приймаючи до уваги цей факт, була висунута пропозиція введення так званих «м’яких» обмежень. Сутність їх зводиться до того, що на етапі ініціалізації хромосом всі обмеження виконуються, а при виконанні оператора кросоверу перевірка обмежень не здійснюється. Схожий підхід був застосований авторами роботи [121]. На рис. 3.17 наведені результати дослідження оператора кросоверу у випадку «м’яких» обмежень. Ведене поняття «м’яких» обмежень може бути корисним для визначення щорічних обмежень на виконання програми ремонтів дорожнього одягу.

На рис. 3.18 і 3.19 наведені графіки впливу імовірності мутації. Найбільшу ефективність оператор мутації в розробленому ГА має при малих значеннях імовірності мутації – від 0.025 до 0.05.

Чисельність популяції також демонструє тенденцію до зниження значення функції пристосування при збільшенні чисельності (рис. 3.20).

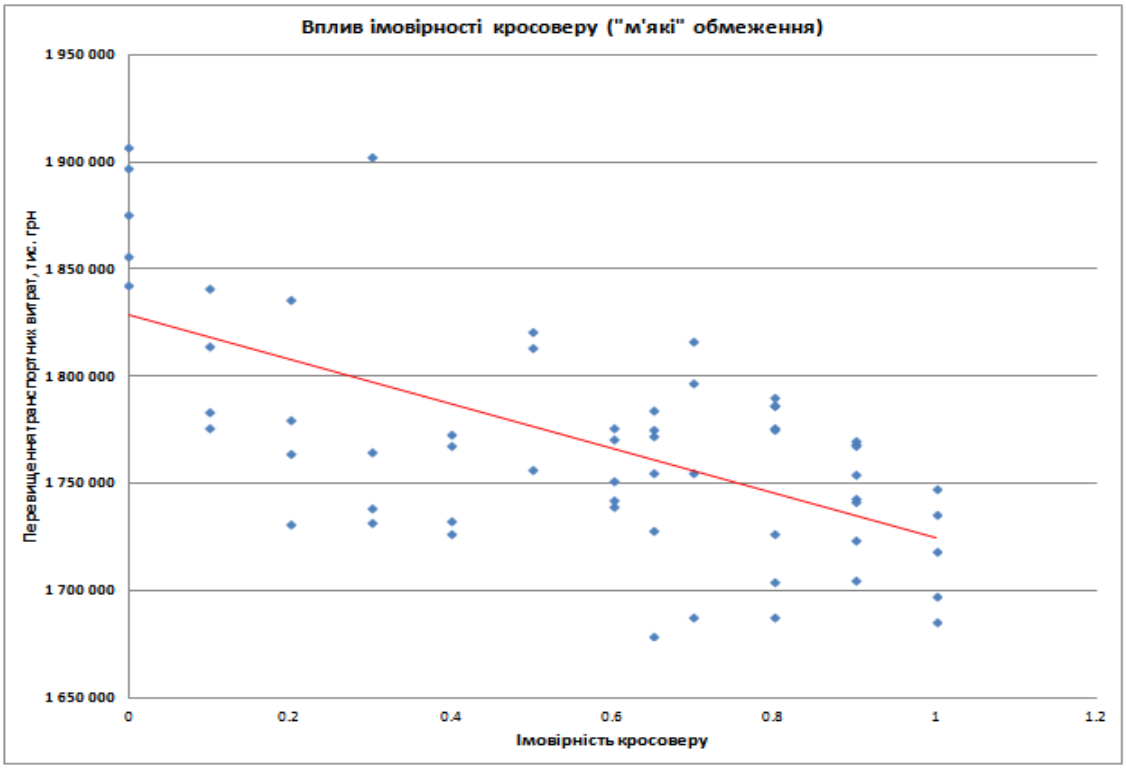


Рисунок 3.17 – Ефективність кросоверу при м’яких обмеженнях

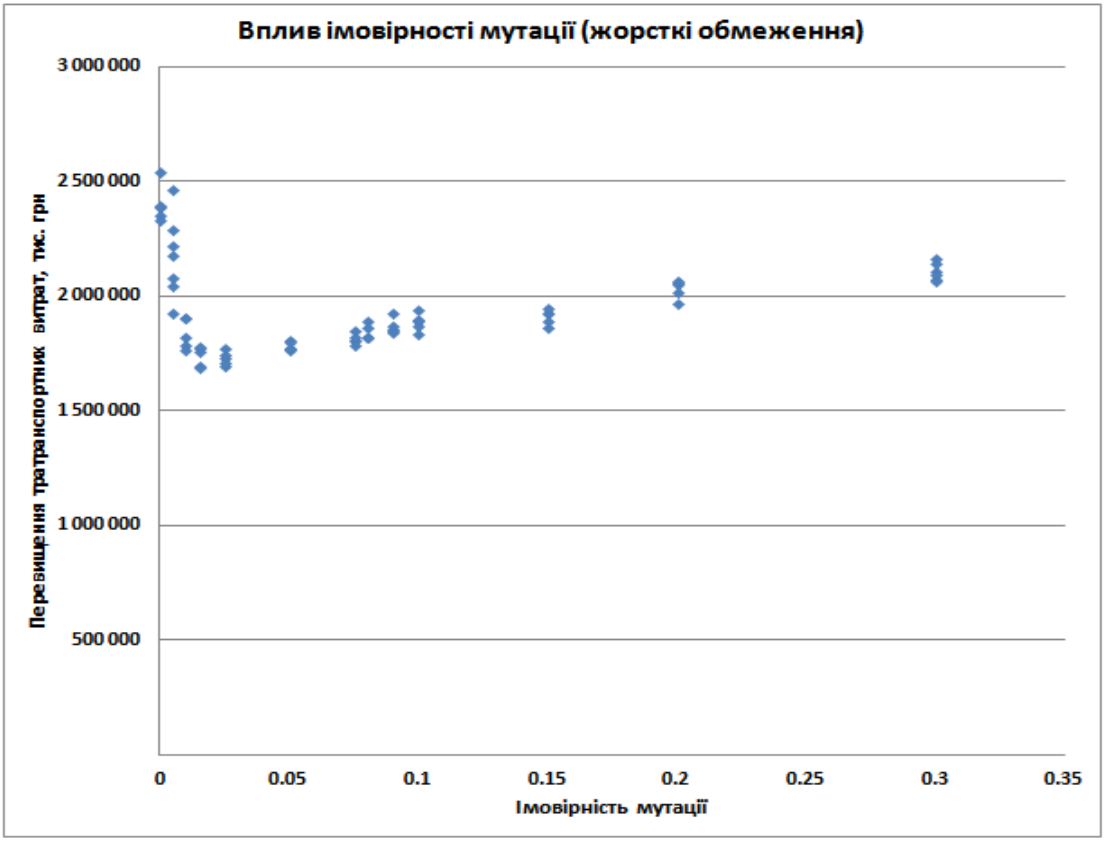


Рисунок 3.18 – Ефективність мутації при «жорстких» обмеженнях

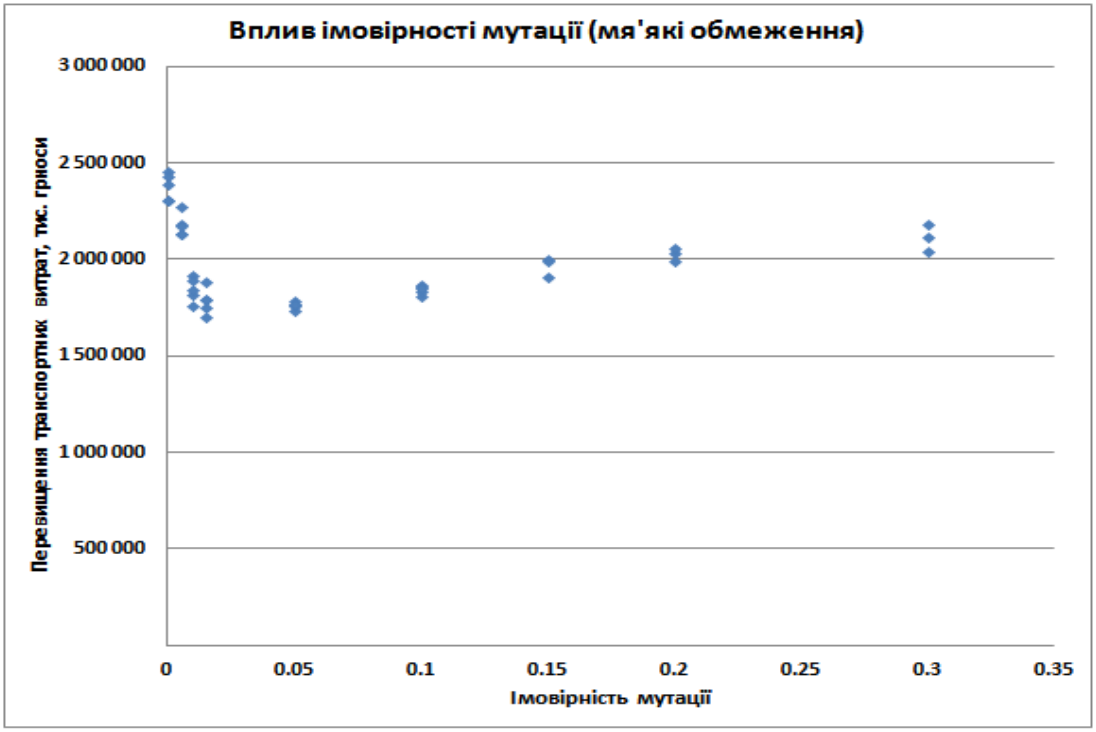


Рисунок 3.19 – Ефективність мутації при м’яких обмеженнях

Результати дослідження впливу способу ініціалізації хромосом з відбором модулів з рівномірною (однаковою) імовірністю або з імовірністю, пропорційну пріоритетам модулів (3.8) наведені на рис 3.21.

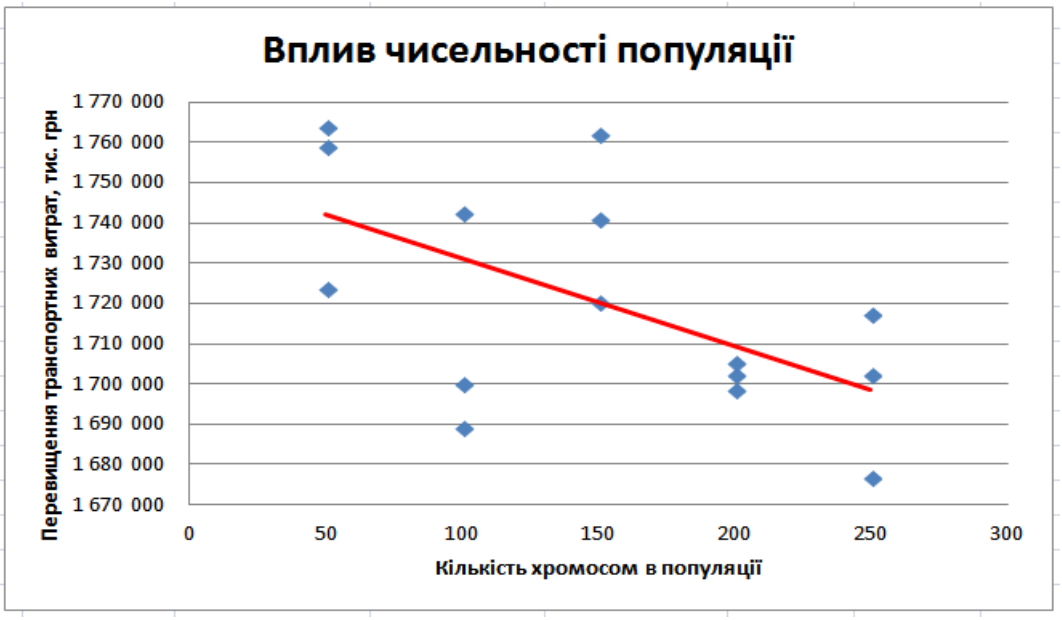


Рисунок 3.20 – Вплив чисельності популяції (м’які обмеження)

Як видно, використання способу відбору модулів для ремонту незначно, але впливає на ефективність пошуку оптимального рішення, причому спосіб відбору на основі пріоритету показує кращій результат. Пояснити невелику різницю можна досить малою імовірністю вибору модуля, яка близька до 1/225 = 0.004444. Імовірність вибору з урахуванням пріоритету відрізняється від середнього значення на ≈ 0.001, тому потрібна досить велика чисельність популяції для отримання статистично значимих вибірок, на основі яких можна оцінити різницю між цими двома способами.

Обґрунтування потрібного бюджету програми ремонтів для приведення стану дорожнього одягу до потрібного стану здійснюється шляхом завдання у таблиці вихідних даних щорічних бюджетів на плановий період здійснення програми (рис. 3.22 і 3.23).

На рис. 3.24 і 3.25 наведені графіки витрат при поступовому зменшенні та збільшенні річного бюджету [41]. Як видно, у другому випадку витрати суттєво менші, ніж у випадку поступового зростання бюджету.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**										
2	Файл: C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx										
3	**Секцій**	**225**		**Плановий період**		**10**	**років**				
4											
5	**Розмір**	**Кількість**	**Елітизм**	**Імовірність**		**Сумарні**	**Дорожні**	**Транспортні**	**Стан**		**Характер**
6	**популяції**	**епох**		**кросоверу**	**мутації**	**витрати, тис**			**% КР**	**% ПСР**	**обмежень**
7	50	100	-	0	0.05	2 796 893	946 147	1 850 746	12	16	жорсткі
8	50	100	-	0	0.05	2 844 828	942 563	1 902 265	13	16	жорсткі
9	50	100	-	0	0.05	2 842 809	940 657	1 902 152	12	17	жорсткі
10	50	100	-	0	0.05	2 807 487	930 986	1 876 501	13	21	жорсткі
11	50	100	-	0	0.05	2 818 792	949 500	1 869 292	12	16	жорсткі
12	50	100	-	0	0.05	2 805 477	945 153	1 860 324	12	18	жорсткі
13	50	100	-	0	0.05	2 836 086	942 123	1 893 963	12	17	жорсткі
14	50	100	-	0	0.05	2 783 359	953 737	1 829 622	12	16	жорсткі
15	50	100	-	0	0.05	2 815 869	940 489	1 875 380	13	17	жорсткі
16	50	100	-	0	0.05	2 849 779	938 532	1 911 247	12	14	жорсткі
17							**Рівномірне**	**1 877 149**			
18	50	100	-	0	0.05	2 840 182	944 657	1 895 525	13	12	жорсткі
19	50	100	-	0	0.05	2 836 591	940 011	1 896 580	13	16	жорсткі
20	50	100	-	0	0.05	2 797 973	952 399	1 845 574	13	18	жорсткі
21	50	100	-	0	0.05	2 760 014	951 148	1 808 866	12	18	жорсткі
22	50	100	-	0	0.05	2 827 011	953 900	1 873 111	12	17	жорсткі
23	50	100	-	0	0.05	2 836 083	948 762	1 887 321	13	15	жорсткі
24	50	100	-	0	0.05	2 750 746	951 800	1 798 946	12	16	жорсткі
25	50	100	-	0	0.05	2 805 178	945 140	1 860 038	12	18	жорсткі
26	50	100	-	0	0.05	2 814 050	945 948	1 868 102	12	14	жорсткі
27	50	100	-	0	0.05	2 827 371	943 164	1 884 207	13	17	жорсткі
28							**З приоритетами**	**1 861 827**			

Рисунок 3.21 – Вплив способу відбору модулів

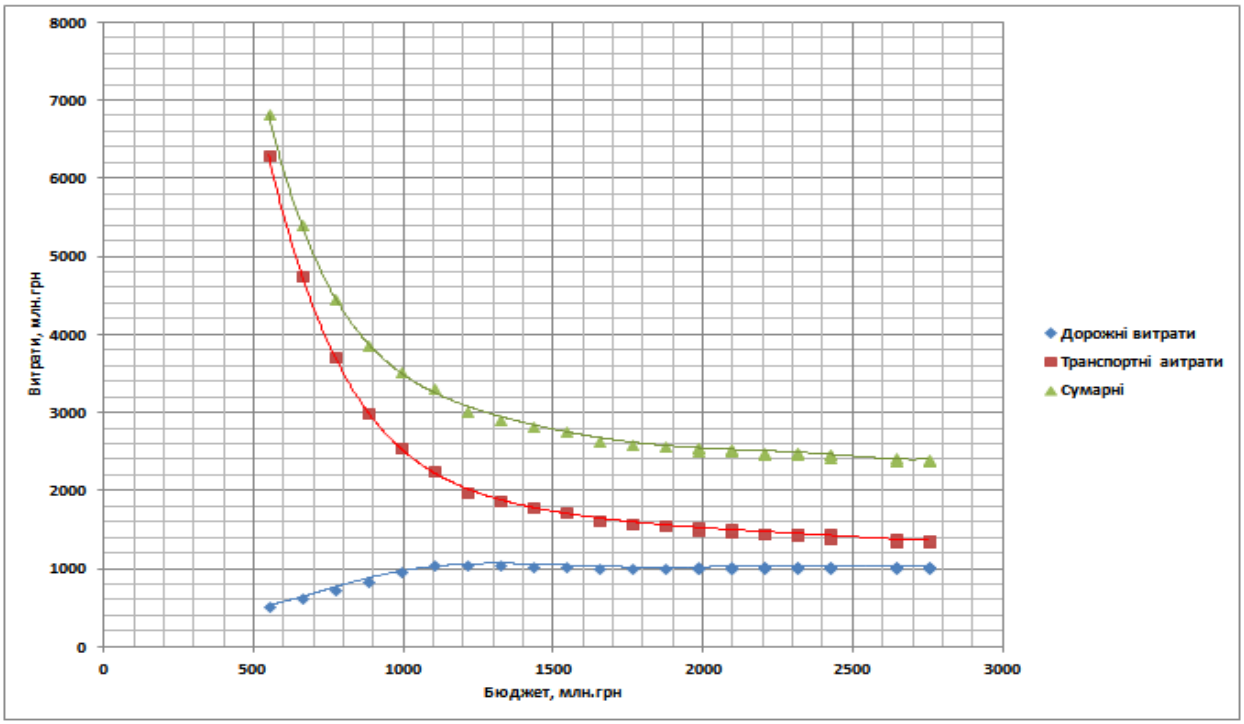


Рисунок 3.22 – Графіки залежності дорожніх і транспортних витрат від розміру бюджетних обмежень

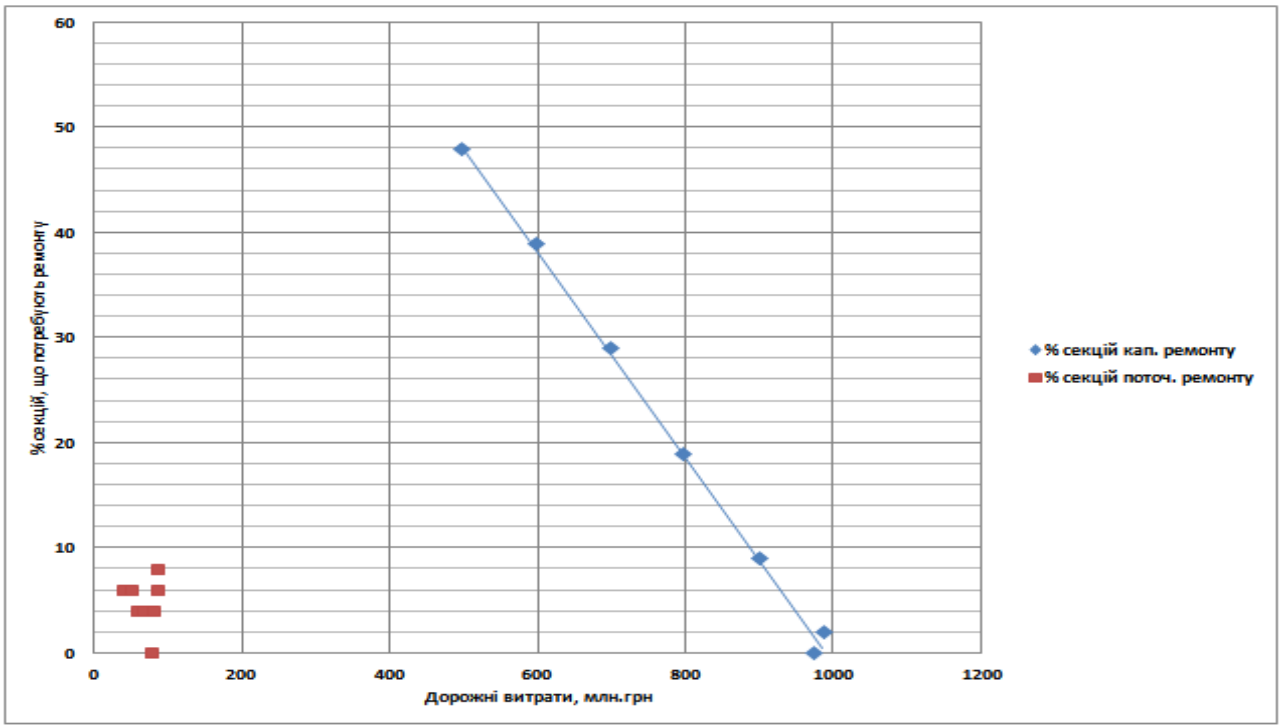


Рисунок 3.23 – Графіки залежності показників стану від розміру бюджетних обмежень

