

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

БОДНАР ЛАРИСА ПЕТРІВНА

УДК 624.21

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТІВ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Канін Олександр Петрович,
Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Батракова Анжеліка Геннадіївна
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, м. Харків

кандидат технічних наук, доцент
Ковальчук Віталій Володимирович,
доцент кафедри «Рухомий склад і колія» Львівської філії Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Захист відбудеться „01” листопада 2019 року о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, Україна, м. Київ, вул., М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий „_____” _____ 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Ефективність використання мережі автомобільних доріг суттєво залежить від забезпечення довговічності та експлуатаційної надійності автодорожніх мостів.

Проте, 63,5 % мостів на дорогах загального користування України не відповідають вимогам діючих норм за габаритами та/або вантажопідйомністю. Крім того, в останні роки відбувається погіршення експлуатаційних станів мостів, обумовлене недостатнім рівнем фінансування їх утримання і ремонтів. Кількість мостів, які знаходяться в обмежено працездатному та непрацездатному експлуатаційних станах і потребують капітального ремонту або реконструкції, становить близько 30 % від кількості обстежених мостів. Вже сталися випадки аварійних обвалень мостів, що є прямою техногенною загрозою для економіки країни. Отже, проблема своєчасного ремонту мостів, підвищення їх надійності, збільшення строку служби набуває особливої актуальності та соціальної значимості.

В Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ) Укравтодору накопичена велика кількість даних обстежень і результатів оцінювання технічного стану мостів на дорогах загального користування. Вони можуть сприяти вирішенню важливого науково-практичного завдання – удосконалення проектування ремонтів мостів з урахуванням прогнозованої тривалості залишкового життєвого циклу шляхом вибору найбільш ефективної послідовності і видів ремонтів мостів – розробки ефективної стратегії ремонтів на мережі автомобільних доріг.

Існує нагальна потреба в об'єднанні наукового базису результатів досліджень процесу деградації елементів конструкцій мостів з дослідженнями процесу відновлення їх технічного стану, що сприятиме збільшенню строку служби і підвищенню безпеки експлуатації мостів на основі реалізації концепції проектування ремонтів з ефективним використанням коштів на забезпечення їх життєвого циклу у експлуатаційній стадії.

Очевидно, що дослідження, які спрямовані на обґрунтування ефективної стратегії відновлення технічного стану автодорожніх мостів при проектуванні їх ремонтів є актуальними і відповідають інтересам суспільства і державній політиці у сфері техногенної і економічної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає актуальним напрямам науково-технічної політики України щодо управління експлуатаційною надійністю і довговічністю споруд і конструкцій: Постанові Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 № 409 «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж», Розпорядженню Кабінету Міністрів України від 11 червня 2003 №351-р «Про схвалення Концепції державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки». Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382).

Основні теоретичні і прикладні дослідження дисертації були виконані в рамках науково-дослідних робіт ДП «ДерждорНДІ» за планами науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», а саме: «Розробити модуль аналізу залишкового ресурсу визначальних елементів мостів з оцінкою доцільності виконання ремонтів чи нового будівництва» (номер державної реєстрації 0111U007312); «Провести дослідження та розробити модуль управління ремонтами та експлуатаційним утриманням мостів» (номер державної реєстрації 0112U004904); «Провести модернізацію паспорта моста в АЕСУМ та розробити модуль для аналізу і визначення поточного та перспективного експлуатаційного стану мостів із врахуванням рівня фінансування» (номер державної реєстрації 0114U006224); «Провести дослідження впливу ремонтів мостів на процеси деградації їх конструктивних елементів, розробити модуль АЕСУМ оцінки проведення відновлювально-ремонтних робіт та модернізувати в цілому систему управління програмним комплексом» (номер державної реєстрації 0116U007456); «Виконати аналіз та розробити модуль АЕСУМ з визначення приведеної вартості робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання мостів» (номер державної реєстрації 0118U000774); «Виконати аналіз та розробити пропозиції щодо удосконалення моделей оцінювання і прогнозування ресурсу мостів, що знаходяться в експлуатації» (номер державної реєстрації 0118U000775).

Особистий внесок автора полягає в розробленні теоретичних та методичних підходів щодо удосконалення проектування ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів та розробки програмних засобів їх реалізації у складі АЕСУМ.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення проектування ремонтів при експлуатації мостів узгодженням процесів їх деградації та відновлення, що забезпечує підвищення надійності, збільшення тривалості та зменшення вартості життєвого циклу мостів. Для досягнення мети роботи були поставлені такі **завдання**:

- виконати аналіз існуючих наукових підходів щодо моделей оцінювання та прогнозування технічного стану мостів і способів формування стратегії їх ремонтів;
- встановити кількісний критерій доцільності реконструкції або капітального ремонту моста, що перебуває у непрацездатному стані, замість його заміни новим;
- розробити модель пріоритезації мостів на мережі автомобільних доріг;
- розробити базові принципи, математичні моделі і механізм обґрунтування стратегії ремонтів мостів на мережевому й об'єктному рівнях;
- розробити підсистему обґрунтування стратегії ремонтів мостів в рамках програмного комплексу АЕСУМ та методику її використання.

Об'єктом дослідження є процес відновлення технічного стану мостів на автомобільних дорогах.

Предметом дослідження є моделі і механізм обґрунтування параметрів процесу відновлення стану мостів при проектуванні їх ремонтів за критеріями надійності, вартості і тривалості життєвого циклу під час експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні важливого науково-практичного завдання розвитку теоретичних і практичних аспектів удосконалення проектування ремонтів автодорожніх мостів на мережевому та

об'єктному рівнях з урахуванням впливу ремонтів на підвищення їх надійності і подовження тривалості життєвого циклу у фазі експлуатації. Найбільш вагомими результатами полягають в наступному:

Вперше:

- на підґрунті вітчизняної нормативної моделі деградації елементів мостів розроблені моделі і механізм обґрунтування параметрів відновлення їх стану на мережі автомобільних доріг, що дозволяють, порівняно з існуючими підходами, підвищити надійність, збільшити тривалість та зменшити вартість життєвого циклу мостів;

- для мостів, що перебувають у непрацездатному експлуатаційному стані, встановлено кількісний критерій, який дозволяє, на відміну від трудомісткого і витратного техніко-економічного обґрунтування, швидко оцінити доцільність капітального ремонту або реконструкції моста замість його заміни новим.

Удосконалено модель пріоритезації мостів на мережі автомобільних доріг, яка, порівняно з існуючими підходами, дозволяє врахувати поточну і перспективну значимість мостів у процесі прогнозування їх ремонтів.

Дістав подальший розвиток програмний комплекс АЕСУМ, який, на відміну від попередньої версії, на основі розробки і впроваджених підсистем обґрунтування ефективної стратегії ремонтів мостів та більш точної оцінки їх вартості розширює практичні можливості АЕСУМ для удосконалення проектування ремонтів мостів.

Методи дослідження: системний аналіз – для встановлення зв'язків між складовими досліджуваного процесу при розробці вихідних фундаментальних принципів, як структурної основи для обґрунтування стратегій ремонтів мостів; теорія надійності споруд – для оцінювання процесу деградації елементів мостів; методи математичного моделювання – для розробки математичних моделей обґрунтування стратегії ремонтів мостів; еволюційне моделювання – для розробки механізму обґрунтування стратегії ремонтів мостів на основі розроблених математичних моделей; комп'ютерний експеримент – для оцінки ефективності запропонованого механізму і математичних моделей.

Достовірність результатів дослідження підтверджується: чіткою постановкою завдань в рамках теорії експлуатації транспортних споруд; застосуванням усталених методів теорії ймовірностей і математичної статистики; комп'ютерне тестуванням моделей і механізму обґрунтування стратегії відновлення технічного стану на основі історичних даних експлуатації автодорожніх мостів України; збіжністю з результатами досліджень інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що теоретичні положення дисертаційної роботи доведені до рівня програмних засобів у складі програмного комплексу АЕСУМ та методики обґрунтування стратегії ремонтів мостів на мережі доріг, достовірність яких обґрунтована застосуванням матеріалів обстежень, накопичених в базі даних АЕСУМ, та застосуванням нормативної моделі деградації елементів мостів. Результати досліджень і практичні рекомендації можуть бути використані дорожньо-експлуатаційними організаціями України для прогнозування ремонтів мостів, проектними організаціями при проектуванні нових мостів, реконструкції та ремонтів існуючих мостів. Розроблена методика обґрунтування стратегії ремонтів мостів пропонується як інформативний додаток до

існуючого нормативного документа: ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів».

