

Спеціалізована вчена рада
Д 26.059.02 у Національному
транспортному університеті
01010, м. Київ,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1
Вченому секретарю Каськіву В.І.

ВІДГУК

офіційного опонента, д.т.н., завідувача кафедри проектування доріг,
геодезії і землеустрою Харківського Національного автомобільно-дорожнього
університету Батракової А.Г. на дисертаційну роботу

Боднар Лариси Петрівни

«Удосконалення проектування ремонтів при експлуатації
автодорожніх мостів»,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Дисертація виконана у Національному транспортному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота викладена українською мовою на 212 сторінках та
складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних
джерел із 182 найменувань та містить 4 додатка.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Забезпечення нормативного техніко-експлуатаційного стану
транспортних споруд протягом терміну служби та подовження їх залишкового
ресурсу є одним з найголовніших завдань дорожній галузі України. За
результатами обстежень близько 12 % автодорожніх мостів мережі
автомобільних доріг загального користування знаходяться у нездовільному
техніко-експлуатаційному стані та потребують ремонту, 59 % автодорожніх
мостів не відповідають нормативним вимогам, вік мостів на автомобільних
дорогах державного значення становить понад 50 років, у зв'язку з чим їх
техніко-експлуатаційний стан стрімко погіршується, а фактичний термін
служби автодорожніх мостів істотно менше нормативних значень. За даними
міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді
національної безпеки і оборони України «критичний стан автодорожніх мостів
та транспортних споруд як складових систем життєзабезпечення на території
України підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій и становить
загрозу національній безпеці ...». Отже, проблема своєчасного ремонту мостів,
підвищення їх надійності, подовження залишкового ресурсу набуває особливої
актуальності та соціальної значимості.

Науковими дослідженнями, зарубіжним та вітчизняним досвідом



проектування, ремонту та експлуатації автодорожніх мостів доведено, що ефективним інструментом забезпечення нормативного техніко-експлуатаційного стану мостів протягом життєвого циклу є стратегія превентивних ремонтів. Незважаючи на очевидні переваги, реалізація зазначеної стратегії стримується: 1) складністю наукової задачі оцінки та прогнозування стану мостів як складних технічних систем через суттєві відмінності у показниках надійності та довговічності окремих елементів мостів, складнощі визначення їх граничних станів та критеріїв доцільності подальшої експлуатації; 2) необхідністю обробки великого масиву статистичних даних обстежень для контролю стану елементів мостів та призначення ремонтних заходів щодо попередження їх відмови; 3) відсутністю розрахунково-аналітичного апарату та відповідного програмного забезпечення щодо прогнозування ремонтів на основі моделі деградації елементів моста.

Тому актуальність дослідження, що спрямоване на обґрунтування ефективної стратегії відновлення технічного стану автодорожніх мостів при проектуванні їх ремонтів, не викликає сумнівів. Таким чином, тема дисертаційної роботи, її мета та основні наукові завдання, що вирішені у дисертаційному дослідженні, а також напрямки практичної реалізації є актуальними та своєчасними.

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

Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм. Основні дослідження виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт ДП «ДерждорНДІ» та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання 6 господарсько-договірних науково-дослідних робіт з проблем прогнозування деградації та відновлення технічного стану мостів, забезпечення їх надійності, довговічності, розвитку та удосконалення програмного комплексу АЕСУМ.

3. Мета і задачі дослідження обґрунтовані і випливають з критичного аналізу попередніх досліджень за темою дисертації. **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. Відповідно до мети, автором дисертаційної роботи чітко та коректно сформульовано основні задачі дослідження.

Дисертаційна робота, висновки та публікації автора свідчать, що всі задачі, що визначені у дисертаційному дослідженні, вирішенні успішно.

4. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій наданих у дисертації, підтверджується: обґрунтованим обсягом теоретичних досліджень та чисельних експериментів; коректним застосуванням математичного апарату теорії надійності до вирішення завдань дослідження граничних значень рівня деградації елементів моста; застосуванням апробованого математичного апарату ланцюгів Маркова до прогнозування залишкового ресурсу елементів мостів; залученням обґрунтованої вибірки статистичних даних та методів параметричної оптимізації до розроблення механізму обґрунтування стратегії відновлення технічного стану мостів.