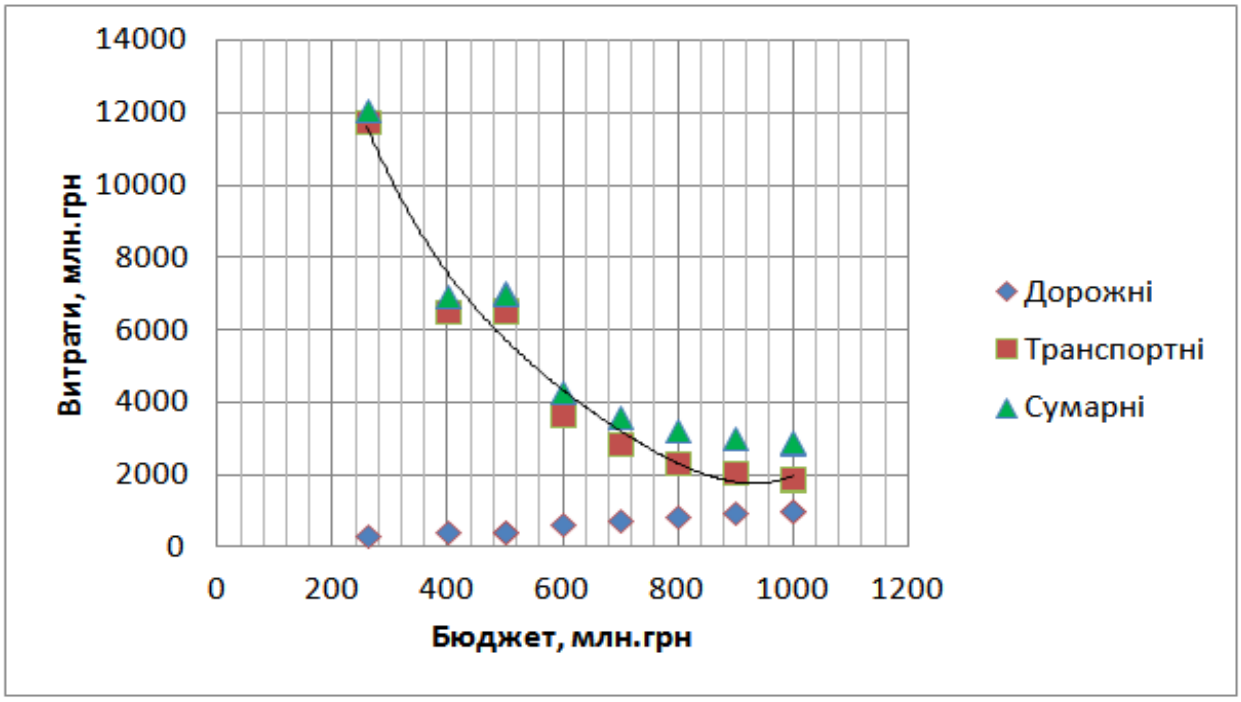


Рисунок 3.24 – Витрати при поступовому зменшенні річного бюджету

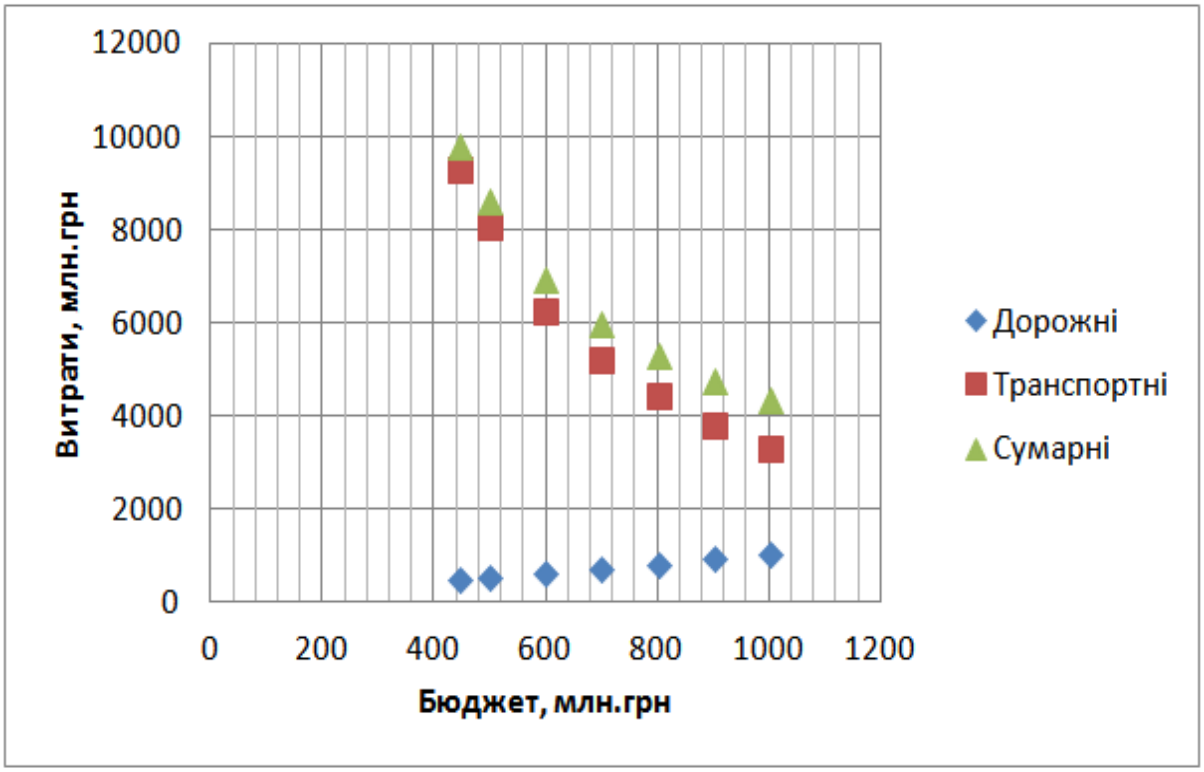


Рисунок 3.25 – Витрати при поступовому збільшенні річного бюджету

Як видно на графіках рис. 3.22, 3.24 і 3.25, гіпотеза про такий вид залежність суми дорожньо-транспортних витрат від бюджету програми ремонту дорожнього одягу підтверджена.

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

Адекватність розроблених моделі і генетичного алгоритму обґрунтування програми ремонту дорожнього одягу у перших трьох фазах управління програмою (рис. 1.8), а також у фазі щорічного контролю фактичного виконання програми та її коригування забезпечується:

– збіжністю отриманих результатів прогнозування стану дорожнього одягу та його покриття і результатів розрахунків в СУСП та ІАСУ ДГ при однакових вихідних даних, яка ґрунтується на застосуванні одних і тих же моделей деградації дорожнього одягу;

– прозорістю і коректним застосуванням запропонованого генетичного алгоритму, ефективність якого доведена теоретично і практично багатьма дослідниками [81, 84, 116, 117, 121, 123].

Висновки по розділу 3

1. Основні труднощі з управління програмою відновлення стану дорожнього одягу на мережевому рівні полягають у надзвичайно великій кількості можливих доступних рішень. Генетичні алгоритми є корисним інструментом розв’язання подібних задач оптимізації, який не вимагає жорстких вимог на характер цільової функції, тому вони знайшли поширення в обґрунтуванні багаторічних програм ремонтів дорожнього одягу.

2. Створено алгоритм оптимізації багаторічної програми ремонтів дорожнього одягу. Кожного року здійснюється оптимізація річної програми ремонтів за допомогою розробленого генетичного алгоритму. Виконані у

відповідності з програмою ремонти та деградація дорожнього одягу у сукупності визначають зміни стану дорожнього одягу на протязі періоду дії програми.

3. На відміну від класичного генетичного алгоритму, запропонований генетичний алгоритм з врахуванням бюджетних обмежень, в якому для формалізації генів хромосом використовує структури даних, які відображують складний алгоритм визначення виду ремонту та його параметрів.

4. Наявність бюджетних обмежень та технологічних обмежень спричинили розробку спеціальних алгоритмів генетичних операторів кросоверу (схрещування) та мутації, які не дозволяють керованим змінним – видам та параметрам капітального та поточного середнього ремонтів виходити за межі області їх визначення.

5. Розроблена комп’ютерна програма, яка реалізує модель оптимізації в цілому і генетичний алгоритм зокрема. За допомогою цієї програми здійснюються комп’ютерні експерименти з дослідження впливу параметрів генетичного алгоритму на значення функції пристосовності – цільової функції задачі оптимізації.

6. Комп’ютерний експеримент дозволив дослідити вплив імовірності оператору кросоверу і оператору мутації на ефективність роботи алгоритму. З’ясовано, що при жорстких обмеженнях задачі (не перевищення бюджету) недоцільне використання оператора кросоверу. У зв’язку з цим введено поняття «м’яких» обмежень, коли обмеження виконуються на етапі ініціалізації популяції хромосом-рішень, а в процесі застосування оператору кросоверу порушуватись. Такий підхід створює передумови розробки евристичного підходу до вибору оптимальних річних бюджетів програми ремонтів.

7. Комп’ютерна програмна реалізація генетичного алгоритму забезпечує реалізацію різноманітних шляхів дослідження та вибору раціональних варіантів в управлінні програмами ремонтів дорожнього одягу.

4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ З УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ РЕМОНТІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

4.1 Інформаційна база обґрунтування програми ремонтів дорожнього одягу

Моніторинг стану дорожнього одягу та його покриття в Укравтодорі вже п'ятнадцять років здійснюється за допомогою Системи управління станом покриття, яка включає комплекс інструментальних засобів для вимірювання міцності дорожнього одягу, рівності і зчеплення покриття та програмний комплекс для обробки результатів інструментальних обстежень і планування робіт з капітальних і поточних середніх ремонтів.

Надбудовою над СУСП та Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) є створена кафедрою організації виробництва Національного транспортного університету в 2012 році Інформаційна аналітична система управління дорожнім господарством (ІАСУ ДГ), яка включає бази даних СУСП та АЕСУМ [46, 45].

Були створені інші програмні комплекси, такі як Електронний паспорт автомобільної дороги (ЕПАД), База оперативного стану автомобільних доріг (БОС), проте вони не знайшли достатнього практичного використання з-за недостатнього наповнення баз даних в умовах недофінансування робіт з паспортизації доріг. Ці програмні комплекси в більшій чи меншій мірі спираються на СУСП, яка, на сьогоднішній день, є реально працюючою системою.

СУСП і, відповідно, ІАСУ ДГ містять майже всі необхідні дані для управління програмами ремонтів дорожнього одягу, тому їх бази даних становлять основу інформаційного забезпечення в управлінні програмою ремонтів дорожнього одягу. Розроблена комп’ютерна програма є надбудовою над існуючими програмними засобами (рис.4.1).

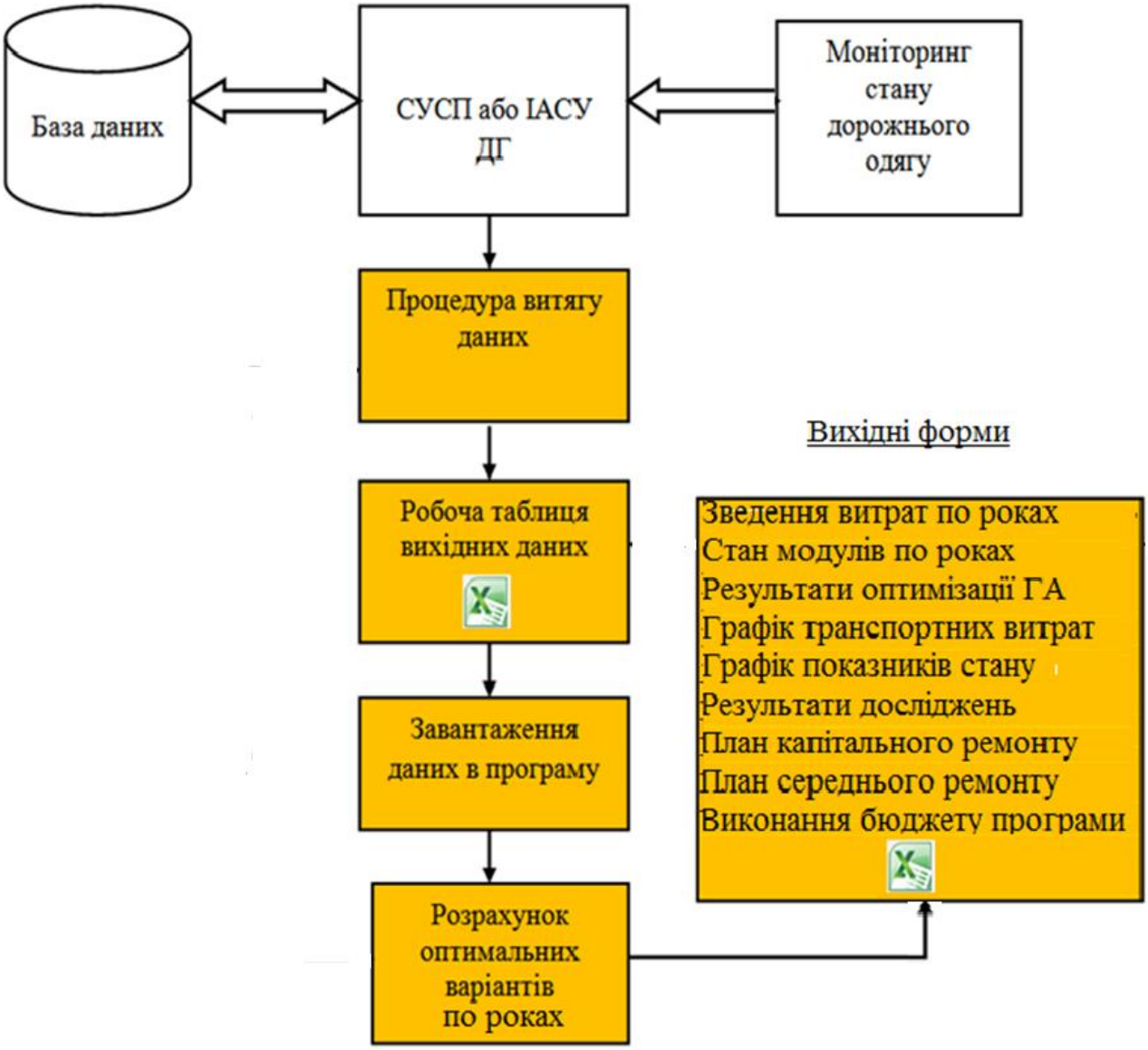


Рисунок 4.1 – Місце запропонованої програми в галузевому програмному комплексі управління станом дорожнього одягу

На рис. 4.2-4.5 наведені результати обстеження ділянки автомобільної дороги М-12 Стрий-Тернопіль-Кіровоград-Знам'янка, які слугують вихідними даними для розробки програми ремонтів дорожнього одягу.

З метою витягу даних, потрібних для запуску створеної в дисертаційній роботі комп'ютерної програми, розроблений спеціальний запит на мові Transact-SQL, наведений в додатку А. Щоби скористатись цим запитом, потрібно в Microsoft Excel вибрати опцію «Данные», увійти в режим «Получить

внешние данные», «Из других источников», «С сервера SQL Server» та підключитись до потрібного серверу баз даних (рис. 4.6).

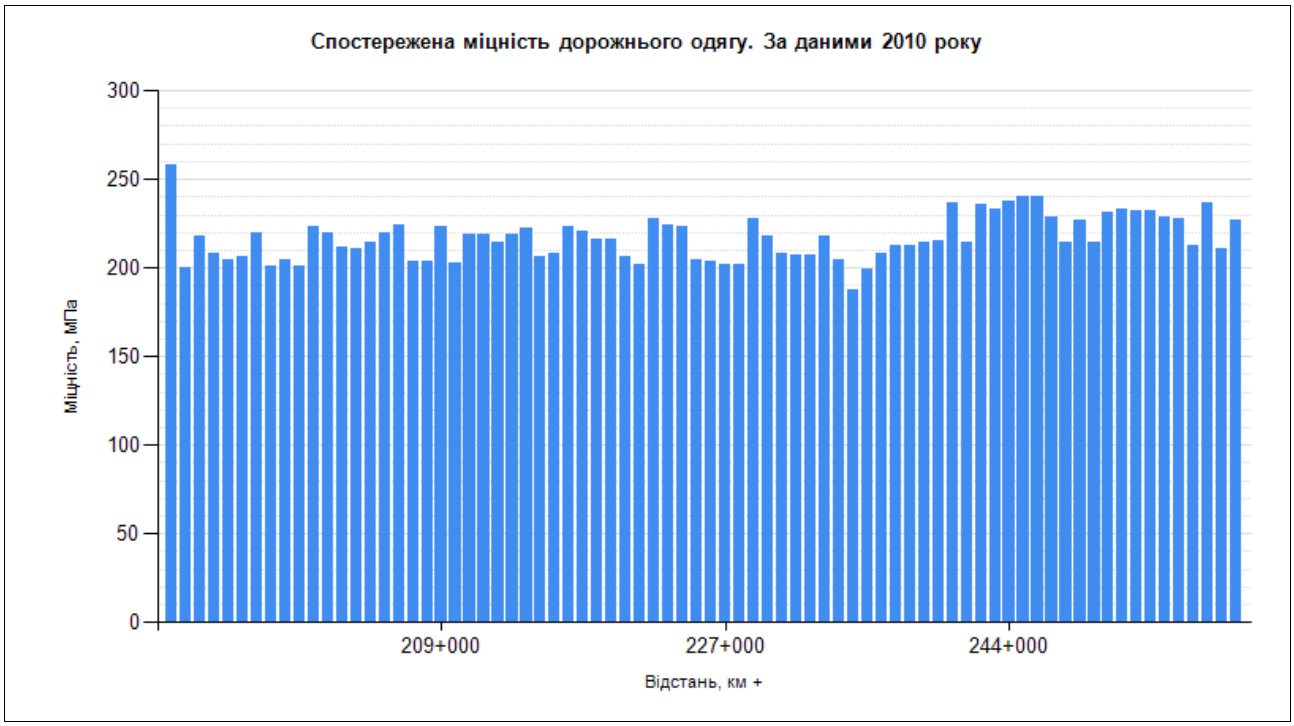


Рисунок 4.2 – Спостереження міцності дорожнього одягу (ІАСУ ДГ)

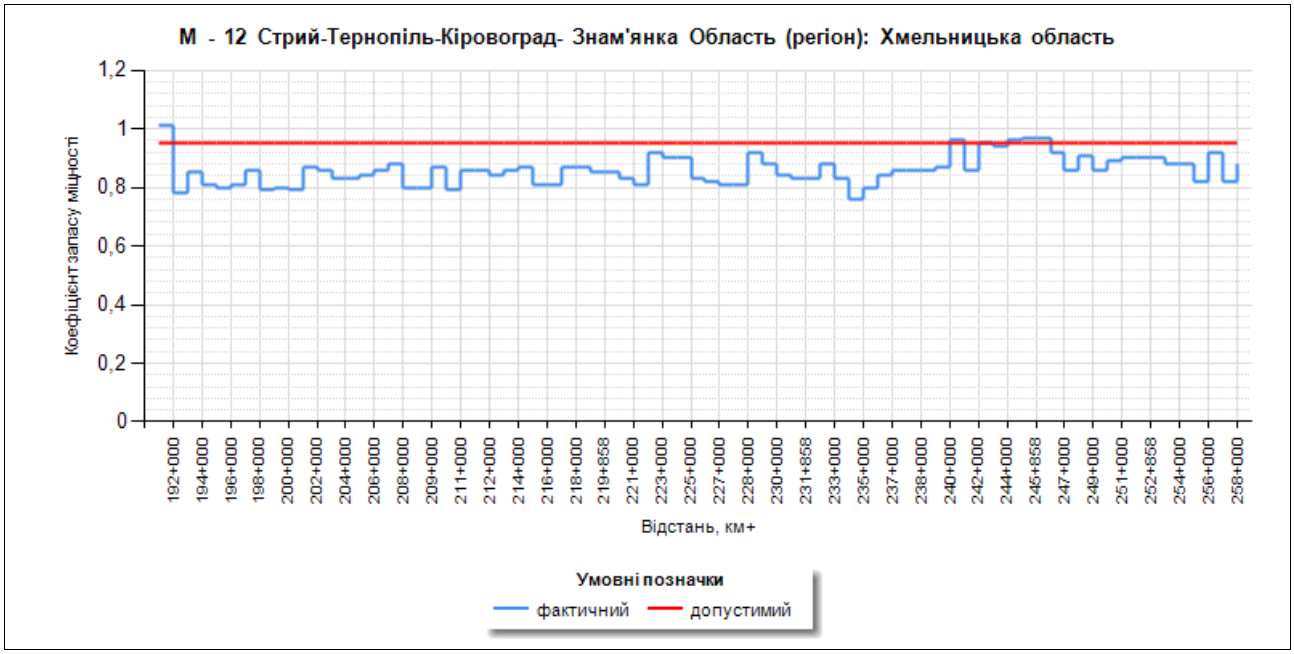


Рисунок 4.3 – Графік коефіцієнту запасу міцності дорожнього одягу

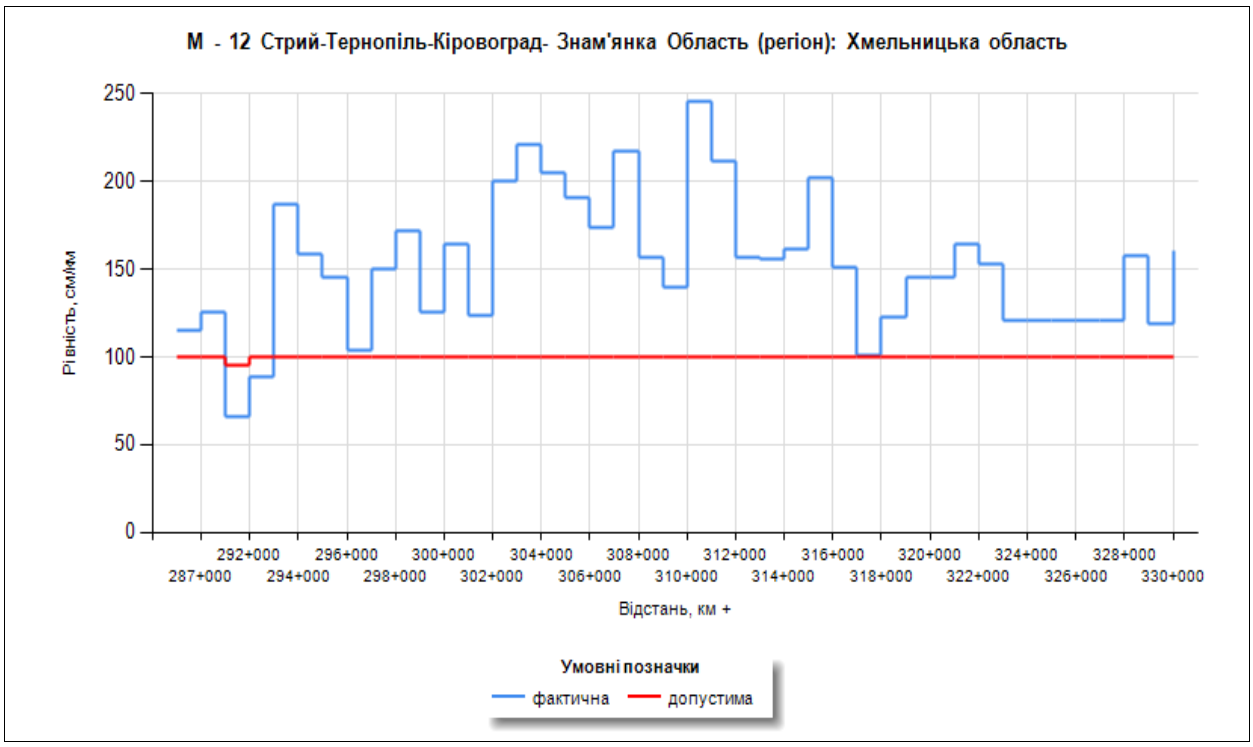


Рисунок 4.4 – Графік спостереженої рівності покриття (ІАСУ ДГ)