Впровадження результатів роботи. Результати виконаних у дисертаційній роботі досліджень були впроваджені:

– в Аналітичній експертній системі управління мостами Державного агентства автомобільних доріг України (Довідка № 13-8-64 від 30.08.2016 р.);

– в Аналітичних експертних системах управління мостами Служб автомобільних доріг Вінницької, Хмельницької і Черкаської областей (акти про впровадження).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною, завершеною науковою працею, у якій викладено авторський підхід до вирішення поставленого наукового завдання, що має значення для розвитку теоретичних і практичних аспектів обґрунтування параметрів процесу відновлення технічного стану мостів як на мережі автомобільних доріг, так і на рівні однієї споруди. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно [1, 2, 4, 9, 11, 14, 15, 19, 21]. У спільних публікаціях автором: проведено аналіз зарубіжних систем управління мостами, структури і стану АЕСУМ [10], розроблені алгоритми і комп'ютерні програми обґрунтування стратегії ремонтів мостів [3, 16], виконаний аналіз розподілу деформаційних швів мостів на дорогах загального користування на основі бази даних АЕСУМ [17], встановлена кількість мостів, що підлягають динамічному випробуванню на основі аналізу даних АЕСУМ [5], проаналізовано стан обстежень автодорожніх мостів на дорогах загального користування України, запропоновані критерії формування планів обстежень мостів в умовах недостатнього фінансування [6, 7], дана характеристика АЕСУМ як інструмента управління мостами [13, 18], розроблена комп'ютерна програма «Оптимізація стратегії експлуатації мостів» [22], отримана залежність критерію доцільності заміни моста новим [23].

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи викладені та опубліковані в матеріалах науково-технічних конференцій: Міжнародна науково-технічна конференція «Збірно-монолітні і збірні попередньо напружені залізобетонні конструкції та мости»: (12-14 травня 2010 р., Львів); Міжнародна науково-практична конференція «Мости та тунелі: Теорія. Дослідження. Практика» (27-28 травня 2010 р., Дніпропетровськ); Международная научно-практическая конференция с участием студентов и молодых ученых «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов»: (1-4 ноября 2012 г., Харьков); 15-я конференция молодых ученых Литвы «Наука – будущее Литвы. Транспорт» (8 мая 2013 р., Литва); LXXII Наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету (м. Київ, травень 2016 р.); Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги: безопасность и надежность» (г. Минск, 24-25 ноября 2016 г.); Науково-практичний семінар «Сучасні інформаційні технології в дорожньому господарстві» (м. Київ, 13 грудня 2017 р.); Transport Research Arena (м. Відень, Австрія, 17-20 квітня 2018 р.); Міжнародна науково-практична конференція

«Актуальні проблеми ремонтів та утримання мостів» (м. Ужгород, 20-21 червня 2018 р.).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 182 найменувань, 4 додатків. Загальний обсяг роботи становить 212 сторінок у тому числі 169 сторінок основного тексту, список використаних джерел на 21 сторінках та 22 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, окреслено об'єкт і предмет дослідження, подано опис основних наукових результатів, відображено наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості про впровадження і апробацію результатів дослідження.

У першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано формування стратегії ремонтів мостів на автомобільних дорогах як складової частини загальної фундаментальної задачі системи експлуатації – забезпечення функціонування споруди протягом проектного строку служби з заданими показниками надійності.

Цю загальну проблему досліджували зокрема:

- *теоретичні засади моделювання надійності і довговічності конструкцій:* Барашиков А.Я., Бліхарський З.Я., Гамеляк І.П., Дмитрієв М.М., Иосилевский Л.И., Карп'юк В.М., Клименко Є.В., Лантух-Лященко А.І., Мозговий В.В., Богданов Дж., Козин Ф., Пічугін С.Ф., Ржаницын А.Р., Семко О.В., Шмуклер В.С., Collines L., Estes A.C., Frangopol D.M., Holicky M., Marková J., Sykora M., Thoft-Christensen P. та інші;

- *оптимізація стратегій ремонтів мостів:* Дехтяр А.С., Base G.D., Chen C-J., Jonston D., Das P.S., Estes A.C., Frangopol D.M., Itoh Y., Liu C., Lounis Z., Sinha K., Sørensen J.D., Thoft-Christensen P. та інші;

- *розробка моделей автоматизованої оцінки і прогнозування технічного стану мостів:* Канін О.П., Лантух-Лященко А.І., Cheung S., Hawk H., Hearn G., Madanat S.M., Smilowitz G., Soderkvist M.-K., Thompson P. та інші.

Встановлено, що обґрунтування стратегії ремонтів мостів є складним завданням, обтяженим низкою ще не вирішених наукових задач, а саме: недостатністю кількісних залежностей між обсягами і структурою робіт з ремонту мостів і їх прогнозованим технічним станом; кількісної оцінки впливу ремонтів на зменшення рівня деградації мостів; складністю визначення надійності і довговічності моста в цілому.

З'ясовано, що центральне завдання дослідження – удосконалення проектування відновлення стану мостів при експлуатації теоретично тісно зв'язане з прийнятою в системі експлуатації моделлю деградації. Аналіз існуючих моделей обґрунтування стратегії ремонтів мостів дозволив визначити основний напрям їх удосконалення – розробку механізму обґрунтування стратегії ремонтів, який базується на вітчизняній нормативній моделі деградації мостів та базі даних, накопичених в АЕСУМ.

У другому розділі виконаний аналіз основних теоретичних і методичних положень та аналітичних залежностей з прогнозування деградації і залишкового ресурсу елементів мостів.

Теоретичним підґрунтям моделі деградації в дисертації є марковська феноменологічна модель накопичення пошкоджень. У цій моделі знос елементу споруди описується марковським дискретним процесом з неперервним часом. Елемент знаходиться послідовно в станах S_1, \dots, S_5 , а переходи з одного експлуатаційного стану в інший здійснюються в моменти часу t_2, \dots, t_5 . Це марковський ланцюг з потоком послідовних подій з однаково розподіленими проміжками часу. Процес деградації елемента описується функцією надійності, яка встановлює зв'язок між надійністю та часом експлуатації елемента. Постулюється, що швидкість деградації описується одним параметром – показником інтенсивності відмов λ . Для п'яти станів:

$$P_t = 1 - 0,008333 (1 - t)^5 e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Показник інтенсивності відмов λ визначається розв'язком рівняння (1) за відомими початковими умовами, а саме: надійністю P_t і часом t , що пройшов від початку експлуатації елемента до моменту обстеження.

Внесена пропозиція визначення доцільності виконання капітального ремонту або реконструкції замість заміни моста новим, коли міст знаходиться у п'ятому (непрацездатному) експлуатаційному стані. Аналіз даних обстежень технічного стану мостів, накопичених в базі даних АЕСУМ, показав, що форма кривої залишкового ресурсу елемента споруди повторює форму кривої інтенсивності відмов, так як залишковий ресурс елемента моста є функцією інтенсивності відмов λ . Другим параметром з бази даних прийнята експертна оцінка експлуатаційного стану споруди (рейтинг) E за формулою (7.1) у ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. Експлуатаційний стан групи елементів (прогонових будов, опор, фундаментів тощо) за ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 приймається за станом найбільш слабкого елемента в групі. Формалізованим критерієм доцільності подальшої експлуатації моста, що знаходиться у непрацездатному експлуатаційному стані, може бути K_E – безрозмірна величина, яка є індикатором рівня пошкодження елементів моста та слугує показником доцільності виконання ремонту або заміни споруди:

$$K_E = E \times (\lambda \times 100)^{-1}. \quad (2)$$

На основі даних обстежень споруд, що виконані в різні роки і зберігаються в базі даних АЕСУМ були розраховані значення критерію доцільності та залишкового ресурсу для мостів, які знаходяться в п'ятому експлуатаційному стані. Вихідними даними розрахунку прийняті: рік будівництва (реконструкції або останнього капітального ремонту), рік обстеження, рейтинг моста. Мости за своїми значеннями критерію доцільності K_E поділяються на три групи (табл. 1, рис. 1):

А – приймається рішення про припинення експлуатації моста та припиняється його утримання;

Б – рішення про припинення/продовження експлуатації моста приймається шляхом техніко-економічного обґрунтування;

В – приймається рішення про продовження експлуатації моста. Призначається капітальний ремонт або реконструкція.