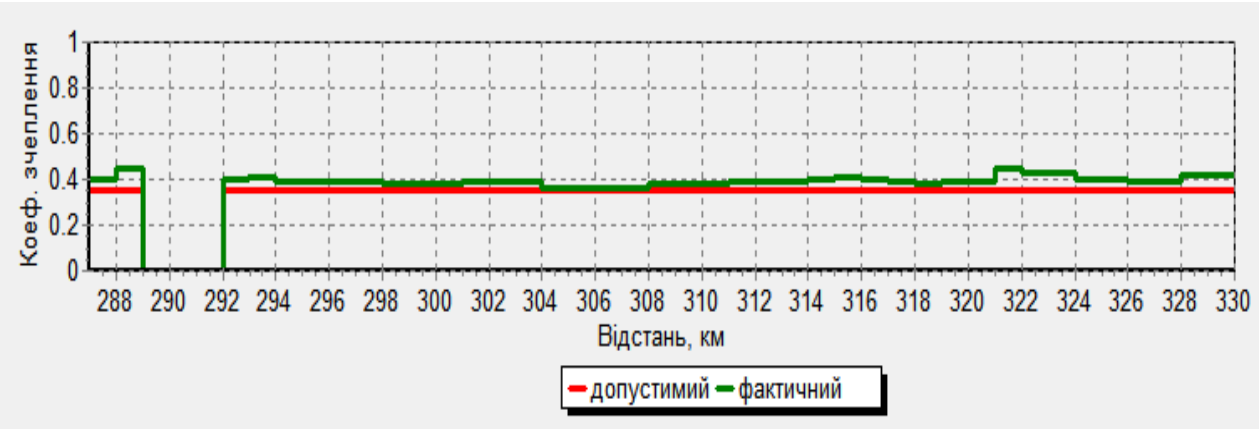
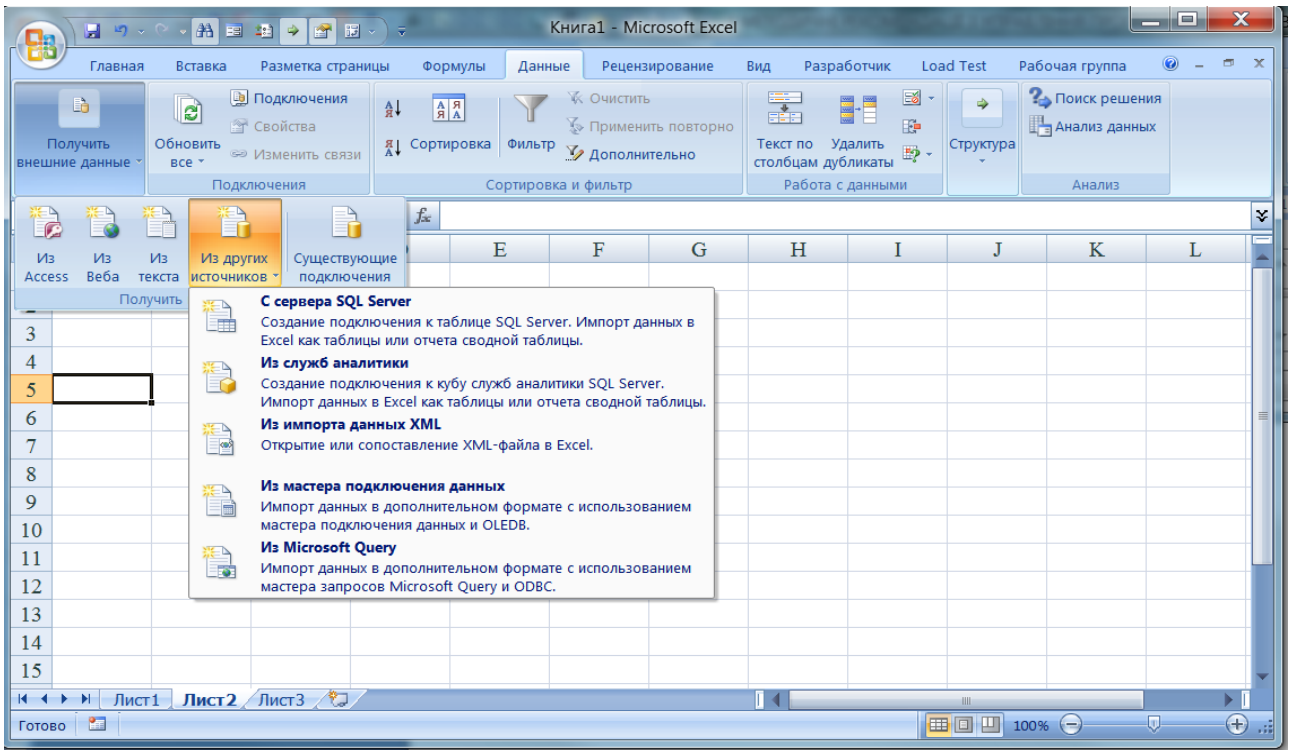


Рисунок 4.5 – Графік спостереженого коефіцієнту зчеплення (СУСП)

Після цього потрібно вибрати відповідну базу даних і запит (представлення), як показано на рис. 4.7.



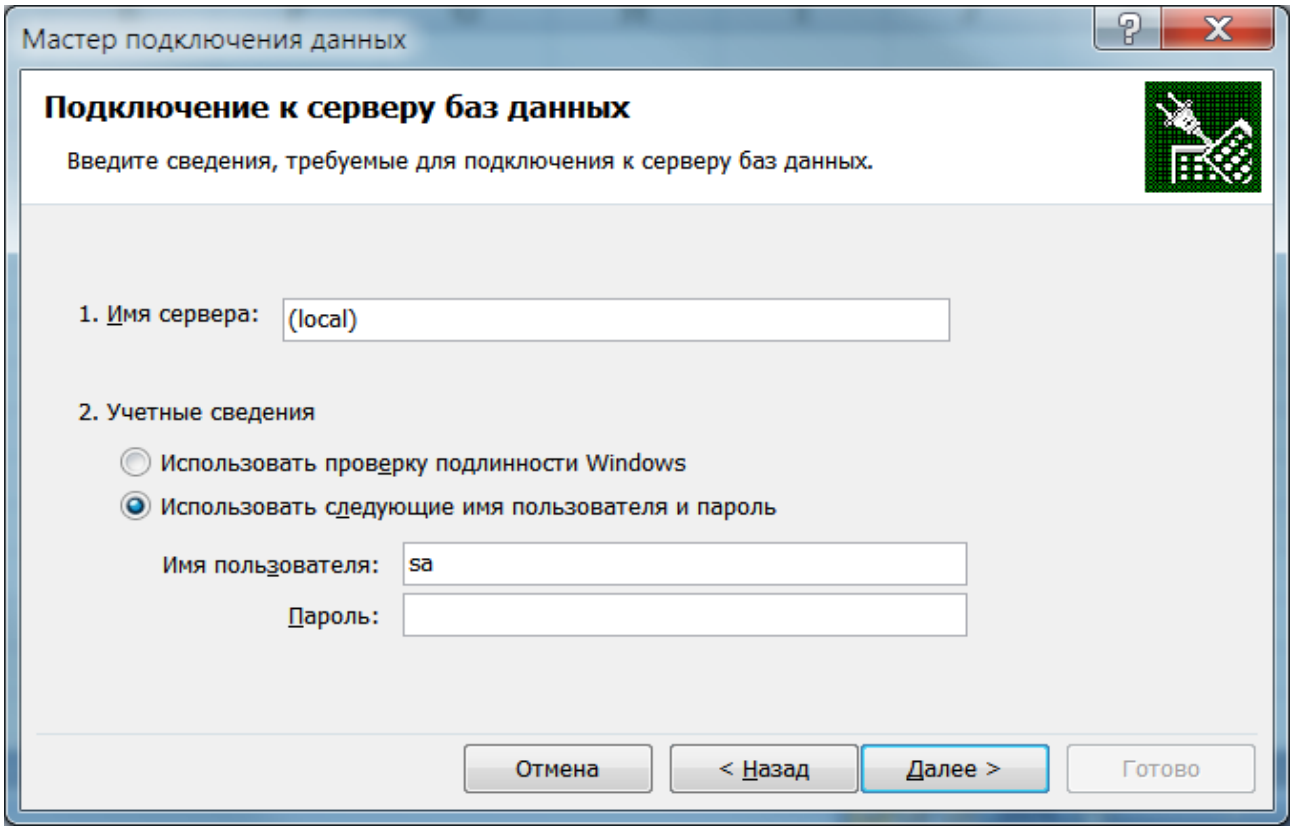
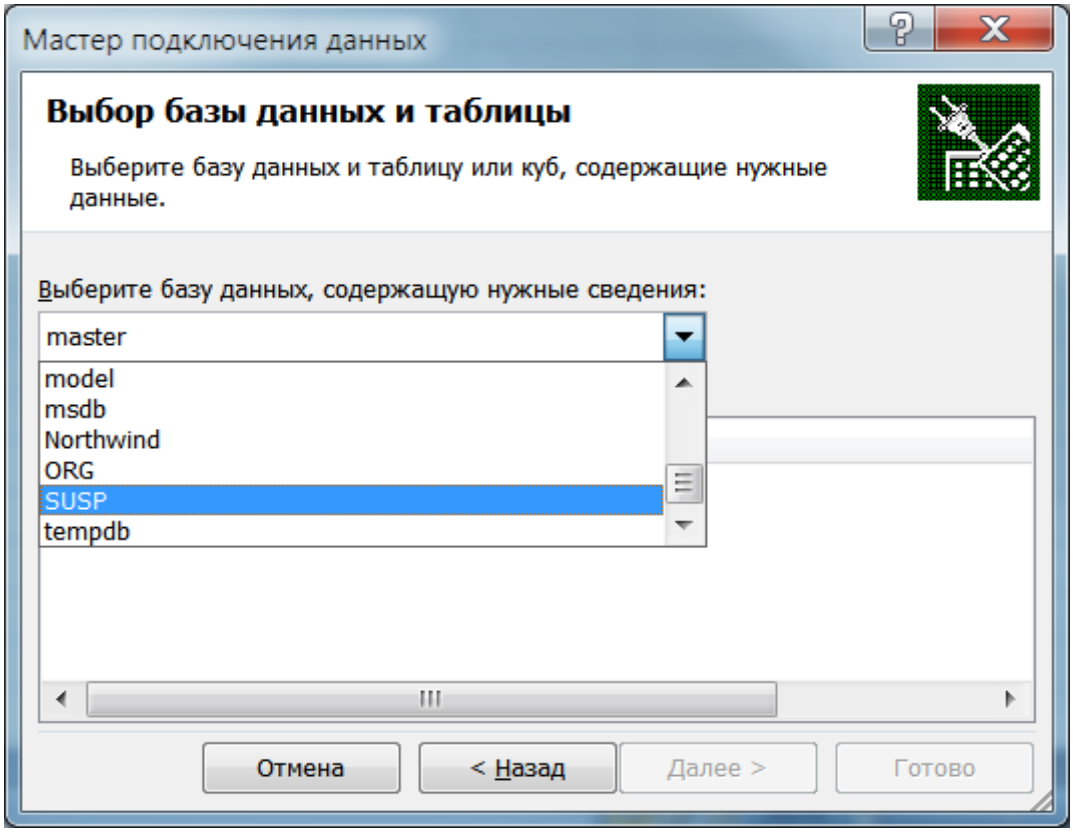


Рисунок 4.6 – Порядок підключення до серверу баз даних



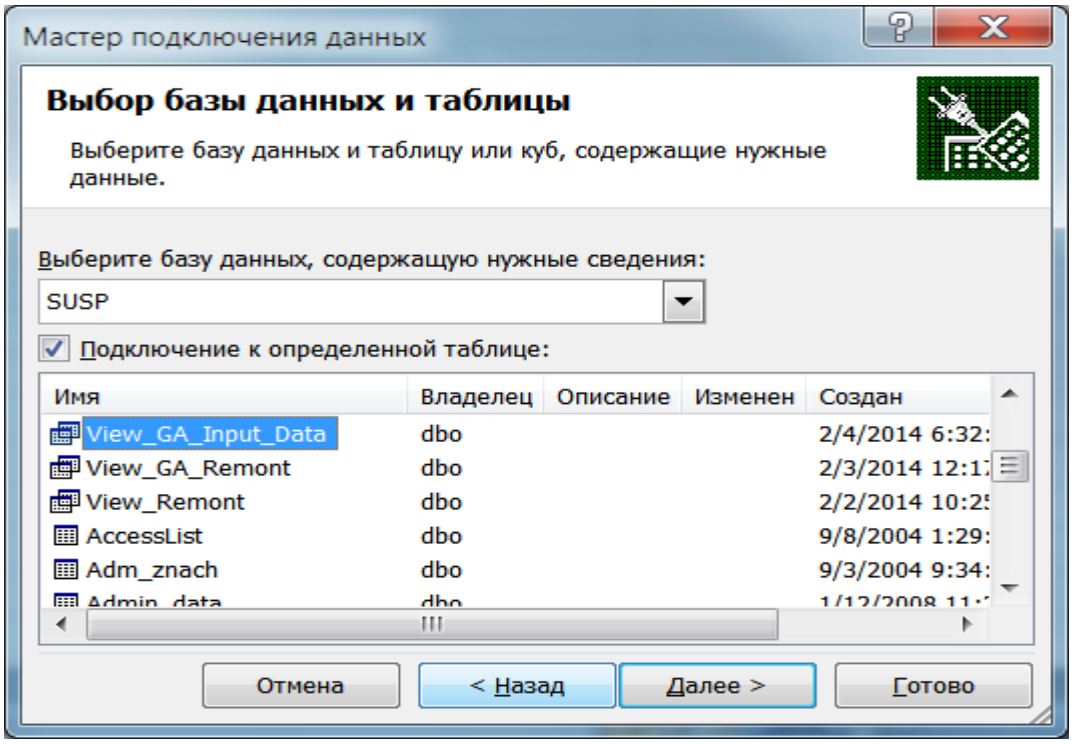


Рисунок 4.7 – Вибір запиту до бази даних

Після вибору запиту або таблиці бази даних потрібно задати параметри імпорту (рис. 4.8).

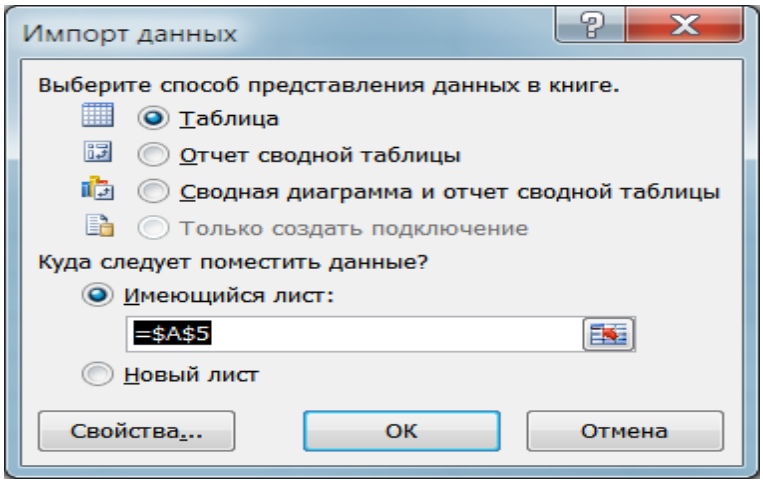
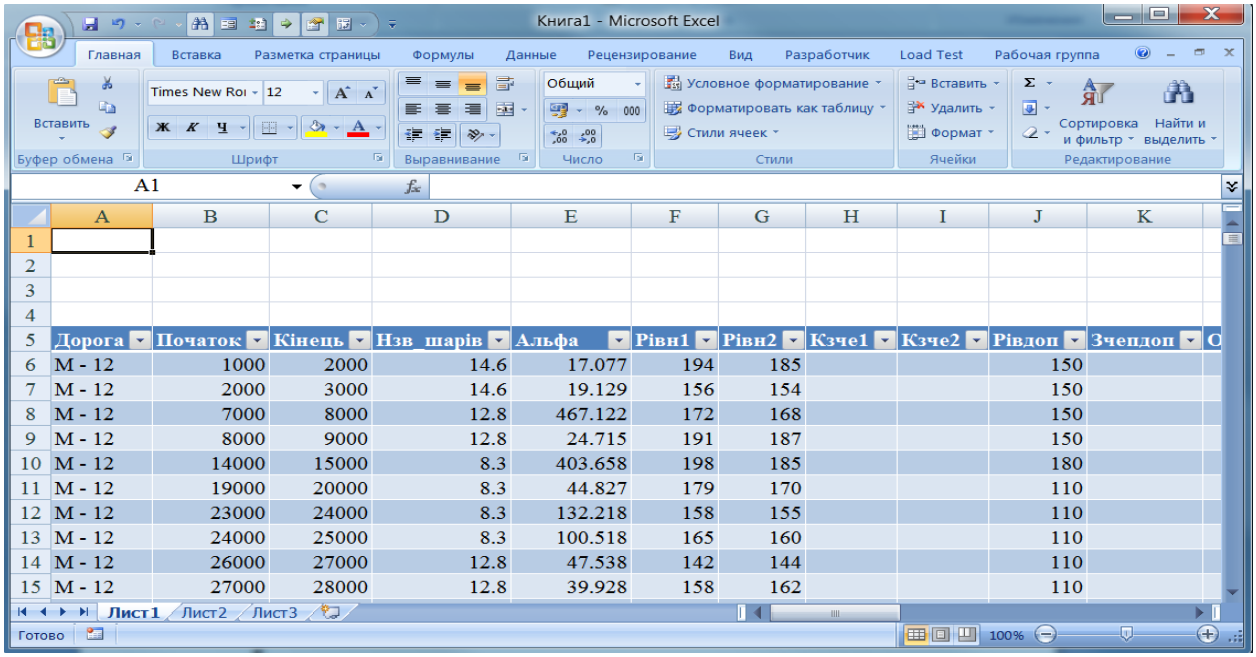


Рисунок 4.8 – Параметри імпорту даних

В результаті в таблицю Excel будуть завантажені потрібні для обґрунтування програми ремонтів дані (рис. 4.9).



Дорога	Початок	Кінець	Нзв_шарів	Альфа	Рівн1	Рівн2	Кзче1	Кзче2	Рівдоп	Зчепдоп
М - 12	1000	2000	14.6	17.077	194	185			150	
М - 12	2000	3000	14.6	19.129	156	154			150	
М - 12	7000	8000	12.8	467.122	172	168			150	
М - 12	8000	9000	12.8	24.715	191	187			150	
М - 12	14000	15000	8.3	403.658	198	185			180	
М - 12	19000	20000	8.3	44.827	179	170			110	
М - 12	23000	24000	8.3	132.218	158	155			110	
М - 12	24000	25000	8.3	100.518	165	160			110	
М - 12	26000	27000	12.8	47.538	142	144			110	
М - 12	27000	28000	12.8	39.928	158	162			110	

Рисунок 4.9 – Завантажені вихідні дані

Отриману таблицю Excel слід зберегти на магнітний носій (диск або інший пристрій) для подальшої підготовки до використання. Таблиця може бути в подальшому застосована на іншому комп'ютері, де сама база даних відсутня, що гарантує значну гнучкість застосування програми оптимізації.

Підготовка до використання створеної таблиці Excel полягає у поєднанні її з іншими необхідними даними та внесенні формальних ознак, які дозволяють програмі оптимізації розрізняти початок та кінець даних різних видів. Для цього розроблено шаблон книги Excel, який включає лист з вихідними даними та листи з результатами моделювання, які на рис. 4.10 обведені червоною лінією.

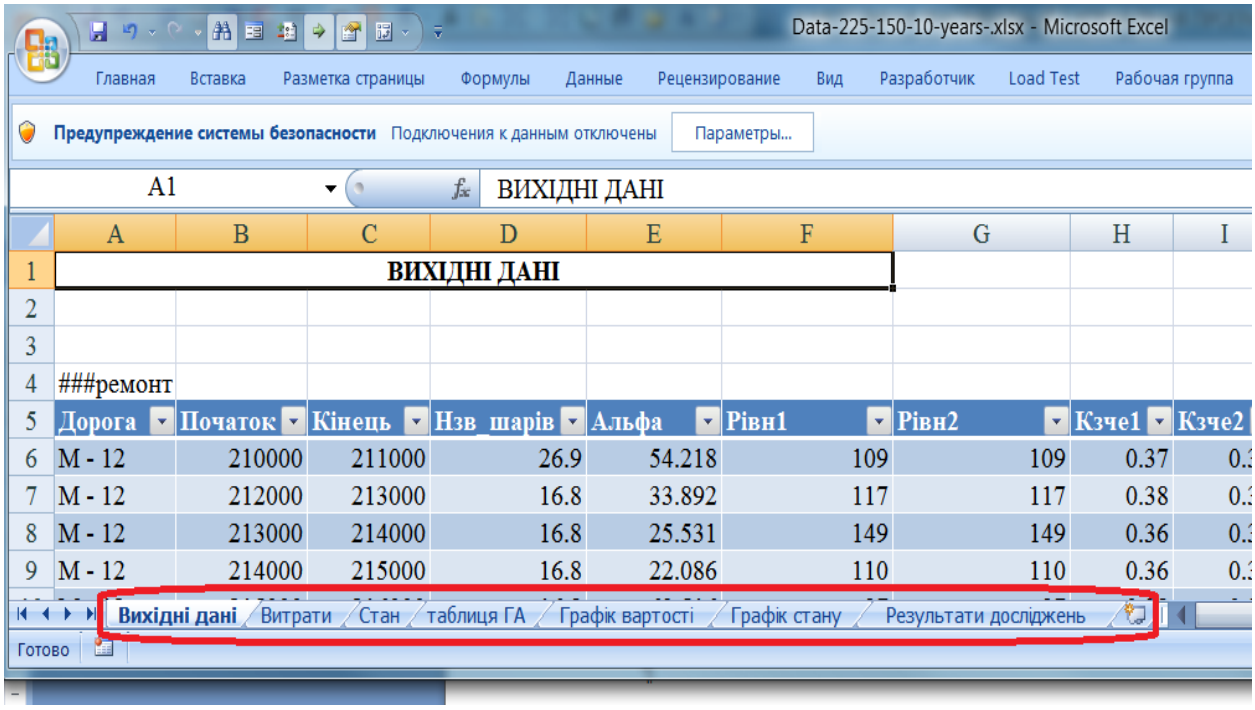


Рисунок 4.10 – Шаблон книги Excel

Перед початком окремого виду вихідних даних на листі «Вихідні дані» виставляється ознака з префіксом ### і назвою виду даних, наприклад, ###ремонт, а за кінцем виду даних – ознака з префіксом &&&, наприклад, &&&ремонт або як показано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Види поточного середнього ремонту

###**види ремонтів**			
Назва виду поточного середнього ремонту	**Від, см/км**	**тис. грн/1000 м2/см**	**Мінімальна товщина Н, мм**
Поточний дрібний ремонт	40		
Одиночна дрібножорстка поверхнева обробка з одним розсипом щебеню (В/Щ), фр. 3-5	50	25	5
Одиночна дрібножорстка поверхнева обробка з одним розсипом щебеню (В/Щ), фр. 5-10	50	30	7
Одиночна дрібношорстка поверхнева обробка з одним розсипом шебеню, фр. 10-15	50	33	10
Одиночна дрібношорстка поверхнева обробка з одним розсипом шебеню, фр. 10-15	50	35	12
Одиночна дрібношорстка поверхнева обробка з одним розсипом шебеню, фр. 10-20	50	31	15
Подвійна дрібношорстка поверхнева обробка, фр. 1-го розс.10-15, 2-го розс.5-10	50	35	20
Подвійна дрібношорстка поверхнева обробка, фр. 1-го розс.15-30(25), 2-го розс.10-15	50	40	25
Подвійна дрібношорстка поверхнева обробка, фр. 1-го розс.20-25(30), 2-го розс.10-15	50	30	30
Подвійна дрібношорстка поверхнева обробка, фр. 1-го розс.20-30(40), 2-го розс.15-20	50	38	35
Термопрофілювання без поверхневої обробки	50	25	10
Термопрофілювання без поверхневої обробки	50	30	12
Поверхнева обробка тип "сандвіч"	50	40	25
Влаштування шару з холодної асфальтобетонної суміші	50	45	20
Влаштування тонкошарового емульсійно-мінерального покриття	50	35	15
Влаштування тонкошарового а.б. покриття з гарячої а.б. суміші А або Б чи щебенево-мастикової суміші	50	45	30
Влаштування тонкошарового замикаючого шару з сумішей ЛЕМС	50	50	20
&&&види ремонтів			

Бюджети по роках задаються окремо для капітального та поточного ремонтів (табл. 4.2).