Таблиця 1 – Поділ мостів на групи за значенням коефіцієнта доцільності K_E

Група А	Група Б	Група В
$K_E < 3$	$3 \leq K_E < 6$	$K_E \geq 6$

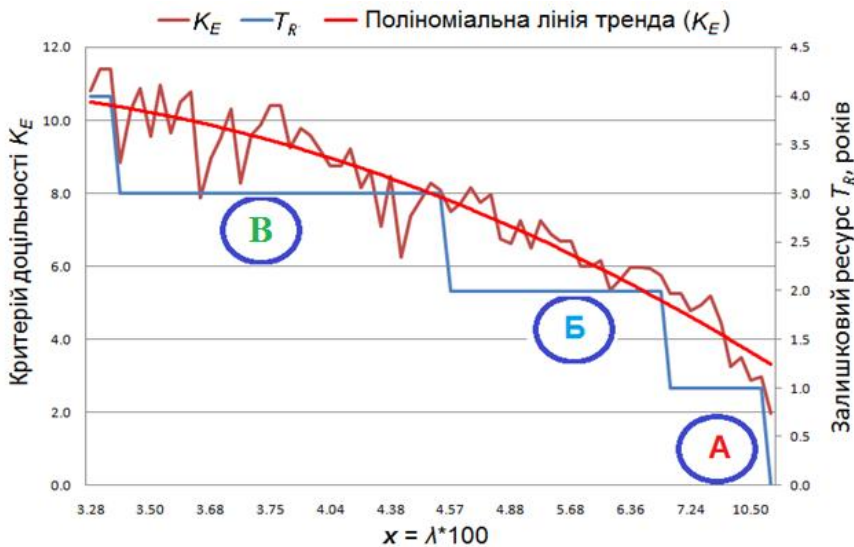


Рисунок 1 – Графіки для визначення критерію доцільності K_E

У третьому розділі дисертаційної роботи сформульовані базові принципи і механізм обґрунтування стратегії ремонтів мостів.

Процеси деградації і відновлення є взаємно обумовленими, отже, повинні розглядатись у взаємодії. Забезпечення узгодженості процесу деградації і процесу відновлення в часі обумовлене граничними параметрами процесу деградації і наявним фінансуванням (*принцип узгодженості*). Можна отримати *ефективний* процес відновлення, якщо не оптимальний, проте кращий за всі розглянуті варіанти (*принцип обмеженої раціональності*). Неможливо забезпечити оптимальне рішення для одного моста без одночасного розгляду інших мостів на мережі доріг в умовах обмеженого фінансування (*принцип домінування мережевого рівня*). Мости на мережі автомобільних доріг мають різну важливість, отже, різний пріоритет (*принцип пріоритетизації*).

Наведені принципи складають основу пропонованого удосконалення проектування ремонтів або реконструкції мостів розробленням відповідного механізму (рис. 2). Механізм – це структура, що виконує функцію в її складових частинах, компонентних операціях і їх організації. Організоване функціонування механізму відповідає за одне або більше явищ. Механізм містить чотири основні ознаки: феномен, складові частини, причинно-наслідкові зв'язки, організацію.

З метою врахування різної важливості мостів на мережі доріг, на підґрунті зарубіжного досвіду запропонована система пріоритетизації мостів. Пріоритет моста визначається безрозмірним індексом, який приймає значення від 0 до 1. До факторів, які визначають пріоритет моста віднесені наступні:

K_B – коефіцієнт важливості моста;

$PC = 1,00 - E_b/100$ – коефіцієнт рейтингу стану, який характеризує загальний стан моста, де E_b обчислюють за формулою (7.1) ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012;

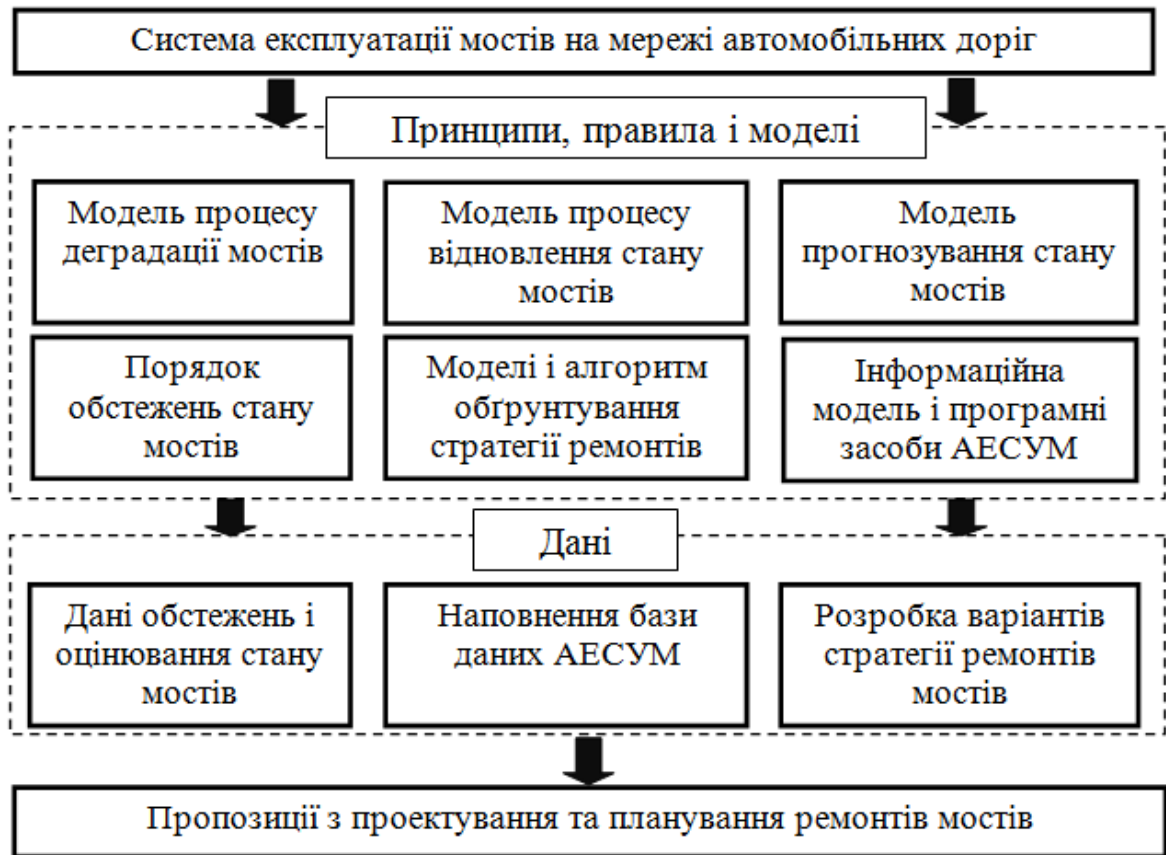


Рисунок 2 – Складові механізму обґрунтування стратегії ремонтів мостів

$KЗ$ – коефіцієнт пропускної здатності моста – здатність моста з пропуску руху, включаючи вплив обмежень на вагу, підмостовий габарит і габарит по ширині;

KE – коефіцієнт ефективності витрат – відношення вартості відновлювального заходу до вартості будівництва нового моста (або відношення вартостей їх 1 м^2).

Всі коефіцієнти приймають значення від 0 до 1.