Виняток становлять прості, не табличні дані, наприклад, ###Коефіцієнт дисконтування витрат, %, після значення яких префікс &&& не ставиться. Ці необхідно для зчитування програмою вихідних даних (табл. 4.3).

Таблиця 4.2 – Бюджетні обмеження

###бюджет		
рік	**кап. рем, тис. грн.**	**сер. рем, тис. грн.**
1	500 000	50 000
2	500 000	50 000
3	500 000	50 000
4	500 000	50 000
5	500 000	50 000
6	500 000	50 000
7	500 000	50 000
8	500 000	50 000
9	500 000	50 000
10	500 000	50 000
&&&бюджет		

Таблиця 4.3 – Параметри розрахунку

###Коефіцієнт дисконтування витрат, %	8.0
###Коефіцієнт інфляції, %	10.0
###a в формулі трансп. Витрат	5.00
###b в формулі трансп. Витрат	0.01
###Середня вартість капремонту, тис. грн /1 см/1000 м2	50
###Середня вартість дрібню ремонту, грн/м2	156

Інші листи книги-шаблону заповнюються в процесі моделювання.

4.2 Порядок застосування програмних засобів оптимізації програми ремонтів дорожнього одягу

Модуль програми називається GA.exe. Після запуску програми на дисплей монітора визивається форма, наведена на рис. 4.11.

На формі присутні дві закладки: «Вихідні дані» і «Результати оптимізації». Закладка «Вихідні дані» розділена на три зони. Зліва - елемент управління для редагування річних бюджетів, в центрі – параметри для економічних розрахунків та перемикач виду обмежень («жорсткі» або ні), справа – параметри генетичного алгоритму. Внизу форми розміщені кнопки керування режимами роботи програми.

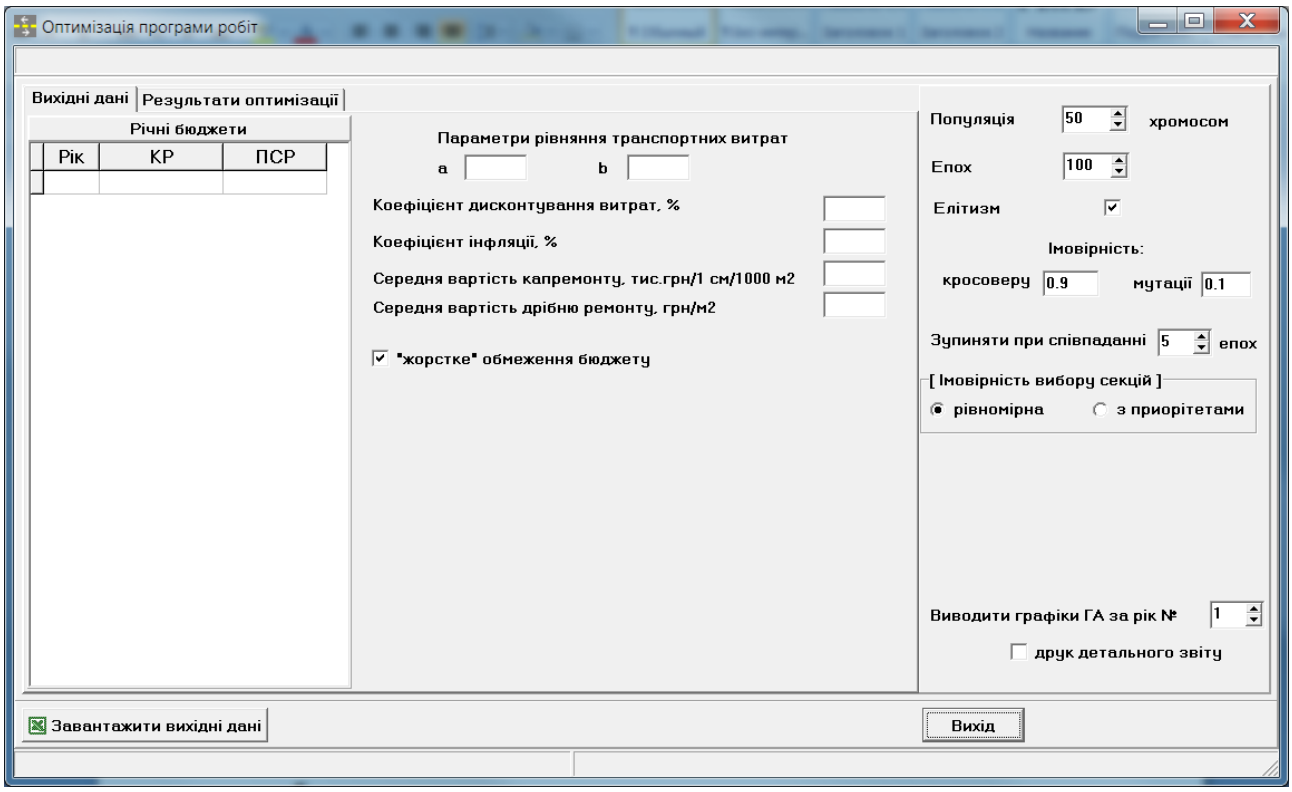


Рисунок 4.11 – Вид головної форми програми після запуску

По-перше, потрібно завантажити вихідні дані натиснувши на кнопку «Завантаження даних». Буде надана можливість вибору з магнітного носія (жорсткого диску або іншого) потрібної книги Excel (рис. 4.12). Елементи форми програми будуть заповнені даними з листа книги Excel, який названо «Вихідні дані» (рис. 4.13).

Як видно з рис. 4.13, на нижній панелі стають видимими елементи управління, які призначені для редагування сумарного бюджету, запуску режиму моделювання та візуалізації книги Excel.

Таблиця бюджету може бути скоригована, як показано на фрагменті головної форми програми (рис. 4.14).

Користувач програми може редагувати параметри економічних розрахунків, параметри генетичного алгоритму, спосіб вибору модулів, вибирати рік, за який буде виведений графік ходу вибору кращого рішення, та

задавати потребу видачі детального звіту про програму ремонтів дорожнього одягу по кожному модулю дороги.

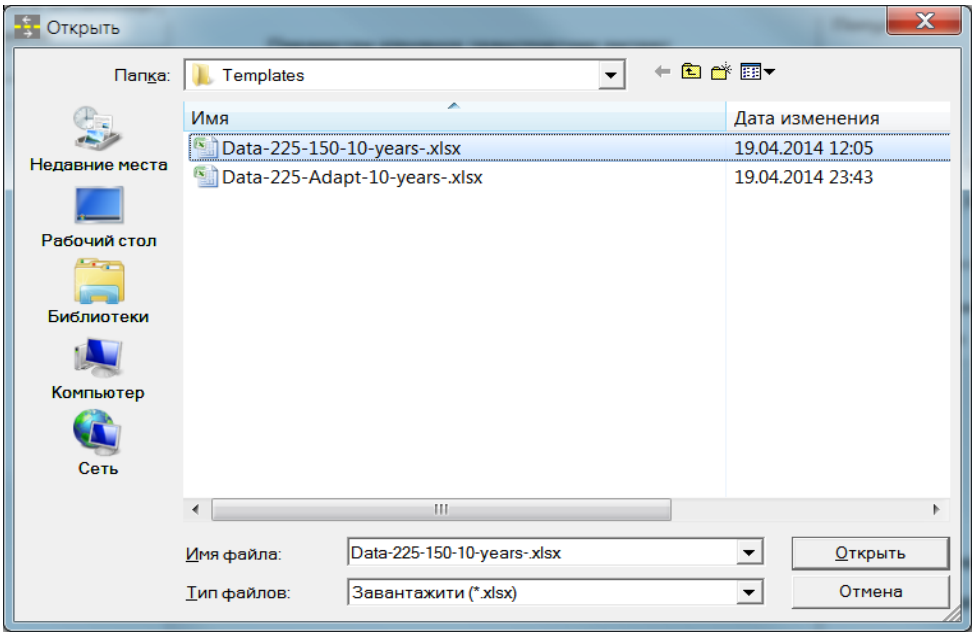


Рисунок 4.12 – Вибір файлу вихідних даних

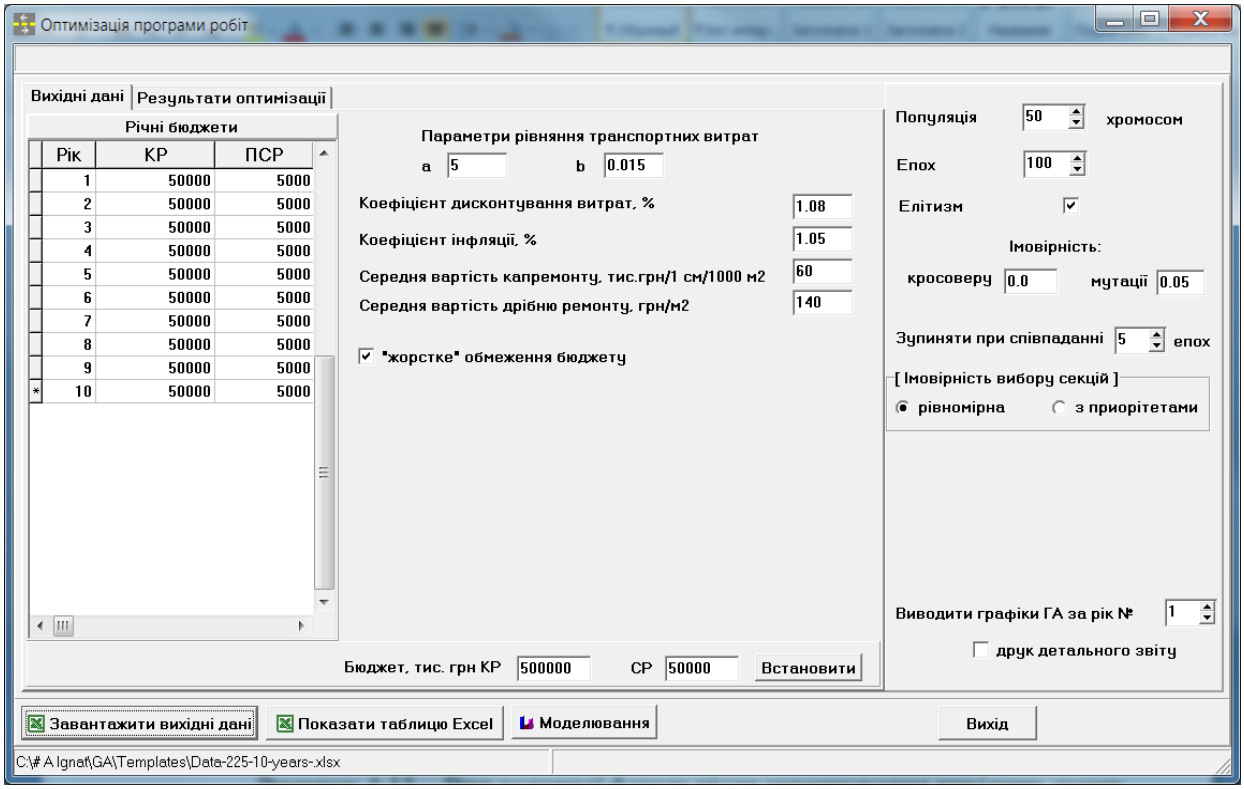


Рисунок 4.13 – Вид головної форми після завантаження вихідних даних

Вихідні дані | Результати оптимізації

Річні бюджети

Рік	КР	ПСР
1	150000	40000
2	150000	10000
3	150000	10000
4	100000	10000
5	100000	10000
6	70000	10000
7	30000	10000
8	30000	10000
9	25000	10000
* 10	25000	10000

Рисунок 4.14 – Коригування річного бюджету капітального ремонту

Графік оптимізації річної програми робіт можна після моделювання побачити натиснувши кнопку «Графік». Графік буде видано на рік, встановлений на нижній частині правої панелі. Екранна форма для показу графіка наведена на рис. 4.15 або 4.16.

Перевищення транспортних витрат в процесі оптимізації за допомогою ГА знижується на 45 млн. грн., показник потреби в капітальних ремонтах знижується до 45% при початковому рівні 54%, а показник потреби в поточному середньому ремонті знижується з 67% до 0%. На десятий рік потреба в капітальних ремонтах модулів дороги зменшується до 13% на рік (при нормативній потребі 8%), а поточних середніх ремонтів до 16%. Звісно, що для отримання кращих результатів потрібно виконати експерименти з підбору оптимальних параметрів генетичного алгоритму, як було показано в п. 3.4.

Окрім графіків на закладку «Результати оптимізації» виводиться таблиця розрахунків в послідовності епох (генерацій) ГА, як показано на рис. 4.17.

Результати моделювання виводяться у відповідні таблиці книги-шаблону. На лист «Витрати» виводяться дані розрахунку вартості ремонтів і транспортних витрат (рис. 4.18).

Як видно, бюджет з капітального ремонту кожного року має залишок, не достатній для виконання ремонту в одному з модулів (колонка «Зал.КР»).

Бюджет поточного середнього ремонту явно перевищує потребу в такому ремонті.

Для більш точного підбору річного бюджету доцільно використати запропонований в п. 3.4 спосіб «м'яких» обмежень (рис. 4.19).

Можна скоригувати бюджети з капітального і поточного ремонту приблизно на величину залишку бюджету.

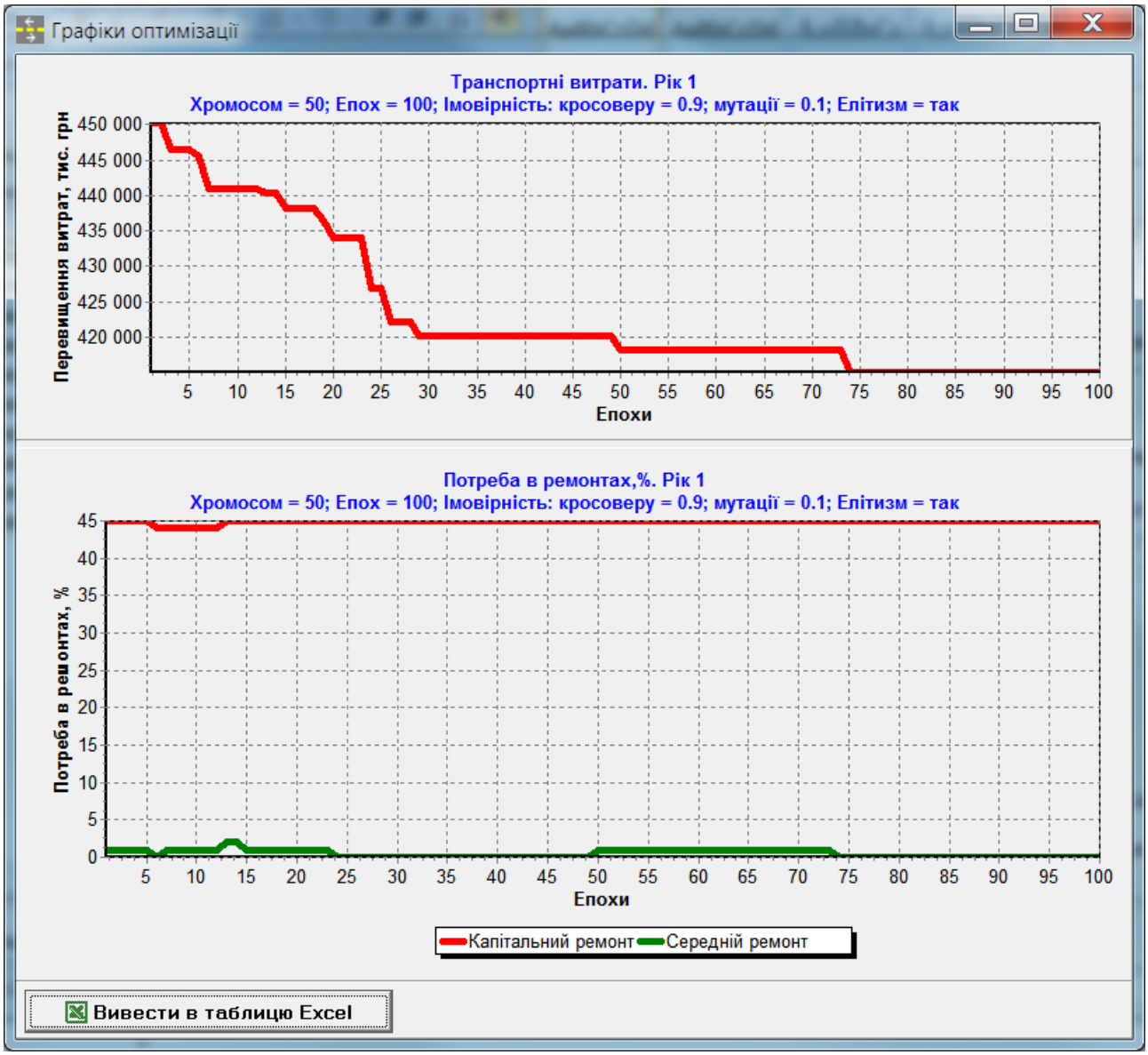


Рисунок 4.15 – Графік оптимізації програми ремонтів першого року

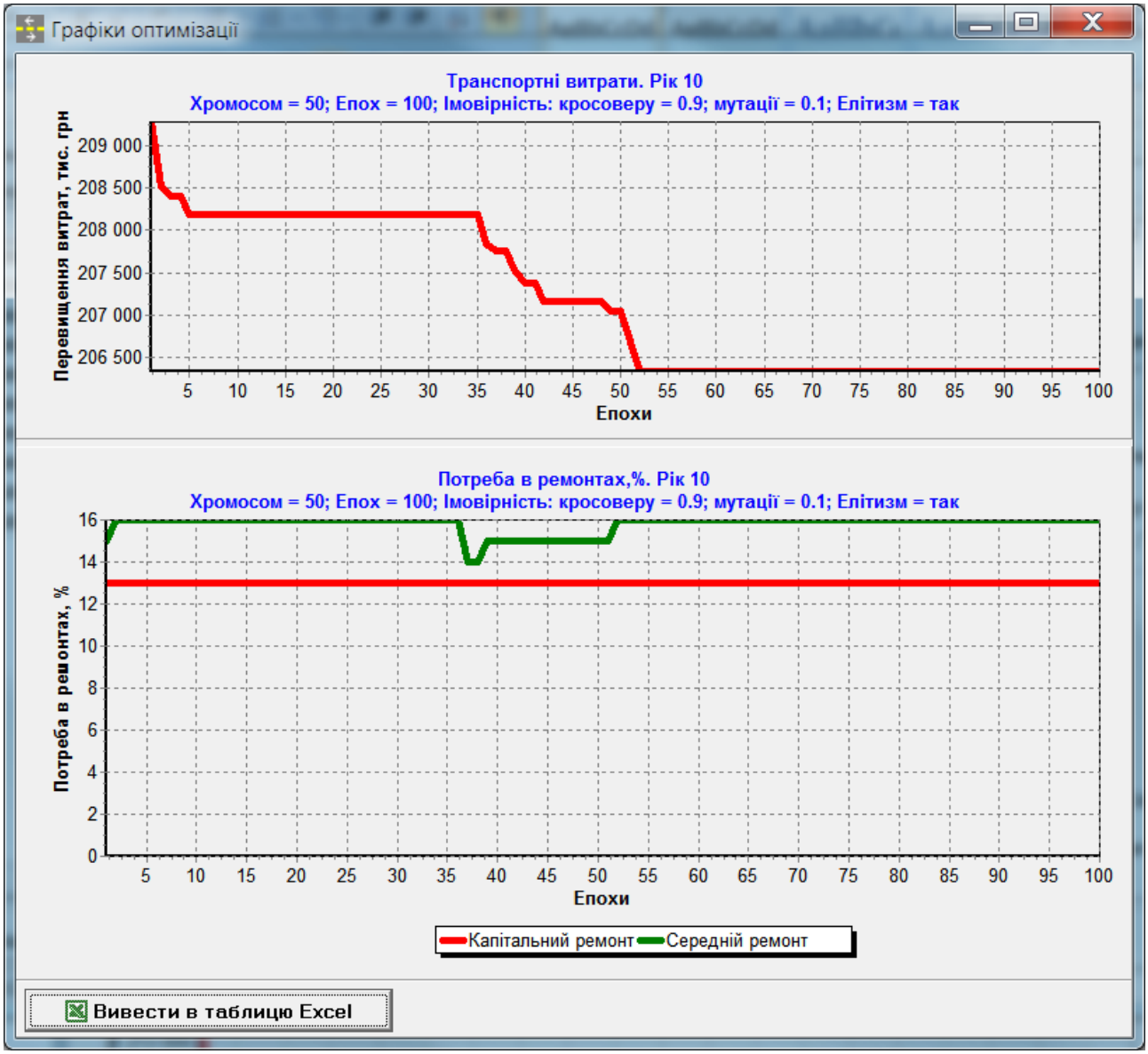
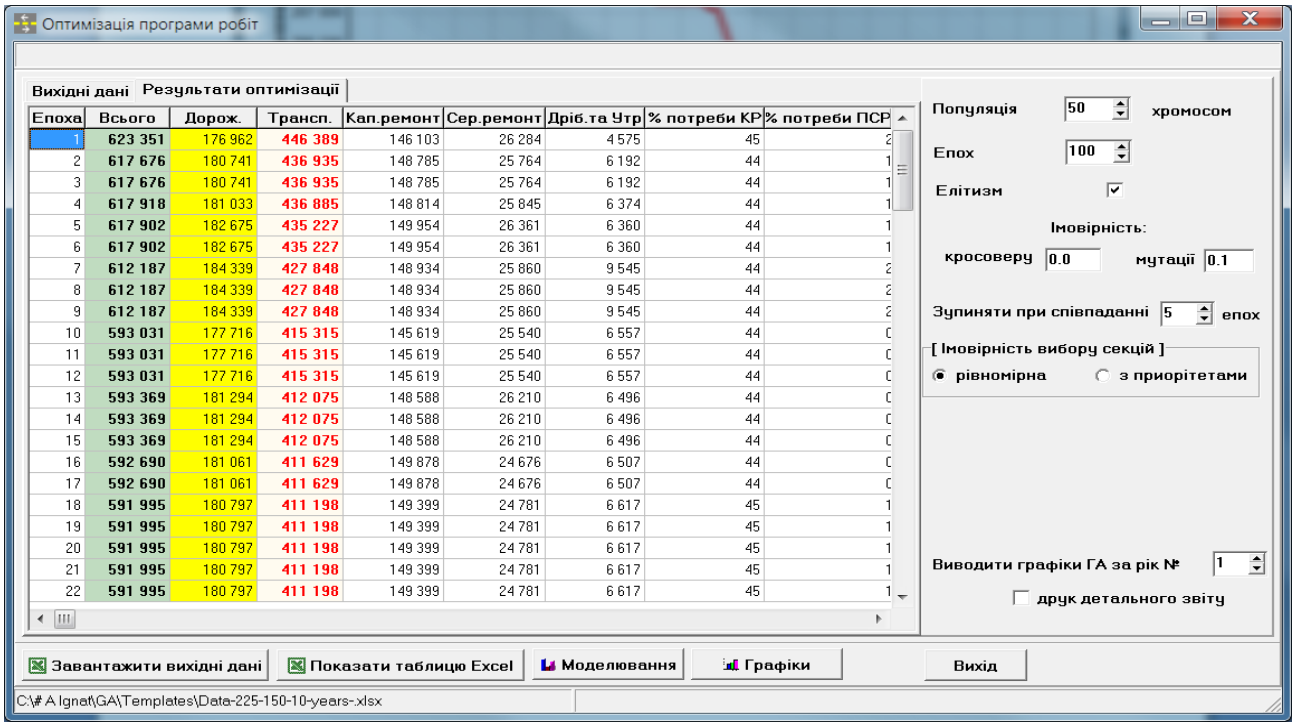