Формула розрахунку пріоритету Π містить вагові коефіцієнти, розраховані за допомогою матриці переваг наведених факторів, елементи якої отримані методом аналізу ієрархій Т. Сааті ($0,45+0,24+0,10+0,21=1,00$):

$$\Pi = 0,45 \cdot KB + 0,24 \cdot PC + 0,10 \cdot KЗ + 0,21 \cdot KE. \quad (3)$$

Кожен фактор може мати розбиття на субфактори у наступному рівні ієрархії. Так, фактор важливості моста KB складається з шести субфакторів:

A – середня добова інтенсивність руху, авт./добу на смугу руху;

B – те саме, вантажних автомобілів, авт./добу на смугу руху;

C – майбутня середня добова інтенсивність руху, авт./добу на смугу руху, яка обчислюється через темп приросту інтенсивності руху;

D – вплив об'їзду (відношення довжини проїзду по мосту до довжини об'їзду);

E_b – належність моста до мережі доріг державного значення (1 – так, 0 – ні);

F – належність моста до транспортного коридору (1 – так; 0 – ні).

За допомогою матриці переваг субфакторів, отриманої методом аналізу ієрархій Т. Сааті, коефіцієнт важливості моста розраховують за формулою:

$$KB = 0,30 \cdot V_A + 0,10 \cdot V_B + 0,15 \cdot V_C + 0,20 \cdot V_D + 0,05 \cdot V_E + 0,20 \cdot V_F, \quad (4)$$

де $V_A, V_B, V_C, V_D, V_E, V_F$ – індекси субфакторів, кожний в інтервалі від 0 до 1, отримані застосуванням крок-функцій або їх неперервною апроксимацією.

$KЗ$ – коефіцієнт пропускної здатності моста включає:

$ЗВ$ – коефіцієнт зменшення ваги (від 0 до 1) – бальна характеристика споруди щодо вантажних автомобілів, пожежних автомобілів тощо;

$ПГ$ – коефіцієнт підмостового габариту (від 0 до 1);

$ШМ$ – коефіцієнт відповідності ширини моста ширині під'їздів автомобільної дороги (від 0 до 1).

Коефіцієнти $ЗВ, ПГ$ та $ШМ$ при відсутності порушень технічних параметрів приймають значення 1 або 0. Розраховується за формулою:

$$KЗ = 1,00 - (0,35 \cdot ЗВ + 0,50 \cdot ПГ + 0,15 \cdot ШМ). \quad (5)$$

З метою математичного моделювання зміни стану моста рівень деградації запропоновано обчислювати в системі координат, в якій рівень деградації $D \in [0;1]$ (табл. 2). В таблиці 2: $P_{i,в}; P_{i,н}$ – відповідно верхня та нижня границі надійності i -го експлуатаційного стану. По аналогії, $D_{i,в}; D_{i,н}$ – верхня і нижня границі деградації.

Таблиця 2 – Рівень деградації елементів моста відносно експлуатаційних станів та надійності

Стан	Рівень деградації (D), $D_{i,в} \leq D < D_{i,н}$	Надійність за першою групою граничних станів, $P_{i,в} \leq P < P_{i,н}$	Характеристика безпеки, β	Рейтинг стану, E
1	$0,00 \leq D < 0,05$	$0,999844 \leq P < 0,998363$	3,80	100 – 95
2	$0,05 \leq D < 0,20$	$0,998363 \leq P < 0,992461$	2,95	94 – 80
3	$0,20 \leq D < 0,40$	$0,992461 \leq P < 0,979771$	2,43	79 – 60
4	$0,40 \leq D < 0,60$	$0,979771 \leq P < 0,958351$	2,05	59 – 40
5	$0,60 \leq D < 1,00$	$0,958351 \leq P$	1,74	≤ 39

Прогнозування зміни рейтингу моста в цілому зводиться до прогнозування зміни рівня деградації найбільш слабкого визначального елемента.

Ремонти мостів підвищують надійність елемента моста та зменшують рівень деградації D . У відповідність кожному виду ремонту або іншого експлуатаційного заходу ставиться зменшення рівня деградації (вплив) I_m . Вид ремонту моста в ході моделювання кожного року вибирається методом Монте-Карло за рівномірним законом розподілення у відповідності до кількості альтернатив заходів у певному експлуатаційному стані, як показано на рисунку 3.

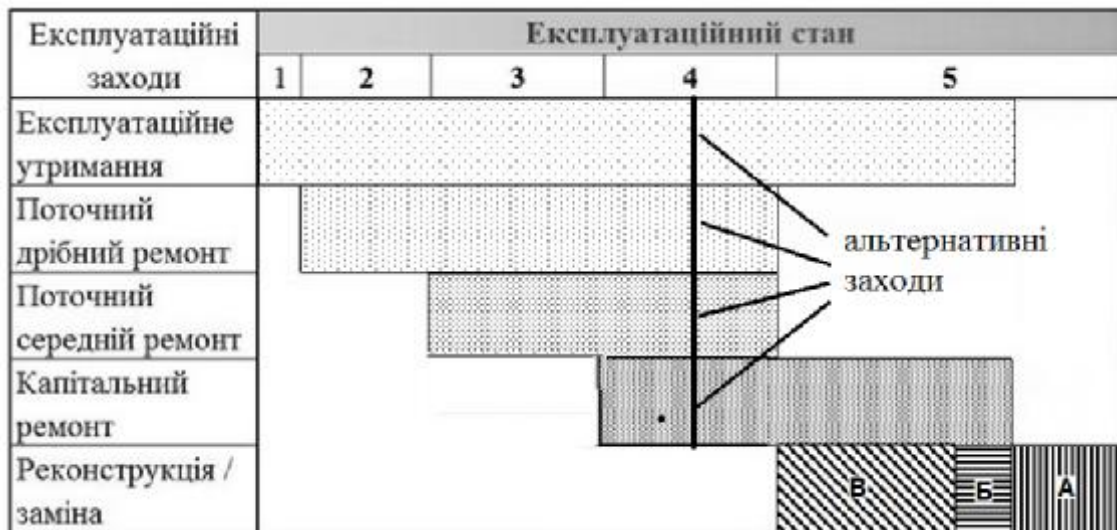


Рисунок 3 – Альтернативні заходи в залежності від експлуатаційного стану моста

Модель деградації запропонована такою:

$$D(t) = D(0) + \Delta D(t) - I_m(t), \quad (6)$$

де $D(t)$ – рівень деградації на кінець року t , $t \geq 1$;

$\Delta D(t)$ – збільшення рівня деградації за рік t , $t \geq 1$;

$D(0)$ – рівень деградації на початок прогнозного періоду.

$I_m(t)$ – вплив ремонтного заходу m на зменшення рівня деградації в рік t .

Вплив ремонтного заходу m на зменшення рівня деградації прийнятий за результатами аналізу даних зарубіжних наукових джерел, проте він був адаптований до нормативної моделі деградації і узгоджений з діючою практикою за даними обліку АЕСУМ (табл. 3).

При проектуванні ремонтів мостів або їх реконструкції необхідно обчислювати рейтинг (або рівень деградації) моста в цілому на основі розрахунків вантажопідйомності та характеристики безпеки β в залежності від кількості незмінених, відновлених або заміненних визначальних елементів моста згідно п. 6.5 ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 та залишкової тривалості життєвого циклу моста. Поступове накопичення таких даних про кількість змінених елементів і розрахункових характеристик в базі даних АЕСУМ дозволить в подальшому запропонувати надійні статистичні дані відносно значень величини впливу.

Таблиця 3 – Вплив експлуатаційних заходів на зменшення рівня деградації

Код	Назва експлуатаційного заходу	Вплив I_m
0	нічого не робити	0,000
1	експлуатаційне утримання	0,001
2	поточний дрібний ремонт + експлуатаційне утримання	0,005
3	поточний середній ремонт	0,400
4	капітальний ремонт	0,600
5	Реконструкція	0,975

Обґрунтування стратегії ремонтів мостів розглядається як комбінаторна задача дискретної оптимізації. Сформульовані дві математичні моделі оптимізації ремонтів мостів з різними функціями цілі. Обидві моделі можуть бути застосовані як на мережі доріг, так і на рівні однієї споруди ($N = 1, \Pi_{i,t} = 1$).

Оптимізація за критерієм мінімуму Z_S – середнього за період T зваженого за площею і пріоритетами мостів рівня деградації мостів:

$$Z_S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \times \sum_{t=1}^T [\Pi_{i,t} \times (D_{i,t-1} + \Delta D_{i,t} - I_{i,t}(x_{i,t}))]}{\sum_{i=1}^N S_i \times \sum_{t=1}^T \Pi_{i,t}} \Rightarrow \min, \quad (7)$$

де N – кількість мостів на мережі автомобільних доріг;
 T – тривалість прогнозного періоду, років;
 S_i – площа i -го моста, м²;
 $D_{i,t-1}$ – рівень деградації i -го моста на початок t -го року;
 $\Delta D_{i,t}$ – збільшення рівня деградації i -го моста за рік t ;
 $D_{i,t}$ – рівень деградації i -го моста на кінець t -го року;
 $x_{i,t}$ – змінна рішення, яка приймає значення з множини видів експлуатаційних заходів, $X_{i,t} \in \{0, \dots, 5\}$ (табл. 3);
 $\Pi_{i,t}$ – залежний від часу пріоритет i -го моста на початок року t ;
 $I_{i,t}(x_{i,t})$ – вплив заходу $x_{i,t}$ на зменшення рівня деградації i -го моста в рік t .
 Обмеження максимального рівня деградації:

$$D_{t,i} \leq D_{\max}, \quad \forall D_{t,i}, \quad (8)$$

де D_{\max} – прийнятий максимально допустимий рівень деградації. Це обмеження може порушуватись при недостатньому рівні фінансування.

Бюджетні обмеження:

$$C(t) = \sum_{i=1}^N C_{t,i,m} \leq B(t), \quad \forall t, \quad (9)$$

де $C_{t,i,m}$ – вартість заходу m для i -го моста у рік t ;
 $B(t)$ – бюджет у рік t . Це обмеження не може порушуватись.
 Обмеження гранично допустимого рівня деградації:

$$D_{\max} \leq D_{ГД}, \quad (10)$$

де $D_{ГД}$ – гранично допустимий рівень деградації, який не може бути перевищеним.

В першому, достатньому для практичних потреб, наближенні гранично допустимий рівень деградації $D_{ГД}$ можна прийняти $D_{ГД} = 1,00$.

Оптимізація за критерієм мінімуму приведеної вартості Z_C ремонтних заходів за період часу T виконується шляхом мінімізації витрат (у тис. гривень):

$$Z_C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{C_{i,t}}{e^{(1+r)^t}} \times PF_{i,t} \Rightarrow \min, \quad (11)$$

де $PF_{i,t}$ – функція виду:

$$PF_{i,t} = \frac{C_{i,t-1} + \Delta D_{i,t} - I_{i,t}(x_{i,t}) - D_{max}}{D_{max}} \times \max\{0, \dots\}, \quad (12)$$

де $C_{i,t}$ – вартість ремонту або утримання моста i в рік t , тис. грн.;
 r – ставка дисконту, скоригована з урахуванням темпу інфляції;
 $\Pi_{i,t}$ – пріоритет i -го моста за формулою (3) на початок року t ;
 $I_{i,t}(x_{i,t})$ – вплив ремонтного заходу $x_{i,t}$ на зменшення рівня деградації i -го моста в рік t .

При перевищенні рівнем деградації заданої максимально допустимої величини D_{max} , значення функції $PF_{i,t}$ буде зростати, що слугує бар'єром для невиправданого зменшення витрат на ремонти мостів.

Запропонований в дисертаційній роботі механізм обґрунтування раціонального рішення включає: модифікований генетичний алгоритм, алгоритм векторної оптимізації за двома критеріями (7) або (11), специфічні правила розв'язання задачі та інтерфейси формування вихідних даних та відображення результатів.

Розроблені в дисертації процедури механізму обґрунтування параметрів процесу відновлення технічного стану мостів наведені в таблиці 4 з використанням табличної діаграми Нассі-Шнейдермана. Результати оптимізації (рис. 4 і рис. 5) отримані за процедурами, наведеними в табл. 4 і табл.5.

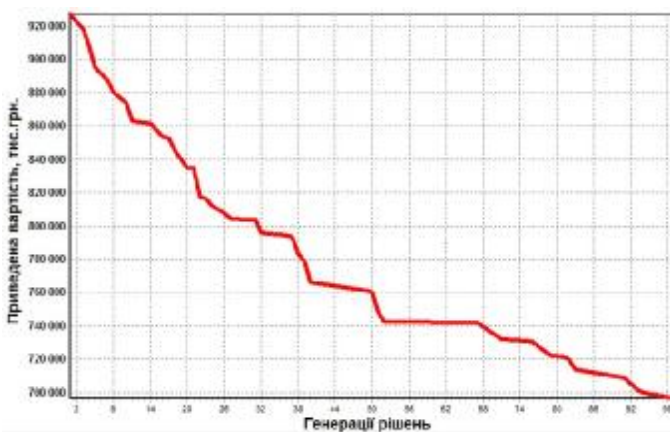


Рисунок 4 – Процес оптимізації рішення еволюційним механізмом

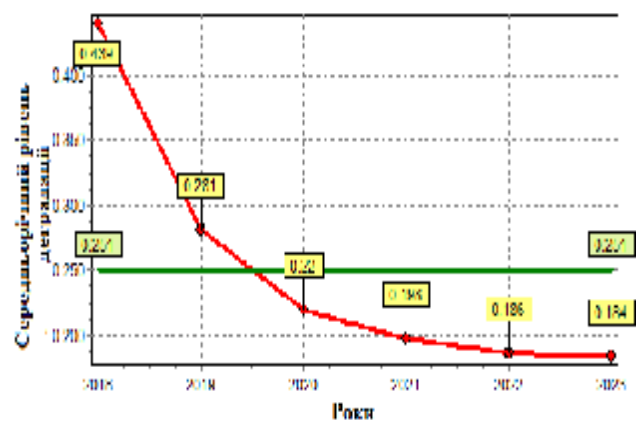


Рисунок 5 – Середньорічний рівень деградації

Обґрунтування стратегії ремонтів одночасно за двома критеріями (7), (11) здійснюється алгоритмом векторної оптимізації Д. Шаффера VEGA. Сутність його полягає в тому, що з початкової множини рішень турнірним відбором вибираються рішення за першим критерієм, які формують нову множину розміром в половину

початкової множини, а потім за другим критерієм. Далі ці дві множини поєднуються в одну – нову, де перемішуються. До цієї поєднаної множини застосовуються оператори селекції, рекомбінації (кросоверу) і регенерації (мутації), в результаті виконання яких формується наступна множина, і процедура ітеративно повторюється.

За допомогою розробленого в дисертації програмного модуля на графіку (рис. 6) в системі координат двох критеріїв (7), (11) виводяться можливі рішення. Недоміновані рішення утворюють фронт Парето-оптимальних рішень.