Рисунок 4.16 – Графік оптимізації програми ремонтів десятого року

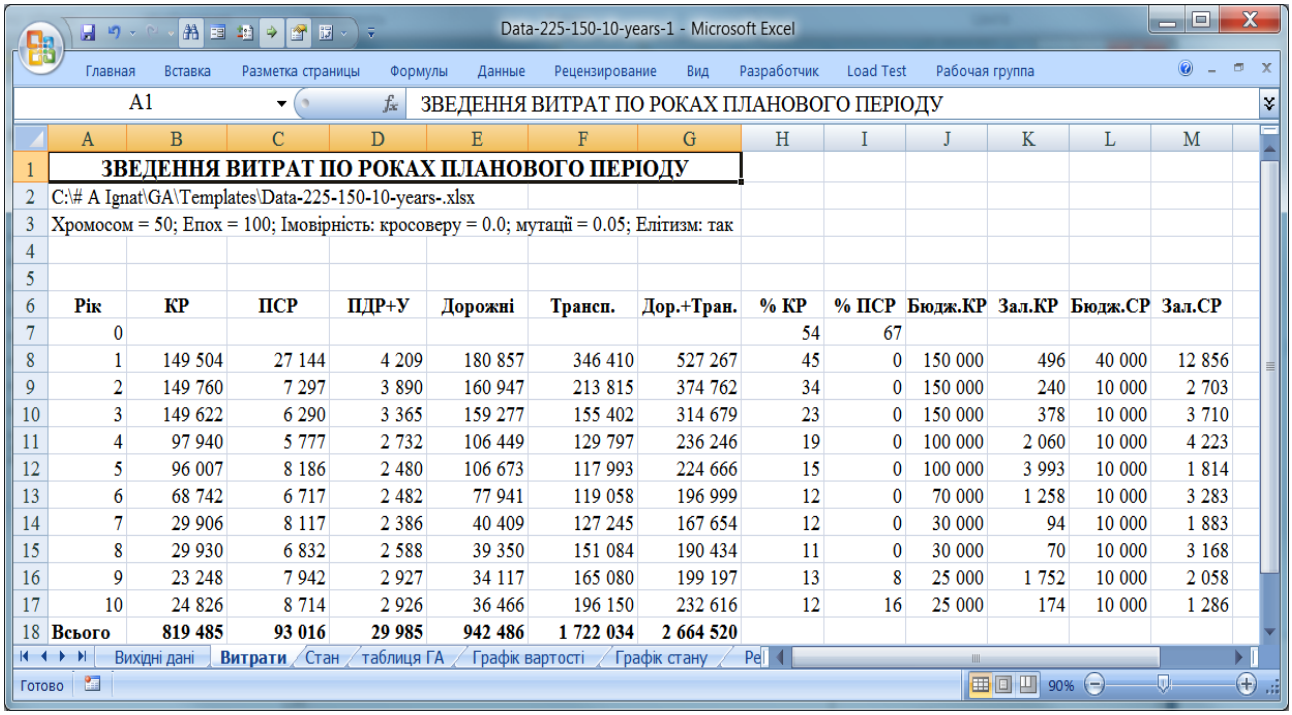
При від’ємному значенні залишку його значення потрібно добавити до річного бюджету, а при додатному – відняти.

Після редагування річних бюджетів отримаємо дані, наведені на рис. 4.20.



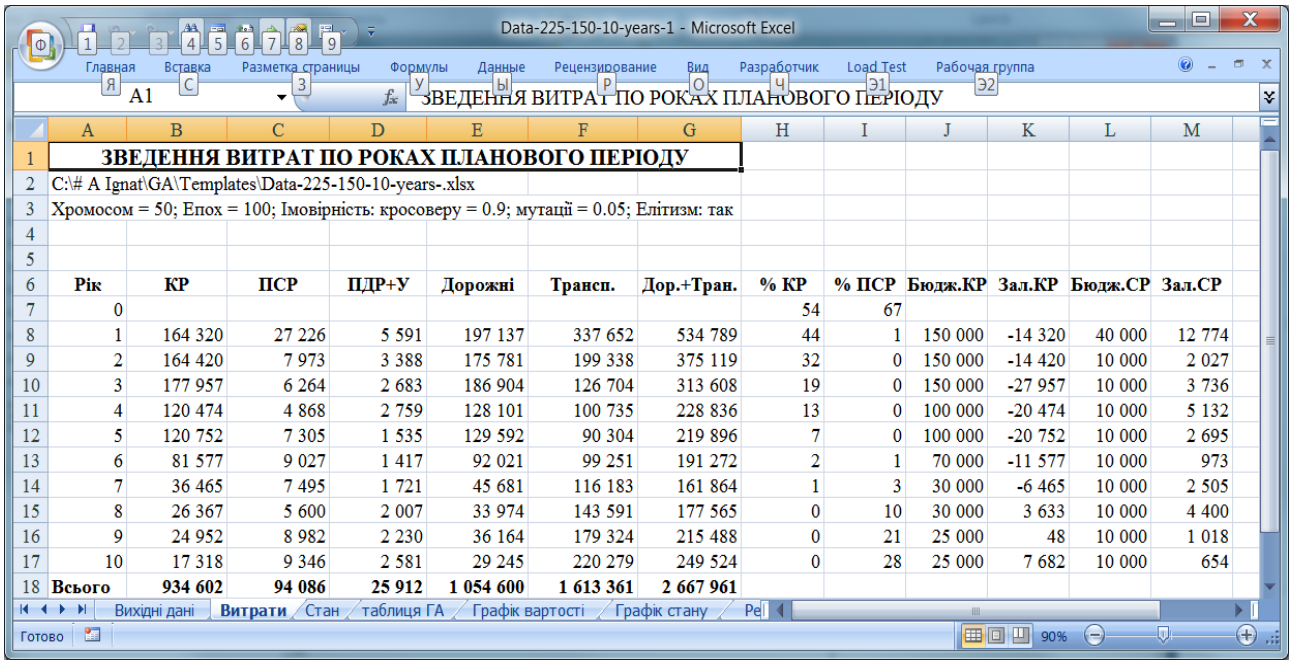
Епоха	Всього	Дорож.	Трансп.	Кап.ремонт	Сер.ремонт	Дріб.та Утр	% потреби КР	% потреби ПСР
1	623 351	176 962	446 389	146 103	26 284	4 575	45	2
2	617 676	180 741	436 935	148 785	25 764	6 192	44	1
3	617 676	180 741	436 935	148 785	25 764	6 192	44	1
4	617 918	181 033	436 885	148 814	25 845	6 374	44	1
5	617 902	182 675	435 227	149 954	26 361	6 360	44	1
6	617 902	182 675	435 227	149 954	26 361	6 360	44	1
7	612 187	184 339	427 848	148 934	25 860	9 545	44	2
8	612 187	184 339	427 848	148 934	25 860	9 545	44	2
9	612 187	184 339	427 848	148 934	25 860	9 545	44	2
10	593 031	177 716	415 315	145 619	25 540	6 557	44	0
11	593 031	177 716	415 315	145 619	25 540	6 557	44	0
12	593 031	177 716	415 315	145 619	25 540	6 557	44	0
13	593 369	181 294	412 075	148 588	26 210	6 496	44	0
14	593 369	181 294	412 075	148 588	26 210	6 496	44	0
15	593 369	181 294	412 075	148 588	26 210	6 496	44	0
16	592 690	181 061	411 629	149 878	24 676	6 507	44	0
17	592 690	181 061	411 629	149 878	24 676	6 507	44	0
18	591 995	180 797	411 198	149 399	24 781	6 617	45	1
19	591 995	180 797	411 198	149 399	24 781	6 617	45	1
20	591 995	180 797	411 198	149 399	24 781	6 617	45	1
21	591 995	180 797	411 198	149 399	24 781	6 617	45	1
22	591 995	180 797	411 198	149 399	24 781	6 617	45	1

Рисунок 4.17 – Таблиця ходу оптимізації програми ремонтів



Рік	КР	ПСР	ПДР+У	Дорожні	Трансп.	Дор.+Тран.	% КР	% ПСР	Бюдж.КР	Зал.КР	Бюдж.СР	Зал.СР
0							54	67				
1	149 504	27 144	4 209	180 857	346 410	527 267	45	0	150 000	496	40 000	12 856
2	149 760	7 297	3 890	160 947	213 815	374 762	34	0	150 000	240	10 000	2 703
3	149 622	6 290	3 365	159 277	155 402	314 679	23	0	150 000	378	10 000	3 710
4	97 940	5 777	2 732	106 449	129 797	236 246	19	0	100 000	2 060	10 000	4 223
5	96 007	8 186	2 480	106 673	117 993	224 666	15	0	100 000	3 993	10 000	1 814
6	68 742	6 717	2 482	77 941	119 058	196 999	12	0	70 000	1 258	10 000	3 283
7	29 906	8 117	2 386	40 409	127 245	167 654	12	0	30 000	94	10 000	1 883
8	29 930	6 832	2 588	39 350	151 084	190 434	11	0	30 000	70	10 000	3 168
9	23 248	7 942	2 927	34 117	165 080	199 197	13	8	25 000	1 752	10 000	2 058
10	24 826	8 714	2 926	36 466	196 150	232 616	12	16	25 000	174	10 000	1 286
Всього	**819 485**	**93 016**	**29 985**	**942 486**	**1 722 034**	**2 664 520**						

Рисунок 4.18 – Приведені витрати на ремонти



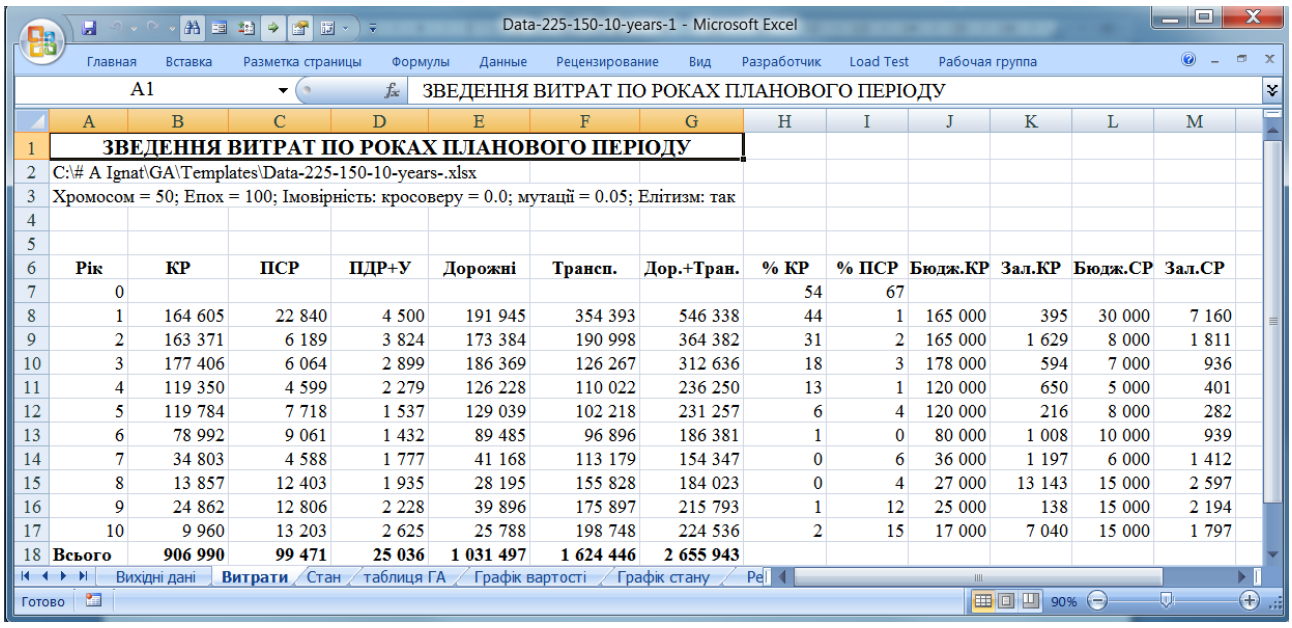
ЗВЕДЕННЯ ВИТРАТ ПО РОКАХ ПЛАНОВОГО ПЕРІОДУ

C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx

Хромосом = 50; Епох = 100; Імовірність: кросоверу = 0.9; мутації = 0.05; Елітизм: так

Рік	КР	ПСР	ПДР+У	Дорожні	Трансп.	Дор.+Тран.	% КР	% ПСР	Бюдж.КР	Зал.КР	Бюдж.СР	Зал.СР
0							54	67				
1	164 320	27 226	5 591	197 137	337 652	534 789	44	1	150 000	-14 320	40 000	12 774
2	164 420	7 973	3 388	175 781	199 338	375 119	32	0	150 000	-14 420	10 000	2 027
3	177 957	6 264	2 683	186 904	126 704	313 608	19	0	150 000	-27 957	10 000	3 736
4	120 474	4 868	2 759	128 101	100 735	228 836	13	0	100 000	-20 474	10 000	5 132
5	120 752	7 305	1 535	129 592	90 304	219 896	7	0	100 000	-20 752	10 000	2 695
6	81 577	9 027	1 417	92 021	99 251	191 272	2	1	70 000	-11 577	10 000	973
7	36 465	7 495	1 721	45 681	116 183	161 864	1	3	30 000	-6 465	10 000	2 505
8	26 367	5 600	2 007	33 974	143 591	177 565	0	10	30 000	3 633	10 000	4 400
9	24 952	8 982	2 230	36 164	179 324	215 488	0	21	25 000	48	10 000	1 018
10	17 318	9 346	2 581	29 245	220 279	249 524	0	28	25 000	7 682	10 000	654
Всього	**934 602**	**94 086**	**25 912**	**1 054 600**	**1 613 361**	**2 667 961**						

Рисунок 4.19 – Приведені до 0-го року витрати при «м’яких» обмеженнях



ЗВЕДЕННЯ ВИТРАТ ПО РОКАХ ПЛАНОВОГО ПЕРІОДУ

C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx

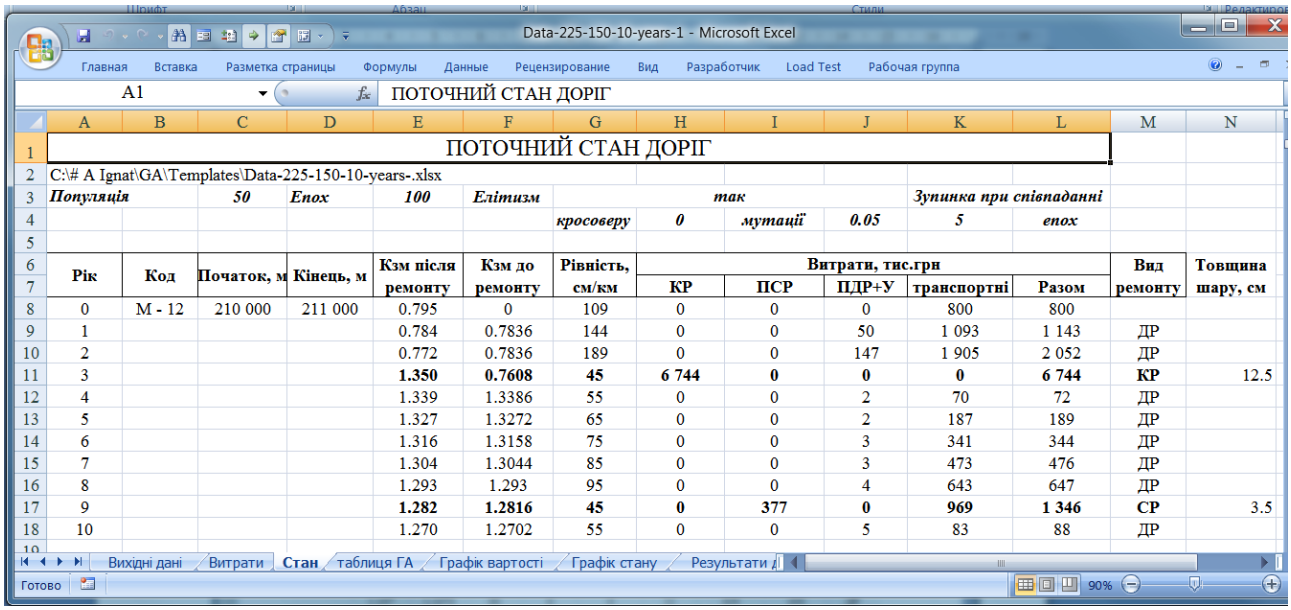
Хромосом = 50; Епох = 100; Імовірність: кросоверу = 0.0; мутації = 0.05; Елітизм: так

Рік	КР	ПСР	ПДР+У	Дорожні	Трансп.	Дор.+Тран.	% КР	% ПСР	Бюдж.КР	Зал.КР	Бюдж.СР	Зал.СР
0							54	67				
1	164 605	22 840	4 500	191 945	354 393	546 338	44	1	165 000	395	30 000	7 160
2	163 371	6 189	3 824	173 384	190 998	364 382	31	2	165 000	1 629	8 000	1 811
3	177 406	6 064	2 899	186 369	126 267	312 636	18	3	178 000	594	7 000	936
4	119 350	4 599	2 279	126 228	110 022	236 250	13	1	120 000	650	5 000	401
5	119 784	7 718	1 537	129 039	102 218	231 257	6	4	120 000	216	8 000	282
6	78 992	9 061	1 432	89 485	96 896	186 381	1	0	80 000	1 008	10 000	939
7	34 803	4 588	1 777	41 168	113 179	154 347	0	6	36 000	1 197	6 000	1 412
8	13 857	12 403	1 935	28 195	155 828	184 023	0	4	27 000	13 143	15 000	2 597
9	24 862	12 806	2 228	39 896	175 897	215 793	1	12	25 000	138	15 000	2 194
10	9 960	13 203	2 625	25 788	198 748	224 536	2	15	17 000	7 040	15 000	1 797
Всього	**906 990**	**99 471**	**25 036**	**1 031 497**	**1 624 446**	**2 655 943**						

Рисунок 4.20 – Приведені витрати при «жорстких» обмеженнях

Важливим вихідним документом є таблиця поточного стану дорожнього одягу, в якій для кожного модулю встановлена стратегія ремонтів в рамках програми робіт (рис. 4.21).

З метою формування річних програм робіт з ремонтів дорожнього одягу дані розрахунків згруповані по видам ремонтів (рис. 4.22 і 4.23).