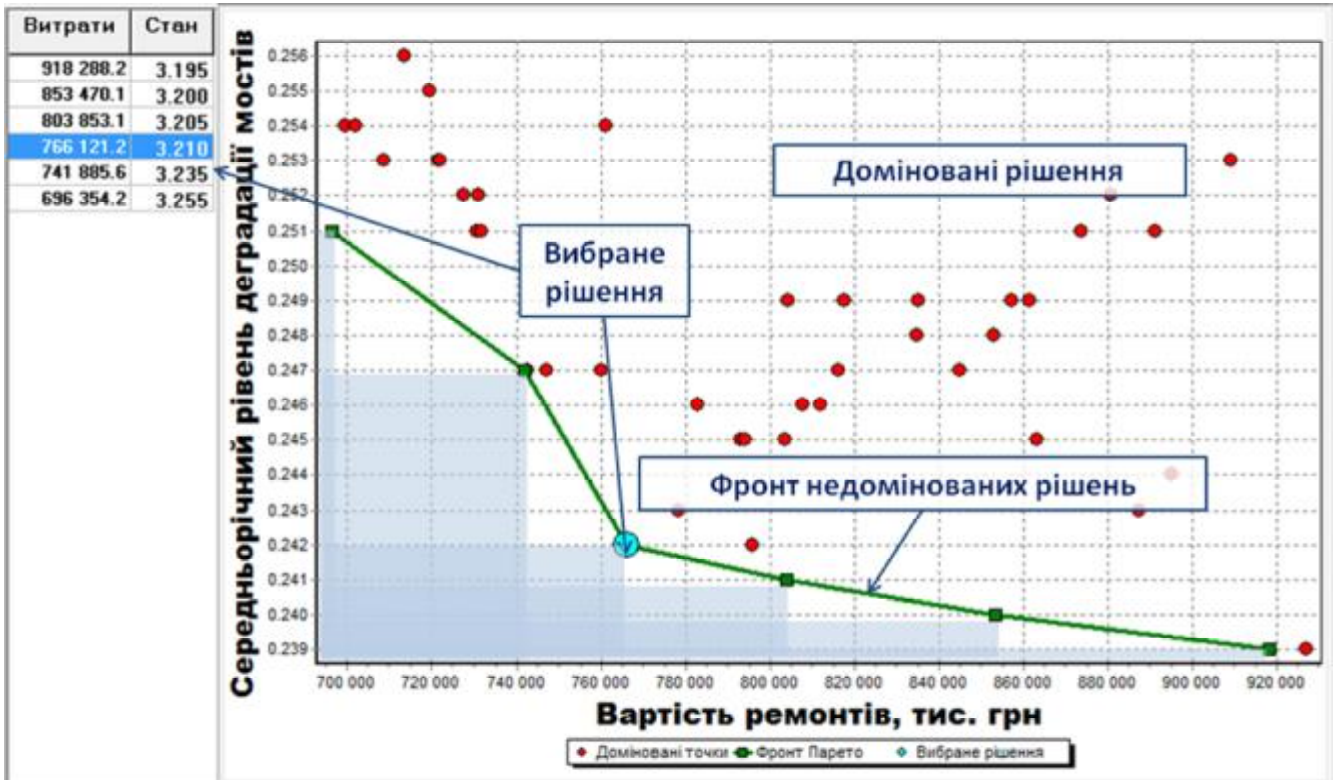


Рисунок 6 – Вибір рішення з фронту Парето в програмному комплексі АЕСУМ

Таблиця 4 – Процедура оптимізації стратегії ремонтів

<p>Цикл ініціалізації початкової множини рішень $ch=1, D_s, D_s$ – кількість рішень:</p> <p>Встановити залишки коштів рівними річним бюджетам: $R(t)=B(t)$, $t = \overline{1, T}$</p>
<p>Цикл по мостам, $i = \overline{1, N_b}$</p> <p>Визначити початковий рівень деградації i-го моста</p> <p>Цикл по рокам прогнозного періоду, $t = \overline{1, T}$:</p> <p>Встановити допустимий вид заходу для i-го моста в t-й рік з визначенням вартості та перевіркою його здійсненності. Визначити пріоритет I-го моста в t-й рік</p> <p>Розрахувати значення цільової функції Z</p>
<p>Вибір найкращого рішення $Best$ з початкової множини рішень</p>

Кінець таблиці 4

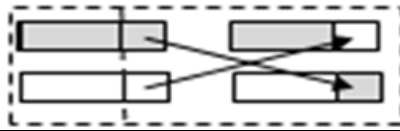
Цикл пошуку оптимального рішення, $g = 1, G_e$, g – номер генерації:

Перевірка на збіжність рішень: якщо $cnt \geq cntMax$, то вихід з циклу
Моделювання однієї генерації алгоритму процедурою (табл. 5)
Вибір поточного найкращого рішення ch з чергової генерації g
Якщо $ chBest.Z - ch.Z < EPS$, то $cnt = cnt + 1$ – збільшити лічильник; інакше $cnt = 0$ – очистити лічильник збігів;
Якщо $chBest.Z > ch.Z$, то $chBest = ch$ – змінити найкраще рішення.

Таблиця 5 – Процедура моделювання однієї генерації процесу

Цикл по рішенням множини рішень, $ch = 1, D_s$, D_s – кількість рішеньМетодом турнірного відбору вибрати два екземпляра рішення $ch1$ та $ch2$ Виконати рекомбінацію (кросовер) рішень $ch1$ та $ch2$:Отримати рівномірно розподілене в інтервалі $[0, 1]$ випадкове число x Якщо $x \leq P_c$, то:Визначити точку розділення рішень $ch1$ та $ch2$ перед k -м мостом;

Сформувані нові рішення шляхом обміну частинами рішень :

**Цикл по мостам** правої частини рішень (з $k+1$ -го моста),
 $i = k+1, N_b$ для перевірки залишків бюджетних коштів:

Регенерувати наступні заходи з відновлення стану моста:

Цикл по рокам прогнозного періоду, $t = 1, T$:Встановити вид заходу для i -го моста в t -й рік
процедурою з визначенням вартості та перевіркою
його здійсненностіРозрахувати цільову функцію Z ;Визначити пріоритет i -го моста в t -й рік**Цикл по мостам рішення, $i = k+1, N_b$. Оператор регенерації (мутації):****Цикл по рокам** прогнозного періоду, $t = 1, T$:Отримати рівномірно розподілене в інтервалі $[0, 1]$ випадкове число
 $x = \text{Random}$ Якщо $x \leq P_m$ (імовірності мутації), то:

Регенерувати наступні заходи з відновлення стану моста:

Цикл по рокам прогнозного періоду, $j = t+1, T$:Встановити вид заходу для i -го моста в j -й рік з
визначенням вартості та перевіркою його здійсненностіРозрахувати цільову функцію Z Визначити пріоритет i -го моста в t -й рік

У четвертому розділі дисертаційної роботи обґрунтовано модифікацію архітектури програмного комплексу АЕСУМ за рахунок включення в неї підсистеми обґрунтування стратегії ремонтів мостів, розроблена методика застосування якої включає 10 основних блоків (рис. 7).

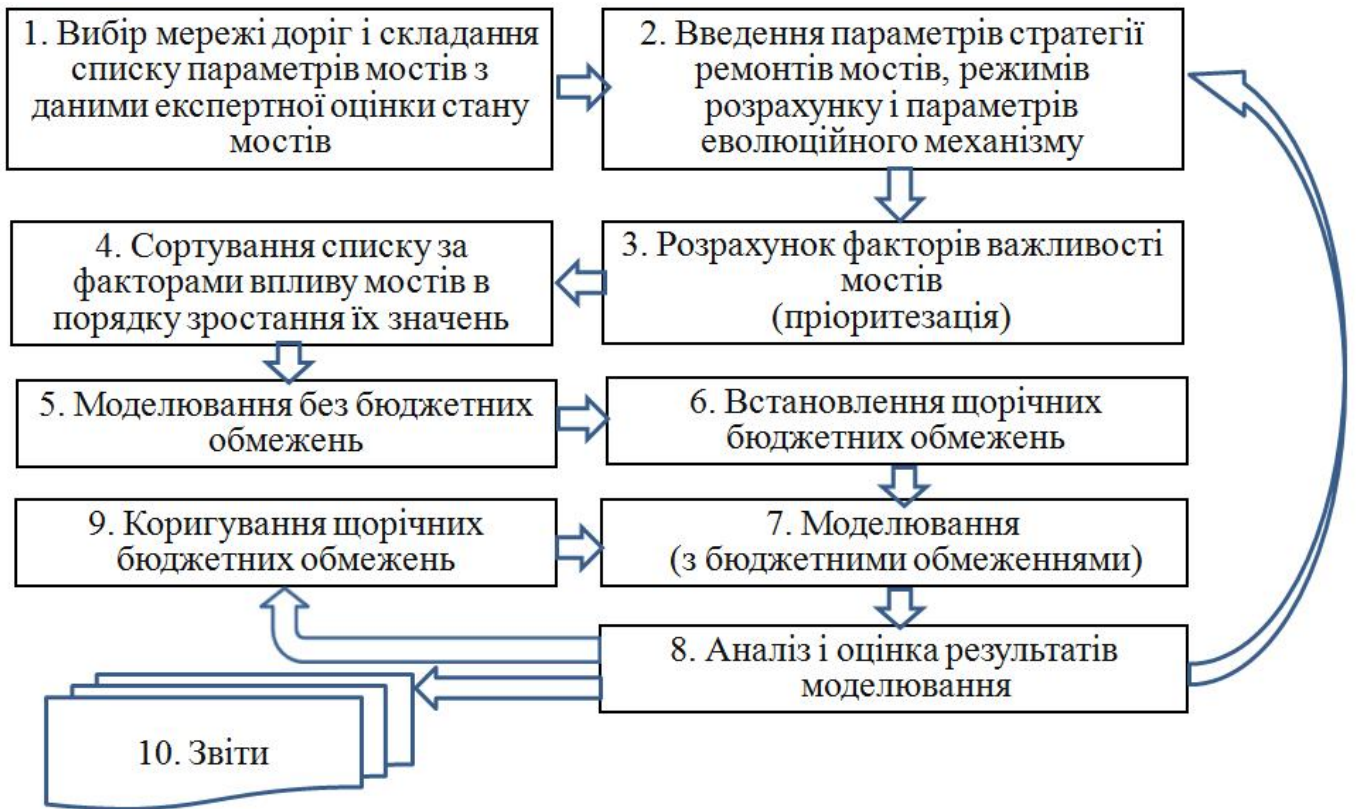


Рисунок 7 – Схема методики обґрунтування стратегії ремонтів мостів

Підсистема і розроблена в дисертації методика її використання, а також методика більш точної оцінки питомих показників вартості ремонтів мостів надають можливість особі, яка приймає рішення, отримати достатню кількість вихідних форм (графіків та звітів, як наприклад, наведений на рис. 8) для підготовки, формування та аналізу даних – проектних матеріалів, необхідних при відборі варіантів ремонтів мостів для першочергового проектування. Ці проектні матеріали в подальшому можуть бути використані для розробки програм, планів і проектів робіт з управління мостами.

Удосконалена методика оцінки питомих показників вартості 1 м² ремонтів мостів базується на визначенні складу робіт, необхідних для усунення дефектів споруди, виявлених в результаті обстежень, і дозволяє розрахувати орієнтовну вартість проведення ремонтів на об'єктному рівні. В подальшому буде можливо визначати усереднену вартість ремонтно-експлуатаційних робіт мостів більш деталізовано – окремо на рівні доріг державного, місцевого значення, в розрізі областей, окремих доріг, за матеріалом, за типом споруди, її конструкцією, за довжиною тощо.

Розрахункова економічна ефективність від оптимізації стратегії ремонтів мостів визначається як відношення економії приведених витрат при виборі варіанта

з мінімальною вартістю C_{min} до початкового варіанту приведених витрат C_0 , сформованому за підходом «найгірші – перші»:

$$EE = \frac{C_0 - C_{min}}{C_0} \times 100\% \quad (13)$$

Економічна ефективність від оптимізації стратегії ремонтів мостів знаходиться в межах 15-25 %.

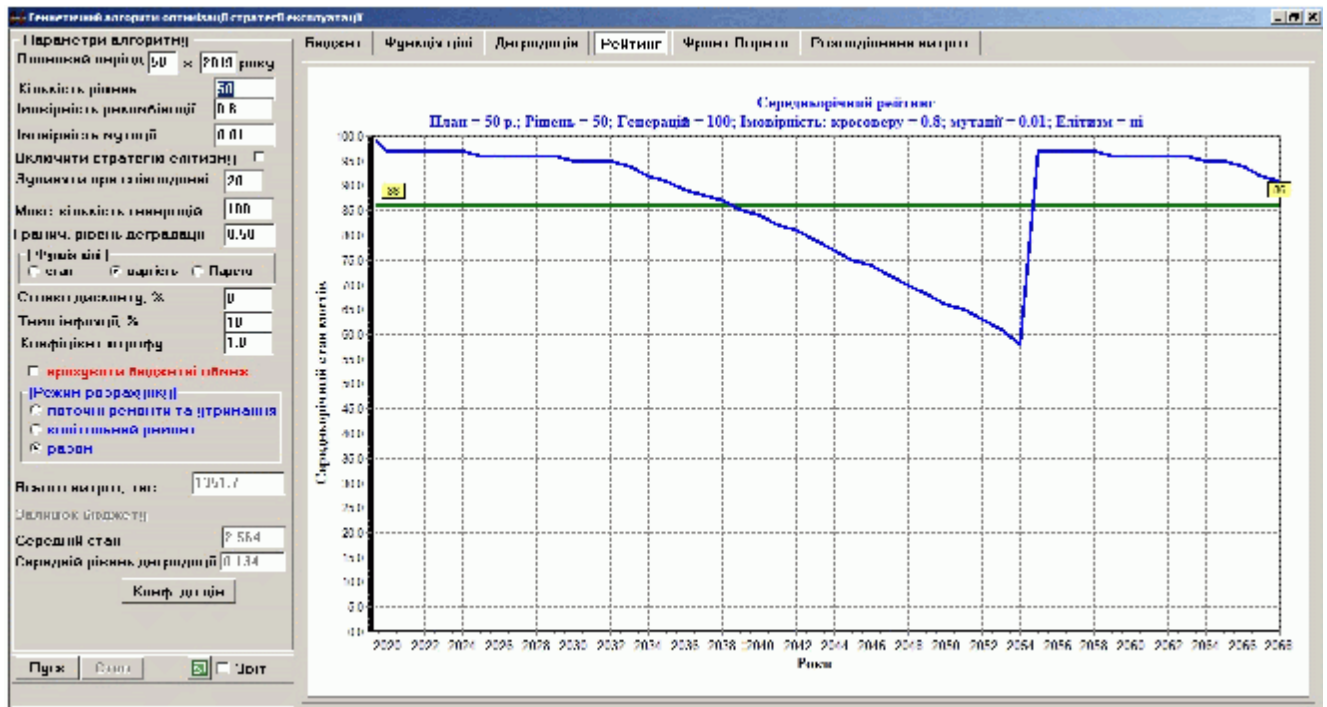


Рисунок 8 – Приклад інтерфейсу прогнозу зміни рейтингу окремого моста за 50 років.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішене актуальне науково-практичне завдання удосконалення проектування ремонтів автодорожніх мостів з урахуванням їх впливу на довговічність і тривалість експлуатації мостів. Цим дослідженням доведено, що проектування раціональної стратегії ремонтів автодорожніх мостів за показниками довговічності і тривалості експлуатації може бути ефективним інструментом підтримання технічного стану мостів в умовах недостатнього фінансування на їх утримання.

Виконані теоретичні дослідження та їх практична реалізація дозволяють зробити такі висновки:

1. Виконаний аналіз публікацій показав, що більшість відомих підходів проектування ремонтів мостів орієнтовані на ліквідування дефектів і пошкоджень елементів, тоді як у сучасних умовах є необхідність оцінювання в процесі проектування впливу ремонтів на залишковий ресурс.

2. Встановлений кількісний критерій для мостів, що перебувають у п'ятому (непрацездатному) стані, який дозволяє на основі даних обліку в АЕСУМ швидко визначити доцільність капітального ремонту або реконструкції моста замість його закриття і заміни новим. Величина критерію доцільності K_E має інтервали значень: група А ($K_E < 3$), група Б ($3 \leq K_E < 6$) і група В ($K_E \geq 6$).

3. Розроблена модель визначення пріоритетів мостів, які потрібно враховувати при обґрунтуванні параметрів процесу відновлення їх технічного стану на рівні мережі автомобільних доріг.

4. Розроблені моделі і механізм обґрунтування стратегії ремонтів мостів на мережі автомобільних доріг за критеріями мінімуму середньорічного рівня деградації або приведеної вартості експлуатаційних заходів, а також одночасно за цими двома критеріями з урахуванням бюджетних обмежень, що дозволяє збільшити тривалість життєвого циклу мостів у фазі експлуатації та знизити вартість їх утримання. Встановлені раціональні значення параметрів еволюційного алгоритму обґрунтування: вихідна кількість рішень 200 – 250, кількість генерацій алгоритму 150 – 200. Імовірність рекомбінації рішень 0,8 – 0,9, імовірність регенерації рішень 0,008 – 0,010.