ПОТОЧНИЙ СТАН ДОРІГ

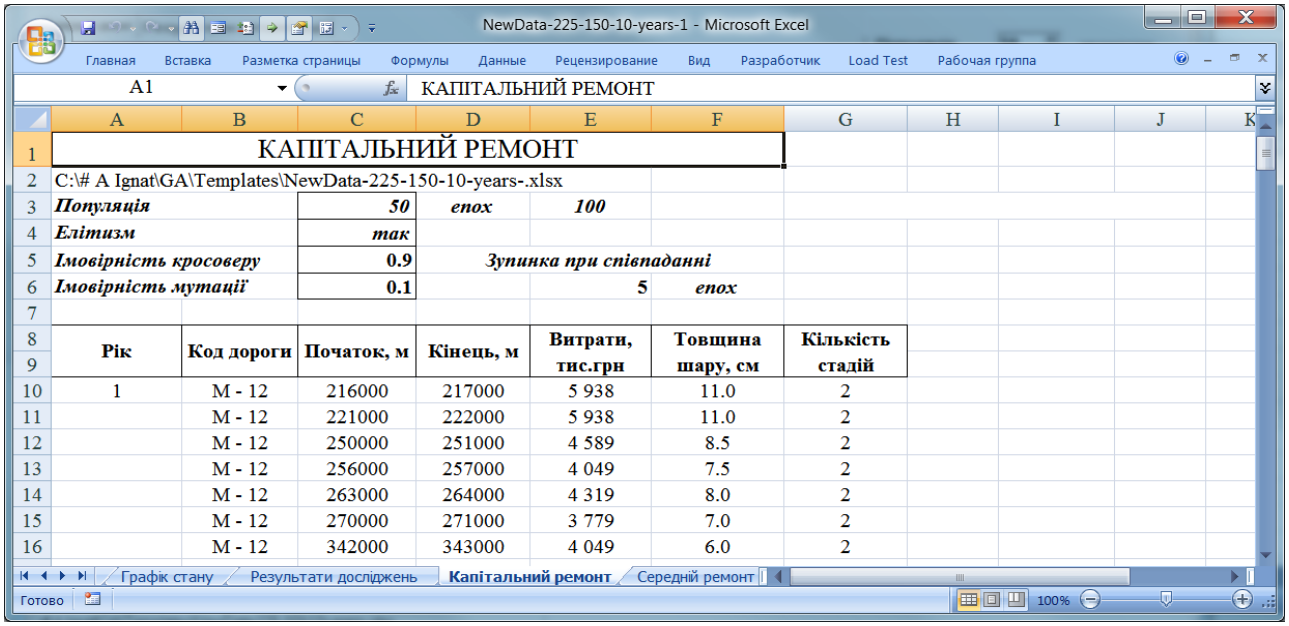
C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-150-10-years-.xlsx

Популяція 50 *Епох* 100 *Елітизм* *так* *Зупинка при співпаданні*

кросоверу 0 *мутації* 0.05 5 *епох*

Рік	Код	Початок, м	Кінець, м	Кзм після ремонту	Кзм до ремонту	Рівність, см/км	Витрати, тис.грн КР	ПСР	ПДР+У	транспортні	Разом	Вид ремонту	Товщина шару, см
0	М - 12	210 000	211 000	0.795	0	109	0	0	0	800	800		
1				0.784	0.7836	144	0	0	50	1 093	1 143	ДР	
2				0.772	0.7836	189	0	0	147	1 905	2 052	ДР	
3				**1.350**	**0.7608**	**45**	**6 744**	**0**	**0**	**0**	**6 744**	**КР**	12.5
4				1.339	1.3386	55	0	0	2	70	72	ДР	
5				1.327	1.3272	65	0	0	2	187	189	ДР	
6				1.316	1.3158	75	0	0	3	341	344	ДР	
7				1.304	1.3044	85	0	0	3	473	476	ДР	
8				1.293	1.293	95	0	0	4	643	647	ДР	
9				**1.282**	**1.2816**	**45**	**0**	**377**	**0**	**969**	**1 346**	**СР**	3.5
10				1.270	1.2702	55	0	0	5	83	88	ДР	

Рисунок 4.21 – Фрагмент програми робіт для модуля км 210+000 – 211+000



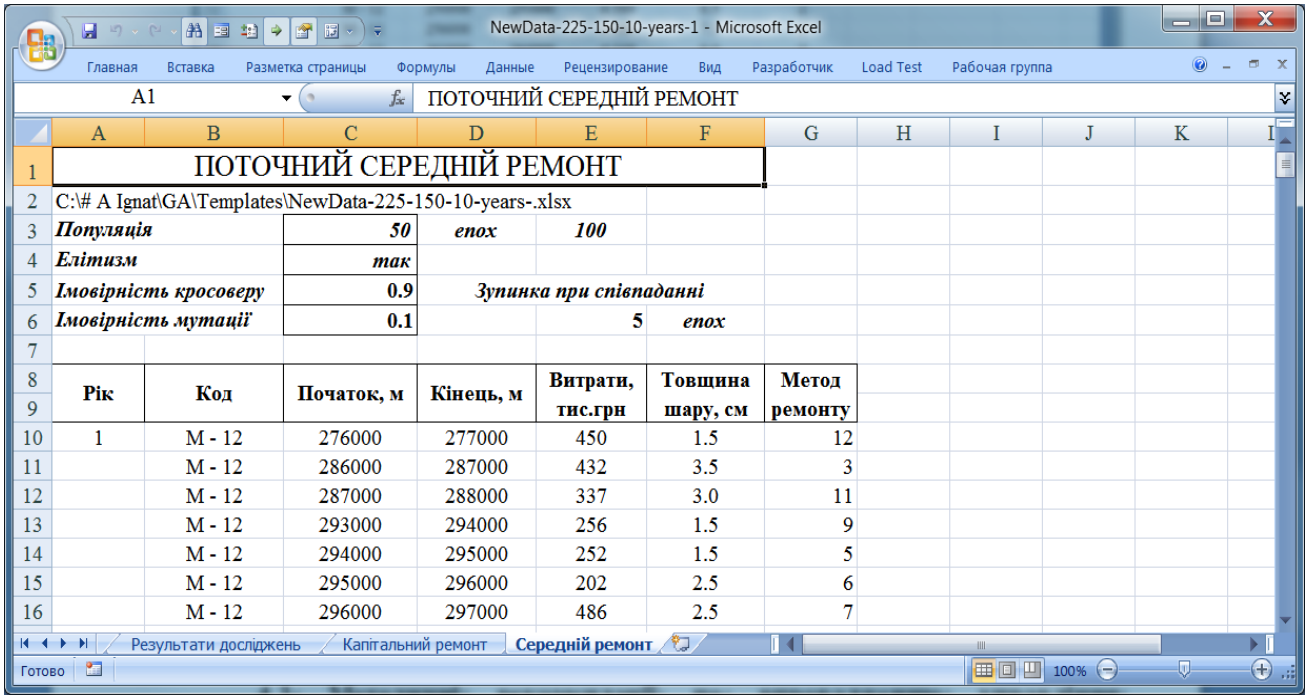
КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ

C:\# A Ignat\GA\Templates\NewData-225-150-10-years-.xlsx

Популяція	50	*епох*	100
Елітизм	*так*		
Імовірність кросоверу	0.9	*Зупинка при співпаданні*	
Імовірність мутації	0.1	5	*епох*

Рік	Код дороги	Початок, м	Кінець, м	Витрати, тис.грн	Товщина шару, см	Кількість стадій
1	М - 12	216000	217000	5 938	11.0	2
	М - 12	221000	222000	5 938	11.0	2
	М - 12	250000	251000	4 589	8.5	2
	М - 12	256000	257000	4 049	7.5	2
	М - 12	263000	264000	4 319	8.0	2
	М - 12	270000	271000	3 779	7.0	2
	М - 12	342000	343000	4 049	6.0	2

Рисунок 4.22 – План робіт з капітального ремонту дорожнього одягу



ПОТОЧНИЙ СЕРЕДНІЙ РЕМОНТ

C:\# A Ignat\GA\Templates\NewData-225-150-10-years-.xlsx

Популяція	***50***	***епох***	***100***	
Елітизм	***так***			
Імовірність кросоверу	**0.9**	***Зупинка при співпаданні***		
Імовірність мутації	**0.1**		**5**	***епох***

Рік	Код	Початок, м	Кінець, м	Витрати, тис.грн	Товщина шару, см	Метод ремонту
1	М - 12	276000	277000	450	1.5	12
	М - 12	286000	287000	432	3.5	3
	М - 12	287000	288000	337	3.0	11
	М - 12	293000	294000	256	1.5	9
	М - 12	294000	295000	252	1.5	5
	М - 12	295000	296000	202	2.5	6
	М - 12	296000	297000	486	2.5	7

Рисунок 4.23 – План робіт з поточного середнього ремонту дорожнього одягу

4.3 Розробка методики обґрунтування бюджетних обмежень в управлінні програмами ремонтів дорожнього одягу

Створені в процесі написання дисертаційної роботи програмні засоби оптимізації стратегії виконання ремонтів дорожнього одягу нежорсткого виду застосовуються на стадії планування в управлінні програмою ремонтів.

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

Поставлена задача розв’язується шляхом підбору таких значень бюджетних коштів, які, разом з величиною транспортних витрат, утворюють компромісне рішення.

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

В якості прикладу вибрана програма робіт тривалістю 10 років на ділянці автомобільної дороги М-12 Стрий-Тернопіль-Кіровоград-Знам’янка з 225 модулів (довжиною 225 км). Результати досліджень наведені на рис. 4.24-4.26.

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

З метою прискорення зміни вихідних даних щодо бюджетних обмежень на головній формі програми (рис. 4.13) розміщені елементи управління, які дозволяють в інтерактивному режимі роботи оперативно змінювати сумарний за вісі роки дії програми бюджет та розподіляти його по рокам в тих пропорціях, що були задані у файлі вихідних даних (рис. 4.25).

Розподілення бюджету програми по рокам має значний вплив на порядок здійснення проектів капітальних і поточних середніх ремонтів дорожнього одягу та ефективність виконання програми в цілому, що пояснюється різною вартістю грошей у часі [19].

Отже, при обґрунтуванні основних параметрів здійснення програми ремонтів доцільно дослідити вплив розподілу бюджетних коштів по рокам дії програми. Процедура дослідження базується на початковому розподілі сумарного бюджету по рокам, яке задається у файлі вихідних даних, а в процесі моделювання послідовно змінюваний сумарний бюджет розподіляється по рокам згідно з встановленим відсотковим співвідношенням річних бюджетів.

Наведені програмні засоби, які реалізують розроблену теоретичну модель обґрунтування бюджетних обмежень в управлінні програмою ремонтів

дорожнього одягу, можуть застосовуватись в ході управління реалізацією програми при розробці річних програм, скоригованих у відповідності з фактичними результатами, досягнутими при виконанні річних програм. Схема управління наведена на рис. 4.26.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЮДЖЕТУ

Файл: C:\# A Ignat\GA\Templates\Data-225-10-years-.xlsx

Секцій **225** **Плановий період** **10 років**

Витрати в млн.грн

Бюджет КР	Витрати КР	Бюджет ПСР	Витрати ПСР	Транспортні витрати	Стан % КР	Стан % ПСР	Дорожні витрати	Дорожні + транспортні
500	494	50	38	6308	48	6	532	6840
600	594	60	50	4772	39	6	644	5416
700	696	70	58	3721	29	4	754	4475
800	793	80	66	3014	19	4	859	3873
900	896	90	76	2560	9	0	972	3532
1000	984	100	78	2261	2	4	1062	3323
1100	971	110	84	1986	0	8	1055	3041
1200	967	120	85	1875	0	6	1052	2927
1300	952	130	98	1798	0	9	1050	2848
1400	945	140	98	1735	0	9	1043	2778
1500	926	150	102	1629	0	10	1028	2657
1600	912	160	104	1597	1	12	1016	2613
1700	916	170	108	1568	0	13	1024	2592
1800	919	180	114	1528	0	7	1033	2561
1800	912	180	110	1508	1	13	1022	2530
1800	913	180	112	1548	1	14	1025	2573
1900	916	190	115	1492	0	12	1031	2523
1900	910	190	115	1510	1	10	1025	2535
1900	914	190	113	1523	0	15	1027	2550
2000	911	200	116	1458	0	10	1027	2485
2000	923	200	121	1461	0	6	1044	2505
2000	909	200	123	1458	0	10	1032	2490
2100	914	210	125	1450	0	2	1039	2489
2100	905	210	122	1470	0	8	1027	2497
2100	913	210	122	1462	0	5	1035	2497
2200	901	220	128	1456	0	7	1029	2485
2200	917	220	127	1433	0	1	1044	2477
2200	917	220	117	1394	0	4	1034	2428
2400	906	240	127	1396	0	0	1033	2429
2400	908	240	127	1364	0	0	1035	2399
2400	902	240	128	1372	0	0	1030	2402
2500	898	250	127	1367	0	0	1025	2392
2500	909	250	130	1355	0	0	1039	2394
2500	909	250	126	1380	0	0	1035	2415

Рисунок 4.24 – Результати досліджень впливу розміру бюджетних обмежень

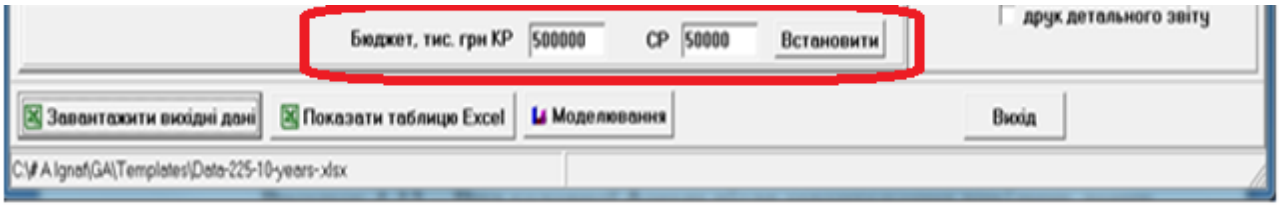


Рисунок 4.25 – Елементи управління для встановлення розміру бюджетних обмежень

Рисунок 4.26 – Схема управління програмою ремонтів дорожнього одягу

Річні програми ремонтів можуть бути скориговані після фактичного виконання робіт, тому запропонований в дисертації підхід використовується на ту частину програми робіт, що залишилась.

Економічний ефект розраховано для ділянки автомобільної дороги М-12 Стрий-Тернопіль-Кіровоград-Знам’янка протяжністю 225 км наступним чином. Вихідні дані для розрахунку вибирані в базі даних СУСП, як це показано в п.4.1 даної дисертаційної роботи. Після завантаження вихідних даних в таблицю Excel, вибирається бюджет програми ремонтів. Для вибраної ділянки дороги він становить 900000 тис. грн на десять років. В результаті моделювання заповнюється табл. 4.4, в якій наводяться результати оптимізації за допомогою ГА щорічних програм ремонтів. В колонці «Різниця» наведено економію сумарних дорожньо-транспортних витрат.

Таблиця 4.4 – Результати досліджень дороги М-12 Стрий-Тернопіль-Кіровоград-Знам’янка на 10 років.

Роки	Найбільше значення витрат, тис грн.	Найменше значення витрат, тис. грн	Різниця, тис. грн.
1	583302	524756	58546
2	413657	377895	35762
3	323474	298420	25054
4	277474	259382	18092
5	271255	259165	12090
6	272581	264333	8248
7	249223	240650	8573
8	246168	239606	6562
9	274085	272141	1944
10	308238	304073	4165
Разом по роках			179063

Графік економії сумарних витрат по роках виконання програми наведено на рис. 4.27.

Розрахунковий економічний ефект від застосування генетичного алгоритму оптимізації річної програми робіт отримується від:

- вибору оптимального змісту програми – складу проектів програмних модулів;
- вибору оптимальних видів, років виконання і параметрів ремонтів.

В результаті оптимізації отримується річна економія транспортних витрат.

Для вибраної ділянки дороги М - 12 Стрий –Тернопіль – Кіровоград – Знам’янка сумарна економія за 10 років, наведена на рис. 4.27 і віднесена до повної суми транспортних витрат, складає 6% від суми перевищення транспортних витрат над витратами при русі автомобілів по новому покриттю з рівністю 45 см/км.

Економічний ефект має індивідуальний для вибраної мережі доріг характер, залежить від тривалості програми ремонту. Він може бути

обчислений кожного разу при використанні розробленої в дисертації комп'ютерної програми.

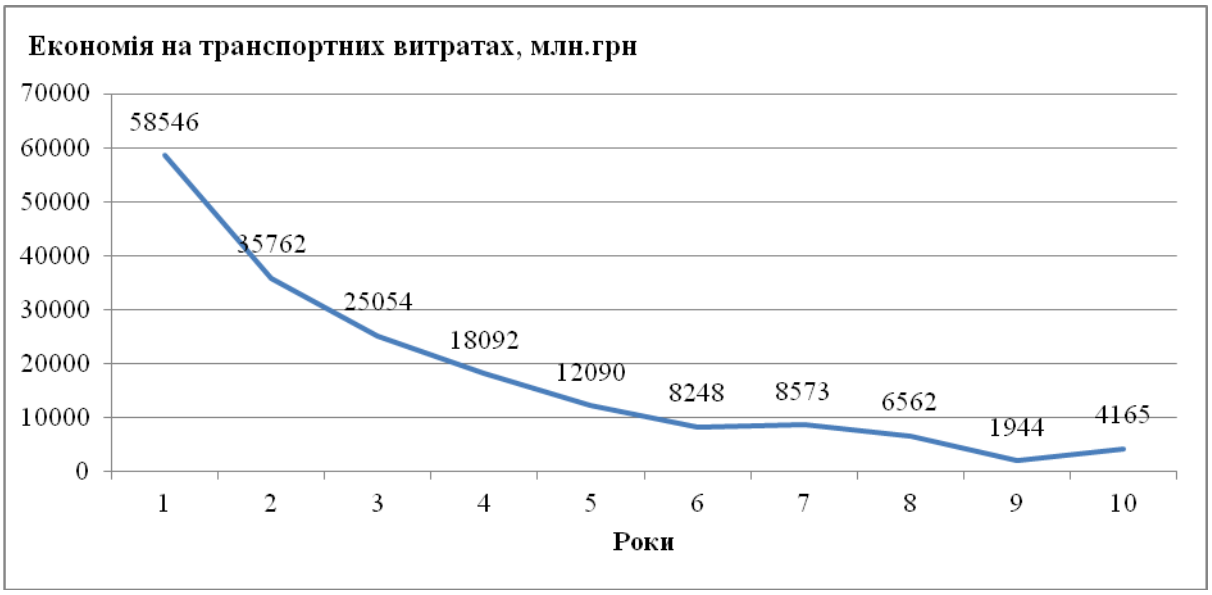


Рисунок 4.27. Графік економії сумарних дорожньо-транспортних витрат за 10 років.

Висновки по розділу 4

1. Інформаційною базою програмного забезпечення управління програмою ремонтів дорожнього одягу на стадії її планування слугує база даних Системи управління станом покриття, яка використовується в Державному агенстві автомобільних доріг України (Укравтодор). База даних СУСП реалізована з використанням системи управління базами даних Microsoft SQL Server. З метою забезпечення більшої гнучкості запропонованих в дисертації програмних засобів, розроблена процедура витягу необхідних для формування програми управління ремонтами даних в таблицю MS Excel, що використовується як вихідна для програми обґрунтування параметрів ремонтів.

Отримана таким способом таблиця доповнюється іншими необхідними для розрахунків даними.

2. Розроблена програма має інтерфейс, в основу якого був покладений принцип інтуїтивної зрозумілості, щоб користувач міг спиратися на свій досвід користування різноманітними програмами, які знайшли широке розповсюдження в практиці і вивчаються в освітніх закладах.

3. Результати моделювання і вихідні форми запропонованої комп'ютерної програми розміщуються в ту ж саму книгу MS Excel, що і вхідні дані, що спрощує процес зберігання та друку програм капітального і поточного середнього ремонтів та детальної таблиці динаміки стану модулів дорожнього одягу по рокам здійснення програми ремонтів.

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

5. Задачу приведення сучасного стану дорожнього одягу до нормативних вимог запропоновано вирішувати шляхом послідовного перебору можливих щорічних бюджетів для побудови залежності від них значень критерію перевищення транспортних витрат і показників стану дорожнього одягу і покриття.

6. Виконані на основі реальних даних з СУСП дослідження дозволили обґрунтувати евристичну процедуру пошуку раціональних значень щорічних бюджетів ремонтних робіт і запропонувати схему управління програмою ремонтів дорожнього одягу на основі рекурентного використання алгоритмів з урахуванням фактичного виконання програми ремонтів з відповідним внесенням в програму необхідних змін.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання відновлення стану дорожнього одягу за задану кількість років, що виявляються у теоретичному обґрунтуванні та розробці практичних інструментів управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг. Отримані наукові результати підтверджують досягнення поставленої мети завдяки вирішенню визначених завдань дослідження, що дає підстави зробити такі висновки.

1. На основі аналізу існуючих досліджень в управлінні відновленням стану автомобільних доріг на теоретичному підґрунті управління програмами запропоновано розглядати ремонти дорожнього одягу ділянок автомобільних доріг з однорідними зовнішніми та внутрішніми характеристиками умов експлуатації в рамках єдиного модулю, що складається з визначеної послідовності взаємозалежних проектів, характер і час виконання яких обумовлюються взаємним впливом процесів деградації і відновлення стану дорожнього одягу.

2. В якості критерію оптимальності в управлінні програмою ремонтів дорожнього одягу прийнято мінімум різниці транспортних витрат спричинених погіршенням стану покриття та транспортних витрат, які мають місце на новому покритті, при обмеженні витрат на ремонти та експлуатаційне утримання дорожнього одягу заданим об’ємом фінансування.

3. Для управління програмами ремонтів дорожнього одягу у фазах ініціювання, планування і коригування програми запропоновано математичну модель оптимізації рішень за прийнятим критерієм, що поєднує модель деградації дорожнього одягу та модель відновлення його стану. В якості алгоритму пошуку оптимальної стратегії ремонтних робіт застосований один з методів еволюційного моделювання - генетичний алгоритм. Адекватність моделі підтверджується порівнянням отриманих результатів з даними розрахунків СУСП.

4. За допомогою створеної на основі запропонованої математичної моделі комп’ютерної програми, в якій реалізовано генетичний алгоритм оптимізації, досліджений вплив розміру популяції, числа генерацій генетичного алгоритму, ймовірностей кросоверу і мутації на ефективність пошуку оптимального рішення. Визначені достатній розмір популяції в 150 рішень, ймовірність кросоверу від 0,7 до 0,9, імовірність мутації від 0,025 до 0,05.

5. Створена методика управління програмами ремонтів дорожнього одягу і відповідне комп’ютерне програмне забезпечення дозволяють швидко обґрунтувати оптимальну стратегію ремонтних робіт і є інструментами для підвищення ефективності прийняття рішень в управлінні програмою ремонтів. Розроблена методика дозволяє за рахунок вибору кращого за вибраним критерієм рішення – років і варіантів ремонтів досягти зниження транспортних витрат до 4 - 6% порівняно з евристичним рішенням за принципом «найгірші – перші».

Подальші дослідження моделей і методів управління програмами ремонтів дорожнього одягу повинні бути направлені на створення історичних баз даних про кількісні параметри стану доріг і фактично здійснені ремонти, на розробку сучасних математичних методів прогнозування інтенсивності руху і оцінки вартісних показників, необхідних для обґрунтування довгострокових стратегій і програм ремонтів дорожнього одягу, а також створення відповідних інформаційних технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про автомобільні дороги» від 8 верес. 2005 року № 2862-IV. [Текст] // Голос України. – 2005. – 07 жовт. – № 189. Із внесенням змін до Закону України від 20 грудня 2011 року № 4203-VI.

2. Закон України «Про державні цільові програми» від 18 березня 2004 р. № 16210-IV [Текст] // Відом. Верховної Ради України. – 2004. – № 25? , ст. 352.

3. Положення про Державне агентство автомобільних доріг України [Електронний ресурс] / Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 10 вересня 2014 р. № 439. – Режим доступу: http://www.ukravtodor.gov.ua/polozhennya.html.

4. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України П-Г.1-218-113 [Текст] // :2009. – К., 2009. - 183 с.

5. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. СОУ 45.2-00018112-042:2009. [Текст] // Київ: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. http://www.ukravtodor.gov.ua/gromadske-obgovorennya/%D1%81_kontseptsiya-reformuvannya-dorozhnogo-gospodarstva.html.

6. Автоматизированный банк дорожных даных. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.aha.ru/~rdnii/abdd2_ru.htm.

7. Базы дорожних данных в России. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.indorsoft.ru

8. Белощицкий А. А. Управление проблемами в методологии проектно-векторного управления образовательными середами [Текст] / А. А. Белощицкий // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 9. – С. 104–107.

9. Бушуев С.Д. Проактивное управление программами организационного развития [Текст] / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управління

проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006 - №2(18). - С. 22-30.

10. Бушуев С.Д. Развитие технологической зрелости в управлении проектами [Текст] / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управління проектами та розвиток виробництва. Збірник наукових праць. Під ред. В.А. Рач. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.. В. Даля, 2003. - № 2 (7). - сс. 5-12.

11. Бушуев С.Д. Современные подходы к развитию методологий управления проектами [Електронний ресурс] / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2005 - №1(13). - С. 5-19. Режим доступу: http://www.pmdp.org.ua/.

12. Бушуев С.Д. Ценностный подход в управлении развитием проектно-ориентированных организаций / С.Д. Бушуев, В.М. Молоканова // Технические науки — от теории к практике / Сб. ст. по материалам XXXII междунар. науч.-практ. конф. № 3 (28). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. С. 14-20. Режим доступу: http://sibac.info/14008.

13. Бушуев С.Д. Формирование ценности в деятельности проектно-ориентированных организаций [Текст] / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управление проектами и развитие производства . 2009. №3. - Режим доступу:: http://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-tsennosti-v-deyatelnosti-proektno-orientirovannyh-organizatsiy (дата обращения: 09.07.2015).

14. Бушуев С. Д. Напрями дисертаційних наукових досліджень зі спеціальності «Управління проектами та програмами» [Текст] / С. Д. Бушуев, В. Д. Гогунський, К. В. Кошкін // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА,. – 2012. - № 12. – С. 5 – 7.

15. Бушуева Н.С. Механизмы матричных технологий проактивного сбалансированного управления программами организационного развития [Текст] / Н.С. Бушуева // Управління проектами та розвиток виробництва. Збірник наукових праць. Під ред. В.А. Рач. – Луганськ: Вид-во СНУ ім.. В. Даля, 2007. - № 3(23). - сс. 16-24.

16. Бушуева Н. С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития [Текст] / Н. С. Бушуева. – К.: Наук. світ, 2007. – 270 с.

17. Бушуєва Н.С. Матричні технології проактивного управління програмами організаційного розвитку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.22 [Текст] / Н.С. Бушуєва. – К., 2008. – 38 с.

18. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения [Текст] / А.П. Васильев, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.

19. Виленский П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: Учеб. Пособие – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / П.Л. Виленский, В.Н. Лифши, С.А. Смоляк. – М.: Дело, 2002. 888 с.

20. Воркут Т.А. Проектний аналіз [Текст] / Тетьяна Анатоліївна Воркут . - Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямом «Транспортні технології».- Київ: Український центр духовної культури, 2000. – 440с.

21. Гогунский В.Д. Необходимость внедрения офиса управления проектами [Текст] / В.Д.Гогунский, А.В. Оганов // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2013, вип. 4(5) . – С. 57–61.

22. Гогунский, В. Д. Обоснование закона о конкурентных свойствах проектов [Текст] / В.Д. Гогунский, С. В. Руденко, П. А. Теслено //Управління АКНУБА, 2012. – С. 14 – 16.

23. Гогунский, В. Д. Основные законы проектного менеджмента [Текст] / В.Д. Гогунский, С.В. Руденко // IV міжнар. конф.: «Управління проектами: стан та перспективи». – Миколаїв: НУК, 2008. – С. 37 – 40.

24. Гордєєва І.О. Метод комплексної оцінки адаптаційних здатностей проектів та програм до ризиків // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА,. – 2014. – Вип. 17. – С. 12 – 18.

25. Далека В. Х. Наукове забезпечення ресурсозбереження на міському електротранспорті в ринковому середовищі [Электроный ресурс] / В. Х. Далека

// Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. Выпуск 53. Серия: Технические на- уки и архитектура. — С. 146—152. — Режим доступу: http://eprints.kname.edu.ua/view/subjects/Vipusk53.html.

26. Далека В.Х. Управління проектами ресурсозбереження на міському електротранспорті / В.Х. Далека // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. – № 3(11). – С.34-40. Режим доступу: http://www.pmdp.org.ua/.

27. Демішкан В.Ф. Удосконалення управління станом автомобільних доріг за умов обмежених ресурсів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / В.Ф. Демішкан. – Х., 2000. – 17 с.

28. Дорожная служба Дании. Langue de bois, connatt past Interview de Per Milner, Political clichest. No way! [Текст] / Surchamp A. // Route actual. – 1995. – № 46. – С. 103 – 105. – Англ.

29. Доценко Н.В. Управление компетенциями при формировании команды мультипроекта [Текст] / Н.В. Доценко, Л.Ю. Сабадош, И.В. Чумаченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 1/10 (61) 2013. – С. 16-18.

30. Еремин В.М. Поддержка принятия решений в автомобильно-дорожной отрасли [Текст] / В.М. Еремин, Г.А. Шухман. – М.: Моск. гос. авт.– дор. ин-т (Техн. ун-т), 1999. – С. 20.

31. Зачко О.Б. Оптимізація структури портфелю проектів в системі забезпечення безпеки життєдіяльності [Текст] / О.Б. Зачко, Ю.П. Рак, Т.Є. Рак // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. - № 4 (28). - С. 26-30.

32. Золотарь И.А. Повышение надежности автомобильных дорог [Текст] / И. А. Золотарь, В. К. Некрасов. -М.: Транспорт, 1977. 183 с

33. І.П. Гамеляк. Надійність конструкції дорожнього одягу. Ч. 2 Експлуатаційна надійність. [Текст] / І.П. Гамеляк // Автошляховик України - 2006 - Вип. 6 .

34. Ігнатюк В.В. Обґрунтування довгострокової програми дорожньо-ремонтних робіт [Текст] / Ігатюк В.В. // Наукові нотатки, Міжвузівський збірник (за галузями знань, «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). Вип. 37. –Л: 2012. С.120-123.

35. Ігнатюк В.В. Оптимізаційні моделі в управлінні станом дорожнього одягу автомобільних доріг [Текст] / В.В. Ігнатюк // Науково-технічний збірник: «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Вип.85. - К: НТУ. 2012.

36. Ігнатюк В.В. Оптимізація програм ремонту дорожнього одягу автомобільних доріг [Текст] / Ігатюк В.В. // Вісник НТУ: В 2-х частинах: Ч.1. Вип.26. – К.: НТУ, 2012. С. 74-77

37. Ігнатюк В.В. Оптимізація програмами ремонтів дорожнього одягу [Текст] / В.В. Ігнатюк //Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2014. – Вип.30. – С. 131-138

38. Ігнатюк В.В. Порівняльний аналіз оптимізаційних моделей в управлінні станом дорожнього одягу [Текст] / В.В. Ігнатюк // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: материалы Международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых. - Х.:ХНАДУ, 2012, С.134-138.

39. Ігнатюк В.В. Розвиток методів управління транспортно – експлуатаційним станом автомобільних доріг [Текст] / В.В. Ігнатюк // Вісник СевНТУ: зб.наук.пр. Вип.135/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. С.93-97.

40. Ігнатюк В.В. Управління програмами відновлення стану дорожнього одягу [Текст] / Ігатюк В.В. // Наукові нотатки, Міжвузівський збірник (за галузями знань, «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). Випуск 46. Травень-червень 2014. Луцьк. с.221-226.

41. Ігнатюк Віка. Модель формирования программы ремонтов автомобильных дорог [Текст] / Віка Ігнатюк // Systemy i srodki transportu

samochodowego / Seria: TRANSPORT. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza – 2014. – №5. S. 253-262.

42. Калінько І.В. Формування програми розвитку регіону з врахуванням пріоритетних інноваційно-інвестиційних проектів галузей / Є.Ю. Сахно, І.В. Калінько, М.В. Двоеглазова // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2011. - № 3. – С. 88-94.

43. Ігнатюк В.В. Генетичний алгоритм оптимізації програм ремонту дорожнього одягу автомобільних доріг [Текст] / О.П. Канін, В.В. Ігнатюк // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 10. – К.: НТУ, 2012, 635 с.

44. Ігнатюк В.В. Шляхи оптимізації програми дорожньо-ремонтних робіт [Текст] /О.П. Канін, В.В. Ігнатюк // Науково-технічний збірник: «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Вип 81. – К: НТУ, 2011. С.108-114.

45. Канін О.П., Соколова Н.М., Харченко А.М. Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством [Текст] / О.П.Канін, Н.М. Соколова, А.М. Харченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.84. – Київ, 2012. - С.133-139.

46. Канін О.П. Сутність та призначення інформаційно-аналітичних систем управління дорожнім господарством України [Текст] / О.П. Канін, А.М. Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 9. – К.: НТУ, 2012. – 71-78 с.

47. Керівництво з управління інноваційними проектами і програмами організацій [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://edu.minfin.gov.ua/P2M/Pages/Codex.aspx.

48. Кизима С.С. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів [Текст] / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 62. – Київ: НТУ, 2001.

49. Кизима С.С. Наукові принципи та практичні напрямки управління станом автомобільних доріг [Текст] / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України. – К.: НТУ, 2004.

50. Кизима С.С. Основи експлуатації автомобільних доріг [Текст] / С.С. Кизима. – К.: МОН України / НТУ, 2002. – 234 с.

51. Кизима С.С. Оптимізація планування робіт по ремонту нежорстких дорожніх одягів [Текст] / С.С. Кизима, С.І. Андреєв // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 41. – К.: Будівельник, 1987.

52. Колесникова Е.В. Развитие теории проектного управления: закон Ю.Л. Воробьева о влиянии риска на успешность портфеля проектов [Текст] / Е.В Колесникова // Управління розвитком складних систем № 18, 2014. – С. 62-66.

53. Колеснікова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обгрунтування закону ініціації проектів [Текст] / К.В. Колеснікова // Управління розвитком складних систем № 17, 2014. – С. 24-30.

54. Кононенко И. В. Многокритериальная оптимизация содержания проекта [Текст] / И.В. Кононенко, М.Э. Колесник, Е.В. Лобач // Вісник НТУ «ХПІ Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 3 (1046). – С. 26-36.

55. Кононенко, И. В. Методика управления содержанием целевых комплексных программ [Текст] / И. В. Кононенко, А. И. Роговой, Е. В. Емельянова // Управління проектами та розвиток виробництва. – 2004. - № 3 (11). - С. 84-88.

56. Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування. Проект. – Режим доступу:

57. Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування. Проект. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ukravtodor.gov.ua/gromadske-obgovorennya/%D1%81_kontseptsiya-reformuvannya-dorozhnogo-gospodarstva.html.

58. Кошкин К.В. Организация взаимодействия проектов виртуальных производств в судостроении [Текст] / К.В. Кошкин, В.С. Блинцов, А.Г Марченко // Зб. наук.пр. УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2000. – № 3(369). – С.148-152.

59. Креативные технологи управления проектами и программами [Текст] / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева[и др.]. –К.: Саммит книга, 2010.-768 с.

60. Мазур И.И. Управление проектами: [учебное пособие] [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге. – М.: Омега Л., 2004. – 405 с.

61. Мартин П., Тейт К. Управление проектами [Текст] / П. Мартин, К. Тейт. - Питер. Москва, Санкт Петербург, Нижний Новгород, Воронеж, Ростов на Дону, Екатеринбург, Самара, Новосибирск, Киев, Харьков, Минск, 2006. – 223 с.

62. Медведєва О.М. Бачення інноваційності як характеристики середовища проектів та програм розвитку [Текст] / О.М. Медведєва, М.І. Кірнос // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2014 - №4(52). - С. 52-69.

63. Международный Стандарт по Управлению Проектами [Електронний ресурс] / ISO 21500:2012. Режим доступу: http://litovka.su/proektnoe-upravlenie/perevod-chernovika-drafta-iso-21500. – Назва з екрану.

64. Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування. МР В.3.2-02070915-844:2014, – Київ: Державне агенство автомобільних доріг України (Укравтодор) [Текст], 2015. – 55 с.

65. Неізвесний С.І Розвиток методологій управління проектами із застосуванням механізму конвергенції: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.22 [Текст] / С.І. Неізвесний. – К., 2013. – 38 с.

66. Огляд методів розв'язання багатокритеріальних задач [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://ua.convdocs.org/download/docs-72078/72078.doc..

67. Павлюк Д.О. Основи і застосування теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів: дис. ... д- ра техн. наук: 05.22.11 [Текст] / Д.О. Павлюк. — К., 1996. — 480 с.

68. Перший міжнародний стандарт з проектного менеджменту. ISO 21500:2012. Переклад ISO 21500 на російську мову. [Електронний ресурс]. – 2012 – Режим доступу до стандарту: http://litovka.su/proektnoe-upravlenie/perevod-chernovika-drafta-iso-21500.

69. Проектный менеджмент. Требования к управлению программой: ГОСТ Р 54871—2011. - [Чинний від 2002-27-12] [Текст]. – М: Стандартинформ Москва,– М: 2011, 12 с. – (Национальный стандарт Российской Фидерации).

70. Радовский Б.С. Проблема повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США [Електронний ресурс] / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2006. - Режим доступу до статті: http://dorogi.kiev.ua/site/content/publication/way_jobs/way_jobs_it21/way_jobs_it21_7.

71. Рач В. А. Управління проектами: практичні аспекти реалізації стратегій регіонального розвитку: навч. посіб. [Текст] / В.А. Рач, О.В. Россошанська, О.М. Медведєва; за ред. В.А. Рача. – К.: «К.І.С.», 2010. – 276 с.

72. Рач В. А. Методологические проблемы научной специальности управления проектами и программами на современном этапе ее развития [Електронний ресурс] / В. А. Рач, В. Н. Бурков // Управління проектами та розвиток виробництва. - 2010. - № 3. - С. 50-54. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/**Uprv**_2010_3_10.pdf.

73. Рач В.А. Инновационная деятельность: системные аспекты [Текст] / В.А. Рач //Вісник Східноукраїнського державного університету. - 1997. - № 2. - С. 120 - 127.

74. Рач В.А. Методологический инструментарий научного исследования в управлении проектами [Текст] / В.А. Рач // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2012. – № 4(44). – С. 5-13.

75. Рач В.А. Принципы системного подхода в проектном менеджменте [Текст] / В.А. Рач // Упр. проектами та розв. в-ва: зб. наук. пр. / Сх.-укр. держ. у-т. – Луганськ, 2000. – №1 (1). – С. 7-9.

76. Рач В.А. Методи оцінки альтернативних проектів стратегій регіонального розвитку [Текст] / В.А. Рач // Матеріали конференції «Управління проектами: стан та перспективи». Миколаїв, 2009. — С. 4—6.

77. Руденко С. В. Формулировка научного положения Тернера о развитии проектов в форме закона [Текст] / С. В.Руденко [Текст] // Тези доп.VI міжнар.конф. ”Управління проектами у розвитку суспільства”: Відп.за випуск С. Д. Бушуєв. – К.: КНУБА, 2009. – С. 161 – 163.

78. Руденко С.В. Сетевые процессы управления проектами в контексте отображения состояний проекта [Текст] / С. В. Руденко, Е. В. Колесникова, В. И. Бондарь // Проблеми техніки. – 2012. – № 4. – С. 61 – 67.

79. Руководство к Своду знаний по управлению проектами. [Текст] /Третье издание. Руководство PMBOK. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004. – 388 с.

80. Руководство по управлению инновационными проектами и программами [Текст] / пер.на рус. язык под ред. С.Д. Бушуева. –т.1, версія 1.2. – К.: Наук. світ, 2009. –179 с.

81. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. –М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

82. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т.Саати. Пер. С англ. М: Радио и свіязь, 1993. – 278 с.

83. Сабадош Л.Ю. Метод формирования мультипроектных команд [Текст] / Л.Ю. Сабадош, Н.В. Доценко, И.В. Чумаченко // *Системи обробки інформації, 2013, випуск 2 (109). – С. 290-293.*

84. Семенкин Е.С. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем. Конспект лекций [Текст] / Е.С. Семенкин, М.Н. Жукова, В.Г. Жуков, И.А. Панфилов, В.В. Тынченко. Красноярск: 2007. - 310 с.

85. Сиденко В.М., Минович С.И. Эксплуатация автомобильных дорог [Текст] / В.М. Сиденко, С.И. Михович. – М.: Транспорт, 1977.

86. Сидорчук О.В. Особливості управління часом і змістом у проектах ремонту автомобільних доріг [Текст] / О.В. Сидорчук, Т.Д. Гуцол, О.В. Шелега // IX міжнародна конференція «Управління проектами у розвитку суспільства». М60 Тема: Управління програмами та проектами в умовах глобальної фінансової кризи. м. Київ, 11 – 12 травня. Тези доповідей, Київ 2012. – С. 202-203.

87. Сидорчук О.В. Системні засади профілювання місій державних цільових програм [Текст] / О.В. Сидорчук, Р.Г. Ратушний, Г.Д. Гуцул, О.О. Сидорчук, В.В. Босак // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА. – 2013. – Вип. 6. – С. 58-61.

88. Сидорчук О.В. Системні засади процесу управління програмами [Текст] / О.В. Сидорчук, М. А. Демидюк, В.І. Днесь, О.О. Сидорчук, В.В. Бондаренко, О.В. Шелега // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 1/10 (61), 2013. – С. 170-174.

89. Сильянов В.В. Э.Р. Домке. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ.высш.учеб. заведений [Текст] / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке.- 2-е изд., стер. – М: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.

90. Справочная энциклопедия дорожника. Ремонт и содержание автомобильных дорог Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. Том II. Москва 2004 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/539298/spravochnaya_entsiklopediya_dorozhnika_tom_II_remont_i_soderzhanie_avtomobi.pdf.

91. Столяров В.В. Планирование ремонта и реконструкции дорог в условиях ограниченных ресурсов [Текст] / В.В. Столяров, В.Б. Стародубцев // Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы транспортного строительства и транспорта». – Саратов, 1997. – С. 7 – 12.

92. Тесленко П.А. Трансформация модели качественных свойств процессов проектов в модель состояний системы / П.А., Тесленко, В.Д. Гогунский // Управление проектами и развитие производства . 2010. №1. - Режим доступу:: http://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-modeli-kachestvennyh-svoystv-protsessov-proektov-v-model-sostoyaniy-sistemy..

93. Тесля Ю. Н. Применение теории несилового взаимодействия в проактивном управлении качеством проекта [Текст] / Ю.Н. Тесля, В.В. Концевич // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА. – 2013. – Вип. 13. – С. 58-61.

94. Тесля Ю.М. Проектний погляд на питання покращення взаємодії бізнесу, науки та влади в умовах країни [Текст] / Ю.М. Тесля, А.О. Білощицький // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА,. – 2012. – Вип. 11. – С. 53 – 56.

95. Тесля Ю.Н. Несиловое взаимодействие [Текст] / Ю.Н. Тесля: Монография. – К: Кондор, 2005. -196 с.

96. Федорчак О. В. Інноваційні інструменти управління цільовими програмами та проектами [Електронний ресурс] / ЛРІДУ НАДУ, Львів, 2009. – 11 с. Режим доступу: http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2012-2/doc/1/10.pdf.

97. Філіппов В.В. Прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг за різних рівнів фінансування [Текст] / В.В. Філіппов, Є.Д. Прусенко, В.К. Жданюк, Н.В. Смірнова // Вестник Харьковского Национального Автомобильно-Дорожного Университета. Выпуск № 44 / 2009. – Харьков, 2009. С.

98. Філософський словник /За ред. В.І. Шинкарука. — 2. вид. І доп. — К.: Голов. ред. УРЕ, 1986. — 800 с.

99. Халай Т.О. Удосконалення управління проектами експлуатації автомобільних доріг: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 [Текст] / Т.О. Халай. — К.: НТУ, 2006. — 171 с.

100. Харченко А.М. Методичні підходи до розробки річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій [Текст] / А.М. Харченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип.74. – Київ, 2008. - с.

101. Харченко А.М. Удосконалення методів проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій: дис... канд. техн. наук: 05.13.22 [Текст] / А.М. Харченко. — К.: НТУ, 2010. — 183 с.

102. Цюцюра С. В. Дослідження кращої світової практики деяких високорозвинених країн в управлінні програмами на основі програмно-цільового методу [Електронний ресурс] / С. В. Цюцюра, М. І. Цюцюра, Д. А. Харитонов // Управління розвитком складних систем. - 2010. - Вип. 4. - С. 23-29. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Urss_2010_4_7.pdf.

103. Шпиг А.Ю. Методи планування ремонтів автомобільних доріг за критерієм рівня обслуговування: дис... канд. техн. наук: 05.22.11 [Текст] / А.Ю. Шпиг. — К.: НТУ, 2015. — 170 с.

104. A Framework for Perfomance Based Competency Standards for Program Managers [Електронний ресурс] / Global Alliance for Project Performance Standards, 2010. – 52 р. Режим доступу: http://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAAahUKEwiJkf-J3dnGAhUFOBQKHZZ8AB0&url=http%3A%2F%2Fglobalpmstandards.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F12%2FGAPPS_Project_Manager_v1.1150411_A4.pdf&ei=VIikVYmXMIXwUJb5gegB&usg=AFQjCNEMFl4qrLvEocA_CebB9Pj4i5OumQ&bvm=bv.97653015,d.bGQ

105. A Guide to the Project. Management Body of Knowledge *(PMBOK® Guide)* – Fifth Edition [Електронний ресурс] / Project Management Institute, Inc, 2013. – 616 p. - Режим доступу: http://dualibra.com/wp-content/uploads/2013/04/PMBOKGuideFifthEd.pdf (дата звернення: 22.09.13).

106. Abaza K. A. Dynamic Probabilistic Approach for Long-Term Pavement Restoration Program with Added User Cost [Текст] / K. A. Abaza, M.M. Murad // In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, № 1990,Washington, 2007. pp 48-56.

107. Akyildiz S. Development of new Network-level Optimization Model for Salem district pavement maintenance programming [Електронний ресурс] / Sercan Akyildiz, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2008. – 147 p. - Режим доступу: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08282008-121858/unrestricted/Sercan_Akyildiz_Thesis.pdf.

108. Christopher R. Bennett EASTE. HDM-4: Pavement Deterioration Modeling and Road User Effects. [Електронний ресурс] / Christopher R. International Jornal. 2007, pp. 1-49 - Режим доступу: http://happytreeflash.com/Modeling-Pavement-Response-and-Estimating-Pavement-Performance-ppt.html

109. Cindill M.A., Withnall S.I. Road transport investment model RTIM 3 In: TRB [Електронний ресурс] // Sixth International Conference of Low-Volume Roads, Conference Proceeding 6, Volume 1.- Washington: National Academy Press, 1995.P.187- 192. – Режим доступу: http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_615_PA1358_1995.pdf

110. Collop A.C., Cebon D. A model of whole life flexible pavement performance. [Електронний ресурс] / A.C. Collop, D. Cebon // Proceedings of the institution of mechanical engineers, part C: Journal of Mechanical engineering sciences. Vol. 209. no. 6. 1995. – Режим доступу: http://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCYQFjACahUKEwiL-

Ies8PDGAhUFMnIKHRDKCGA&url=http%3A%2F%2Froad-transport-technology.org%2FProceedings%2F4%2520-%2520ISHVWD%2FModelling%2520Whole-Life%2520Pavement%2520Performance%2520-%2520Collop%2520.pdf&ei=iquwVYuLHoXkyAOQlKOABg&usg=AFQjCNGrV-MqFN8jId0gNSWTRYULEH3dDw

111. D'Apuzzo M. Predicting roughness progression of asphalt pavements by empirical-mechanistic model. [Електронний ресурс] / M. D'Apuzzo, V. Nicolosi, M. Mattarocci // 2004. - Режим доступу: WWW.Siiv2004.uniti.it.