5. Розроблено інструментарій оцінювання і прогнозування технічного стану мостів, механізму обґрунтування стратегії ремонтів у програмному комплексі АЕСУМ, чим розширюється практична можливість пошуку ефективної стратегії ремонтів мостів. Створено методика використання розробленого інструментарію. Розрахункова економічна ефективність від оптимізації стратегії ремонтів мостів може складати 15 – 25 % порівняно зі стратегією «найгірші – перші».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Боднар Л.П. Аналитическая экспертная система управления мостами Украины // Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал. Минск: 2015. Вып. № 2 (16). С. 18-23 (Беларусь).

Статті у наукових фахових виданнях:

2. Боднар Л.П. Управління утриманням елементів залізобетонних мостів на основі моделей нечіткої логіки // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. Вип.33. С. 39-42.

3. Боднар Л.П., Канін О.П., Халай Т.О. Модель обґрунтування стратегії ремонтів мостів // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. К.: НТУ, 2012. Випуск 26. С.47-52.

4. Боднар Л.П. Теоретичні засади управління довговічністю автодорожніх мостів // Автошляховик України, №4 (240), 2014. С.37- 40.

5. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М, Стабровський О.О. Визначення прогнозованої вартості проведення ремонтів мостів з використанням Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) // «Дороги і мости»: зб. наук. пр. К.: ДерждорНДІ, 2016. Вип.16. С. 28-35.

6. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстежень // «Дороги і мости»: зб. наук. пр. К.: ДерждорНДІ, 2017. Вип.17. С. 42-53.

7. Боднар Л.П., Коваль П.М., Степанов С.М. Критерії формування планів обстежень мостів // Автошляховик України, №2 (254), 2018. С.34-42.

8. Боднар Л.П., Редченко В.П. Про посібник до національного стандарту щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів // Автошляховик України, №1 (257), 2019. С. 40-45.

Список опублікованих праць апробаційного характеру:

9. Боднар Л.П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку // Дороги і мости: зб. наук. пр. К.: ДерждорНДІ, 2010. Вип.12. С. 31-39.

10. Боднар Л.П., Коваль П.М., Фаль А.Є., Панібратець Л.Г. Досвід впровадження Аналітичної експертної системи управління мостами // Дороги і мости: зб. наук. пр. К.: ДП «ДерждорНДІ», 2010. Вип.13. С. 39-46.

11. Боднар Л.П. Обґрунтування рівнів утримання залізобетонних мостів в управлінні програмами їх експлуатації. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. № 662. С. 65-69.

12. Боднар Л.П., Лантух-Лященко А.І., Канін О.П., Коваль П.М., Фаль А.Є. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження // Дорожня галузь України. 2011. №7. С. 42-47.

13. Боднар Л.П., Канін О.П. Програмний комплекс АЕСУМ. Досвід впровадження, сучасний стан та напрями подальшого розвитку. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції с участием студентов и молодых ученых «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов». Х.: ХНАДУ, 2012. С. 30-35.

14. Боднар Л.П. Аналитическая экспертная система управления мостами. Опыт внедрения. Современное положение. Перспективы развития. Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы» ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК. Вильнюс: Техника, 2013. С. 263-268.

15. Боднар Л.П. Генетичні алгоритми в оптимізації стратегії ремонтів мостів // Збірник наукових праць Дніпропетровського університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. Вип.6. С. 18-23.

16. Боднар Л.П., Канін О.П., Панібратець Л.Г., Степанов С.М. Оптимізація стратегій експлуатації мостів // Дороги і мости: зб. наук. пр. К.: ДП «ДерждорНДІ», 2015. Вип.15. С. 66-77.

17. Боднар Л.П., Кушнір О.В., Коваль П.М., Панібратець Л.Г. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах // Дороги і мости: зб. наук. пр. К.: ДП «ДерждорНДІ», 2015. Вип.15. С. 87-93.

18. Боднар Л.П., Панібратець Л.Г., Завгородній С.С., Чурсін О.П. Сучасний інструмент управління мостами // Дорожня галузь України. 2016. №4. С. 46-51.

19. Боднар Л.П. Моделі оптимізації стратегії експлуатації автодорожніх мостів. LXXII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету. Київ: НТУ, 2016. С. 162.

20. Боднар Л.П., Канін А.П. Задача обосновання стратегій експлуатації мостов на автомобільних дорогах. Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги: безопасность и надежность». Сборник докладов. (24-25 ноября 2016 г), Минск. С. 179-183.

21. Larysa Bodnar, Alex Kanin, Sergii Stepanov. Genetic Algorithm to optimize the strategies for bridge repair works. 2018. 10 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://zenodo.org/record/1485402#.XDX1nGmLmUk>.

22. Боднар Л.П. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження та перспективи розвитку. Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми ремонтів та утримання мостів». Збірник тез. (20-21 червня 2018 року), м. Ужгород. С. 33-36.

Свідоцтва та патенти:

23. Свідоцтво серія № 68663 Комп'ютерна програма «Оптимізація стратегії експлуатації мостів» / Канін О.П., Боднар Л.П., Давиденко О.О. Дата реєстрації 16.11. 2016 р.

24. Свідоцтво серія № 68904 Науковий твір «Критерій доцільності виконання капітального ремонту/реконструкції/нового будівництва автодорожніх мостів» / Канін О.П., Боднар Л.П., Давиденко О.О. Дата реєстрації 06.12. 2016 р.

АНОТАЦІЯ

Боднар Л.П. Удосконалення проектування ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет МОН України, Київ, 2019.

Дослідження спрямоване на удосконалення проектування ремонтів автодорожніх мостів. Розроблені математичні моделі і механізм обґрунтування стратегії ремонтів мостів за критеріями мінімуму середньозваженого за площею та пріоритетами мостів рівня їх деградації та вартості експлуатаційних заходів з обмеженнями на параметри деградації і щорічне фінансування. Запропонований критерій доцільності виконання ремонту або реконструкції моста, що перебуває у непрацездатному стані, замість його закриття і заміни новим. В програмний комплекс АЕСУМ включений модуль обґрунтування стратегії ремонтів мостів та розроблено інженерну методику її використання.

Ключові слова: автодорожній міст, деградація, життєвий цикл, критерій оптимальності, механізм, модель, проектування, ремонт, стан моста, стратегія.

АННОТАЦИЯ

Боднар Л.П. Совершенствование проектирования ремонтов при эксплуатации автодорожных мостов – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. (192 – Строительство и гражданская инженерия). – Национальный транспортный университет МОН Украины, Киев, 2019.

Исследование направлено на совершенствование проектирования ремонтов автодорожных мостов. Разработаны математические модели и механизм обоснования стратегии ремонтов мостов по критериям минимума средневзвешенного по площади и приоритетами мостов уровня их деградации и стоимости эксплуатационных мероприятий с ограничениями на параметры деградации и ежегодное финансирование. Предложен критерий целесообразности выполнения ремонта или реконструкции моста, который находится в неработоспособном состоянии вместо его закрытия и замены новым. В программный комплекс АЭСУМ включен модуль обоснования стратегии ремонтов мостов и разработана инженерная методика ее использования.

Ключевые слова: автодорожный мост, деградация, жизненный цикл, критерий оптимальности, механизм, модель, проектирование, ремонт, состояние моста, стратегия.

ABSTRACT

Larysa Bodnar Improving the design of repairs in the exploitation of road bridges.– Qualifying scientific work on the rights of the Manuscript.

The Thesis is submitted for obtaining a Candidate Degree in Technical Science (PhD): speciality 05.22.11 «Highways and airfields». (Branch of Knowledge 192 – Construction and Civil Engineering). – National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The study is aimed at improving the design of bridge repairs. Mathematical models and a repair strategy justification mechanism of road bridges according to the criteria of minimizing the weighted average over the area and priorities of bridges of the level of their degradation and the cost of operational measures with restrictions on the parameters of degradation and annual funding have been developed. A criterion is proposed for the feasibility of repairing or reconstructing a bridge that is inoperative compared to closing it and replacing it with a new one. The software package for the Analytical Expert System for Bridge Management includes a module for substantiating the strategy of repairing bridges and an engineering methodology for its use is developed.

Keywords: road bridges, degradation, life cycle, optimality criterion, mechanism, model, design, repair, condition of bridges, strategy.