112. Dalkey N.C. The Delphi Method: ab experimental study of group opinion [Електронний ресурс] / Norman C. Dalkey, RAND, Santa Monica, 1969. – 87 p. – Режим доступу: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/RM5888/RM5888.pdf.

113. Deliver quality products, on time and within budget with PRINCE2. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.crazycolour.com/home/?title=Introducing_PRINCE2.

114. Dr. Nick Vitillo. Pavement Management System [Електронний ресурс]. - Режим доступу до статті:

115. Farhan Javed Integrated prioritization and optimization approach for pavement management [Електронний ресурс] / Javed Farhan // A thesis submitted for the degree of doctor of philosophi department of civil engineering National University of Singapore,2011.-215p. - Режимдоступу: https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAAahUKEwixscP949_GAhUKFiwKHbZwBGY&url=http%3A%2F%2Fwww.lpcb.org%2Findex.php%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc_view%2F956-2011-singapore-integrated-prioritization-and-optimization-approach-for-pavement-management%3FItemid%3D32&ei=4LSnVbHBB4qssAG24ZGwBg&usg=AFQjCNHZpDdgZtROl1Z2y753dE7_A13F_g&cad=rja.

116. Fwa T.F. Multi-year Pavement Management Programming for Road Network [Електронний ресурс] / T.F. Fwa, W.T. Chan, Edward NXON // Journal of the Eastem Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, No.1, October, 2001. - Pp.423-433 Режим доступу http://easts.info/on-line/journal/vol4no1/41032.pdf.

117. Fwa T.F. Network Level Programming for Pavement management using Genetic Algorithms [Електронний ресурс] / T.F. Fwa, W.T. Chan and K.Z. Hoque // 4th International Conference on Managing Pavements (1998). - 16 p. - Режим доступу http://www.pavementmanagement.org/ICMPfiles/1998043.PDF.

118. Gasik S. Comparison of ISO 21500 and PMBOK® Guide [Електронний ресурс] / Stanisław Gasik. – 11 p. - Режим доступу: http://www.sybena.pl/dokumenty/ISO-21500-and-PMBoK-Guide.pdf.

119. Ghosh A. Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization: A Survey [Електронний ресурс] / A. Ghosh, S. Dehuri // International Jornal of Computing & Information Sciences, Vol. 2, No. 1, April 2004. – pp. 38-57. Режим доступу: http://www.ijcis.info/international%20journal%20of%20computing%20and%20information%20sciences_files/vol2n1/38-57s.pdf.

120. Golabi K., Kulkarni R.R., Way G.B. A Statewide Pavement Management System. Interfaces. Vol. 12, No.6. 1982. pp. 5-21. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://citeseerx.ist.psu.edu/showciting?cid=8154186.

121. Herabat P. Multi-Objective Optimization Model using Constraint-Based Genetic Algorithms for Thailand Pavement Management [Електронний ресурс] / P. Herabat, A. Tangphaisankun // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 2005. - Pp. 1137 – 1152. Режим доступу: http://www.easts.info/on-line/journal_06/1137.pdf.

122. Hicks G. Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements [Електронний ресурс] / Dr. R. Gary Hicks, P.E. Stephen B. Seeds, P.E. and David G. Peshkin, P.E. for Foundation for Pavement Preservation, 1999. 41 p. – Режим доступу: http://www.michigan.gov/documents/Intrest_to_understand_60199_7.pdf.

123. Hoque K.Z. Multi-Objective Programming for Pavement Management using Genetic Algorithms [Електронний ресурс] / K.Z. Hoque, T.F. Fwa, W.T. Chan // Joumal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.3, No.3, September, 1999. – p. 117-132. Режим доступу: http://easts.info/on-line/journal/vol3no3/33010.pdf.

124. ICB - IPMA Competence Baseline, Version 3.0 [Електронний ресурс] / International Project Management Association. The Netherlands, 2006. – 212 p. - Режим доступу: http://capm.hr/wp-content/uploads/2013/03/ICB32.pdf.

125. Ignizio J. P. Goal Programming and Extensions Lexington, Massachusetts. 1976. [Електронний ресурс] / Режим доступу: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://airccj.org/CSCP/vol3/csit3205.pdf

126. Jaewook Yoo. Multi-period optimization of Pavement Management Systems [Електронний ресурс] / Jaewook Yoo - Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2004 – 104 p. Режим доступу: http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/343/etd-tamu-2004A-INEN-Yoo-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

127. Keralli, Henry G. R. HDM 4 Introduction and Applications**.** The World Road Association (PIARC). 2000. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.authorstream.com/Presentation/Carolina-59732-01-HDM-4-Introduction-Applications-March-06-Model-International-Collaboration-Version-1-0-3-Implement-introd-Education-ppt-powerpoint/

128. Linear Programming Model for Scheduling Road Maintenance [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mang.canterbury.ac.nz/courseinfo/msci/msci480/transfund00/Welcome.html.

129. Maintenance Standards for Road and Bridge Works [Електронний ресурс] / BRMM Part A: June 2010. – 257 p. – Режим доступу: http://www.vegvesen.no/_attachment/336309/binary/585455.

130. Meneses Susana Multi-Objective Decision-Aid Tool for Pavement Management Systems [Електронний ресурс] / Susana Menese, Adelino Ferreira // Institute Polytechnic of Coimbra, Portugal, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Portugal , 2008. – 21 p. – Режим доступу: http://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDcQFjAEahUKEwjS5-GWma3HAhVF_HIKHVKPCBk&url=http%3A%2F%2Fwww.wctrs.leeds.ac.uk%2Fwp%2Fwp-content%2Fuploads%2Fabstracts%2Flisbon%2Fgeneral%2F01010.pdf&ei=a0vQVZKGPMX4ywPSnqLIAQ&usg=AFQjCNF5lLG5qEZ_QrwZzYx1pldrxeGO7w&bvm=bv.99804247,d.bGQ.

131. Parkman C.C. Developing Appropriate Management and Procurement Approaches for Road Maintenance [Електронний ресурс] / C. C. Parkman, K. B. Madelin, R. Robinson and T. Toole // Africa conference, 2001. – Pp. 424 – 440. Режим доступу: http://ntl.bts.gov/lib/12000/12100/12140/pdf/Parkman.pdf.

132. Pavement Condition Index (PCI) Method. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.belmont.gov/SubContent.asp?CatId=240000622

133. Pavement Deterioration Modeling. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-001190.pdf

134. Reddy B., Veeraragavan. Priority rang model for Managing flexible Pavements at Network Level [Електронний ресурс] / Tehnical Pavement Published in 62-nd annual session of Indian Roads Congress (IRC), Kochi,India, Jenuary 8-11. 2002. – Режим доступу: http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CEEQFjABahUKEwiZ_uC90qnIAhWBLCwKHS_MBRI&url=http%3A%2F%2Fwww.irc.org.in%2FENU%2Fknowledge%2Farchive%2FTechnical%2520Papers%2520for%2520Irc%2520Journals%2FDevelopment%2520of%2520Flexible%2520Pavement%2520Preservation%2520Framework%2520For%2520An%2520Integrated%2520Asset%2520Management.pdf&usg=AFQjCNHFInciY7QvYC5oqzWFqn1j4H8_Pg&cad=rjt

135. Road Maintenance Management. Concepts and Systems [Текст] / Richard Robinson, Uno Danielson, Martin Snaith. – London: Macmillan press Ltd, 1998. - 286 pp.

136. Roper R.L. Using Genetic Algorithms to Select Optimum Pavement Treatment Intervention Strategies [Електронний ресурс] / 6th International Conference on Managing Pavements, 2004. - 13 p. Режим доступу: http://pavementmanagement.org/ICMPfiles/2004124.pdf.

137. The Standard for Program Management. [Електронний ресурс] // Published by: Project Management Institute, 2006. – 123 p. Режим доступу: http://searches.globososo.com/search/web?fcoid=417&fcop=topnav&fpid=2&q=The+Standard+for+Program+Management.

138. Young-Hoon Kwak. A brief history of Project Management // The story of managing projects by Carayannis, Kwak, and Anbari (editors) Quorum Books, 2003. - pp. 10. - Режим доступу:

http://scholar.google.com/citations?user=7Dy1PBkAAAAJ&hl=ru.

139. Zadeh L.A. Optimality and non-scalar-valued performance criteria. IEEE Trans Automat Contr AC-8:59–60, 1963. [Електронний ресурс]. - Режим доступу:http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1105511&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1105511.

140. Zadeh L.A. The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning – 1. [Текст] / В кн. Fuzzy Sets and Application. Selected Papers by L.A. Zadeh. Edited by R.R. Yager, S. Ovchinnikov, R.M. Tong, H.T. Nguyen. – A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, New York, 1987. - pp.219 – 269.

141. Zhen L. A probabilistic and adoptive approach to modelling performance of pavement infrastructure. Dissertation Doctor of Philoso the University of Texas at Austin. 2005. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: chromeextension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.lib.utexas.edu/etd/d/2005/liz94338/liz94338.pdf

142. Zheng Wu. Hybrid Multi-Objective Optimization Models for Managing Pavement Assets. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Civil and Environmental Engineering, Blacksburg, Virginia, 2008. – 203 p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.google.com.ua/webhp?ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=hqinVfmgOYvhywOhrJ7YDQ#q=Zheng+Wu.+Hybrid+Multi-Objective+Optimization+Models+for+Managing+Pavement+Assets.

ДОДАТОК А

Скрипт запитів для витягу вихідних даних з бази даних СУСП

```
USE [SUSP]
GO
/**** Object:  View [dbo].[View_GA_Input_Data]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[View_GA_Input_Data]
AS
SELECT TOP (100) PERCENT RoadNumber AS Дорога, StartDistance AS Початок,
EndDistance AS Кінець,
            (SELECT Hp
             FROM   dbo.Remont
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Нзв_шарів,
            (SELECT ROUND(Alpha, 3) AS Expr1
             FROM   dbo.Remont AS Remont_13
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Альфа,
            (SELECT Roughness
             FROM   dbo.Remont AS Remont_12
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Рівн1,
            (SELECT Roughness
             FROM   dbo.Remont AS Remont_11
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 2) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Рівн2,
            (SELECT Skid_resis
             FROM   dbo.Remont AS Remont_10
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Кзче1,
            (SELECT Skid_resis
             FROM   dbo.Remont AS Remont_9
             WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 2) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Кзче2,
            (SELECT RoughnessDop
             FROM   dbo.Remont AS Remont_8
```

```
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Рівдоп,
               (SELECT Fidop
                FROM   dbo.Remont AS Remont_7
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Зчепдоп,
               (SELECT EdCostSR
                FROM   dbo.Remont AS Remont_6
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS ОдвартРівн,
               (SELECT EdCostSRskid
                FROM   dbo.Remont AS Remont_5
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS ОдвартЗчеп, EdCostTR AS
ОдвартДРУ, Tk AS Ткр, ROUND(Kfact, 3) AS Кзм_Факт, Kdop AS Кзм_Доп, E AS Еф,
            Ep AS Ep, Kz AS Кзм, H AS Нпосил, Intens AS Інтенсив, Q AS Qінт, Ipriv AS Nприв,
Category AS Катег, Zone AS ДКЗ, Width_glob AS B_пр_част,
            Width_line AS B_смуги, ROUND(Eps_Pi, 2) AS Кек, Lines AS Смуг_руху, YearNo,
               (SELECT Damp
                FROM   dbo.Remont AS Remont_5
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Damp,
               (SELECT Tau
                FROM   dbo.Remont AS Remont_5
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Tau,
               (SELECT Kneod
                FROM   dbo.Remont AS Remont_5
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) AS Kneod, EdCostKR AS ОдвартКР
FROM  dbo.Remont AS R
WHERE (RoadNumber = 'M - 12') AND (YearNo = YearNo) AND (Direction = 0) AND
(EndDistance - StartDistance >= 1000) AND (E IS NOT NULL) AND (NOT
               ((SELECT Roughness
                 FROM   dbo.Remont AS Remont_4
                 WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                         (EndDistance = R.EndDistance)) IS NULL)) AND
               ((SELECT Roughness
                 FROM   dbo.Remont AS Remont_3
                 WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 2) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                         (EndDistance = R.EndDistance)) IS NOT NULL) AND
               ((SELECT Roughness
                 FROM   dbo.Remont AS Remont_2
```

```
                WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance)) IS NOT NULL) AND EXISTS
              (SELECT Hp
               FROM   dbo.Remont AS Remont_1
               WHERE (RoadNumber = R.RoadNumber) AND (YearNo = R.YearNo) AND
(Direction = 1) AND (StartDistance = R.StartDistance) AND
                        (EndDistance = R.EndDistance))
ORDER BY Дорога, Початок, Кінець, Direction
GO

/****** Object:  View [dbo].[View_GA_Remont]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[View_GA_Remont]
AS
SELECT TOP (100) PERCENT RoadNumber, YearNo, StartDistance, EndDistance, Direction,
YearRemont, Tk, Kfact, Kdop, Hp, Alpha, Roughness, Skid_resis, E, Ep, Kz, H,
          Tpersp, RoughnessDop, Fidop, EdCostKR, EdCostSR, EdCostSRskid, EdCostTR, Intens,
Q, Ipriv, Iprivpersp, Category, Pokr, Zone, Width_glob, Width_line, Eps_Pi,
          Lines
FROM  dbo.Remont AS R
WHERE (RoadNumber = 'M - 12') AND (YearNo >= 2008) AND (Direction = 1 OR
          Direction = 2)
ORDER BY RoadNumber, StartDistance, EndDistance, Direction

GO

/****** Object:  View [dbo].[View_Remont]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[View_Remont]
AS
SELECT YearRemont AS Expr4, ROUND(Kfact, 2) AS Kzf, dbo.Remont.*
FROM  dbo.Remont
WHERE (YearRemont IS NOT NULL) AND (Kfact < 0.95) AND (ROUND(Kfact, 2) < 0.95)

GO

/****** Object:  View [dbo].[v_GA_Cost]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[v_GA_Cost]
AS
SELECT TOP (100) PERCENT dbo.Remont.RoadNumber, dbo.Remont.YearNo,
dbo.Remont.StartDistance, dbo.Remont.EndDistance, dbo.Remont.YearRemont,
```

```
	dbo.Remont.CostKR, dbo.v_GA_CostSRO.cost AS costsro, dbo.v_GA_Sfi.cost AS
costsfi, dbo.Remont.Kfact, dbo.Remont.Kdop, dbo.Remont.Intens, dbo.Remont.Q,
	dbo.Remont.Ipriv, dbo.Remont.Iprivpersp, dbo.Remont.Category,
dbo.Remont.Width_glob, dbo.Remont.Width_line
FROM  dbo.Remont INNER JOIN
	dbo.v_GA_CostSRO ON dbo.Remont.RoadNumber = dbo.v_GA_CostSRO.RoadNumber
AND dbo.Remont.StartDistance = dbo.v_GA_CostSRO.StartDistance AND
	dbo.Remont.YearNo = dbo.v_GA_CostSRO.YearNo AND dbo.Remont.EndDistance =
dbo.v_GA_CostSRO.EndDistance INNER JOIN
	dbo.v_GA_Sfi ON dbo.Remont.RoadNumber = dbo.v_GA_Sfi.RoadNumber AND
dbo.Remont.YearNo = dbo.v_GA_Sfi.YearNo AND
	dbo.Remont.StartDistance = dbo.v_GA_Sfi.StartDistance AND dbo.Remont.EndDistance
= dbo.v_GA_Sfi.EndDistance
WHERE (dbo.Remont.YearRemont IS NOT NULL) AND (dbo.Remont.RoadNumber = 'M - 01')
OR
	(dbo.v_GA_CostSRO.YearSro IS NOT NULL) AND (dbo.v_GA_CostSRO.YearSro <>
dbo.Remont.YearRemont) OR
	(dbo.v_GA_Sfi.YearSfi IS NOT NULL) AND (dbo.v_GA_Sfi.YearSfi <>
dbo.Remont.YearRemont) AND (dbo.v_GA_Sfi.YearSfi <> dbo.v_GA_CostSRO.YearSro)
ORDER BY dbo.Remont.RoadNumber, dbo.Remont.YearNo, dbo.Remont.StartDistance,
dbo.Remont.EndDistance, dbo.Remont.YearRemont
GO
/****** Object:  View [dbo].[v_GA_Sfi]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[v_GA_Sfi]
AS
SELECT TOP (100) PERCENT RoadNumber, YearNo, StartDistance, EndDistance, YearSfi,
SUM(ISNULL(CostSRskid, 0)) AS cost
FROM  dbo.Remont
WHERE (Direction > 0) AND (YearSfi IS NOT NULL) AND (YearSfi <> YearSro)
GROUP BY RoadNumber, YearNo, StartDistance, EndDistance, YearSfi
ORDER BY RoadNumber, YearSfi, StartDistance, EndDistance
GO

/****** Object:  View [dbo].[v_GA_CostSRO]    Script Date: 03/16/2014 08:38:41 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE VIEW [dbo].[v_GA_CostSRO]
AS
SELECT TOP (100) PERCENT RoadNumber, YearNo, StartDistance, EndDistance, YearSro,
SUM(ISNULL(CostSR, 0)) AS cost
FROM  dbo.Remont
WHERE (Direction > 0)
GROUP BY RoadNumber, YearNo, StartDistance, EndDistance, YearSro
ORDER BY RoadNumber, YearSro, StartDistance, EndDistance
GO
```

ДОДАТОК Б

Свідоцтво про реєстрацію авторського права

УКРАЇНА

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 55236

Комп'ютерна програма "Управління програмами ремонтів автомобільних доріг"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Канін Олександр Петрович, Ігнатюк Вікторія Василівна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Канін Олександр Петрович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Ігнатюк Вікторія Василівна, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

12.06.2014

Дата реєстрації

Державна служба інтелектуальної власності України Ідентифікаційний код 37552556

Голова Державної служби інтелектуальної власності України М.В. Ковіня

ДОДАТОК В

Довідки про впровадження

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО –
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
З ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРДІПРОДОР

03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 249-84-83
e-mail: okt@diprodor.com

«13» 05 2014 р. № 761-11

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи Ігнатюк В.В.
«Управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг»

Дисертація присвячена актуальній проблемі ліквідації недоремонтів автомобільних доріг, що накопичились в умовах недостатнього фінансування. Задачу приведення сучасного стану дорожнього одягу до нормативних вимог запропоновано вирішувати шляхом оптимізації планування дорожньо-ремонтних робіт за допомогою розроблених алгоритмів та комп'ютерного аналізу.

За допомогою розроблених в дисертації Ігнатюк В.В. моделі та комп'ютерної програми з'явиться можливість визначити мінімальний рівень витрат для збереження існуючої мережі стану автомобільних доріг. Оптимальний час виконання ремонтних робіт дозволить скоротити сумарні дорожньо-транспортні витрати на ремонти та утримання автомобільних доріг в середньому на 79,5 тис. грн на один км за рік.

Розроблені модель та комп'ютерна програма є новими модулями та в подальшому будуть використані як удосконалення програмного комплексу Системи управління станом покриття Укравтодору.

Довідку складено для подання в спеціалізовану вчену раду по захисту дисертацій.

Заступник директора-начальник
інформаційно-аналітичного відділу Л.Л.Рибіцький

«Укрдіпродор»

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
Державне підприємство
«Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
ДП «ДерждорНДІ»

03113, м. Київ,
проспект Перемоги, 57
код ЄДРПОУ 03450778

тел/факс 456-34-15
e-mail: dornii@ukrpost.com.ua
www.dornii.org.ua

13.05.2014 № 20.25-20/1-528

на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи Ігнатюк В.В.

Дисертаційна робота Ігнатюк В.В. присвячена розробці моделей, алгоритмів та комп'ютерного аналізу формування програми дорожньо-ремонтних заходів та управління нею з обґрунтуванням потреби фінансових ресурсів, необхідних для приведення стану дорожнього одягу до нормативного (або заданого) рівня за визначену кількість років.

Застосування запропонованої Ігнатюк В.В. моделі, дозволило скоротити сумарні дорожньо-транспортні витрати на капітальний, поточний середній та поточний дрібний ремонти, експлуатаційне утримання дорожнього одягу в середньому на 79,5 тис. грн /км за рік.

Розроблені модель та комп'ютерна програма є новими модулями і використовуються в Системі управління станом покриття Укравтодору.

Згадані вище розробки мають наукову та практичну цінність та використовуються для планування розрахунку раціонального рівня витрат на виконання ремонтів за період здійснення програми, який дозволяє досягти бажаного експлуатаційного стану дорожнього одягу.

Довідку складено для подання в спеціалізовану вчену раду по захисту дисертацій.

Заступник директора
з наукової роботи А.О. Безуглий

006526

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
«05» 08 2013
№ 13-1-84
03680, МСП м. Київ, вул. Фізкультури, 9

ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок здобувача
Національного транспортного університету
Ігнатюк Вікторії Василівни

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи здобувача кафедри управління виробництвом і майном Національного транспортного університету Ігнатюк В.В. були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідної роботи за темою «Розробити інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством» (договір від 21 квітня 2011 року № 74-11, номер державної реєстрації 0111U006056), яка передбачала розроблення програмних засобів планування капітальних і поточних середніх ремонтів та експлуатаційного утримання дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування.

Найважливішим результатом дисертаційної роботи є розроблені оптимізаційна математична модель і генетичний алгоритм оптимізації рішень в управлінні програмою ремонтів дорожніх одягів в процесі відновлення стану некорсткого дорожнього одягу до нормативного рівня за задану кількість років, які можуть бути використані у фазах ініціювання, планування і коригування державних, регіональних і галузевих програм відновлення стану дорожнього одягу.

Створена для практичної реалізації моделі і алгоритму управління програмою ремонтів дорожнього одягу комп'ютерна програма та методика її застосування дають можливість зручного і швидкого вибору оптимальних річних програм ремонтів, що складають довгострокову програму, та обґрунтування об'ємів щорічного фінансування для відновлення стану дорожнього одягу. Розроблена методика дозволяє за рахунок вибору кращого рішення відносно років і параметрів ремонтів досягти зниження транспортних витрат до 4-6 % порівняно з рішенням за принципом «найгірші – перші».

Розроблена здобувачем комп'ютерна програма є новим модулем програмного забезпечення Системи управління станом покриття та Інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством Укравтодору.

Заступник начальник Управління
експлуатаційного утримання
доріг та безпеки руху –
начальник відділу експлуатаційного
утримання доріг Укравтодору — Олександр Сухоносов

Начальник Відділу інноваційного
розвитку та конторисного
ціноутворення Укравтодору — Анатолій Цюка