5. Наукова новизна отриманих результатів полягає у:

- розробленні моделі і механізм обґрунтування параметрів відновлення стану мостів на мережі автомобільних доріг, що дозволяє, порівняно з існуючими підходами, підвищити надійність, збільшити тривалість та зменшити вартість життєвого циклу мостів;
- встановленні кількісного критерію для мостів, що перебувають у непрацездатному експлуатаційному стані, який дозволяє, на відміну від трудомісткого і витратного техніко-економічного обґрунтування, швидко оцінити доцільність капітального ремонту або реконструкції моста замість його заміни новим;
- вдосконаленні моделі пріоритетації мостів на мережі автомобільних доріг, яка, порівняно з існуючими підходами, дозволяє врахувати поточну і перспективну значимість мостів при прогнозуванні їх ремонтів;
- подальшому розвитку програмного комплексу АЕСУМ, який, на відміну від попередньої версії, завдяки розробленню і впровадженню підсистем обґрунтування ефективної стратегії ремонтів мостів та більш точної оцінки їх вартості, розширює можливості застосування АЕСУМ у частині удосконалення проектування ремонтів мостів.

Основним науковим результатом дисертаційного дослідження є удосконалення проектування ремонтів при експлуатації мостів у частині узгодження процесів їх деградації та відновлення.

6. Практична значимість роботи полягає у

- розробленні алгоритмів і програмних засобів у складі програмного комплексу АЕСУМ;
- розробленні методики визначення вартості 1 m^2 ремонтів мостів, яка заснована на визначені складу робіт, необхідних для усунення дефектів споруди, виявлених в результаті обстеження/паспортизації, що дозволить розрахувати орієнтовну вартість проведення ремонтів на об'єктному рівні;

– розроблені методики обґрунтування стратегії ремонтів мостів на мережі доріг, достовірність якої обґрунтована застосуванням матеріалів обстежень, накопичених у базі даних АЕСУМ.

7. Повнота реалізації результатів дисертаційного дослідження.

Результати дослідження і практичні рекомендації реалізовані у програмному комплексі АЕСУМ як інструментарій прийняття рішень та обґрунтування оптимальної стратегії ремонтів мостів на локальному та мережевому рівнях.

Результати досліджень і практичні рекомендації впроваджені у Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ) Державного агентства автомобільних доріг України, Служб автомобільних доріг Вінницької, Хмельницької і Черкаської областей.

Результати дисертаційного дослідження можуть бути використані органами та підприємствами, що належать до сфери управління Державного агентства автомобільних доріг України та комунального підпорядкування, при проектуванні, будівництві, реконструкції та експлуатаційному утриманні автодорожніх мостів, а також при підготовці бакалаврів і магістрів зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Методика обґрунтування стратегії ремонтів мостів може стати інформаційним додатком до нормативного документа: ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів».

8. Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 7 національних та міжнародних конференціях і семінарах та наукової конференції професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету.

Вважаю, що результати дослідження пройшли широку апробацію, яка відповідає вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

9. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. Дисертація є завершеним науковим дослідженням. Основні положення результати дисертаційного дослідження відображені у 24 друкованих публікаціях, у тому числі: 7 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, серед яких 2 одноосібні статті; у зарубіжних наукових виданнях опубліковано 1 статтю; 14 праць апробаційного характеру з них 6 одноосібних; 2 свідоцтва, що підтверджують право інтелектуальної власності.

Кількість та якість наукових публікацій за темою дисертації відповідає вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

10. Оцінка змісту дисертації

Аналіз змісту дисертації дозволяє оцінити її як закінчене самостійне наукове дослідження, яке містить достовірні обґрунтовані наукові та практичні результати щодо удосконалення проектування ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів.

Структура дисертації побудована логічно відповідно до мети та задач дослідження. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване.

Використання матеріалів інших авторів здійснюється з обов'язковим посиланням на наукові праці.

Мова, стиль та структура дисертації відповідають загальноприйнятому в наукових роботах.

Зміст та обсяг вступної частини дисертації та автореферату ідентичні.

Вступ висвітлює актуальність теми дослідження, її зв'язок з науковими програмами, мету і задачі виконаних досліджень, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, апробацію основних положень дослідження.

У першому розділі дисертації проведено аналіз існуючих теоретичних положень та моделей щодо розв'язання науково-технічної задачі формування стратегії ремонтів мостів на автомобільних дорогах загального користування, забезпечення нормативного техніко-експлуатаційного стану та безвідмовної роботи транспортних споруд протягом проектного строку служби із заданими показниками надійності, які можуть бути меншими, ніж для нових конструкцій.

Доведено, що проблема оптимізації стратегії ремонтів автодорожніх мостів теоретично тісно зв'язана з їх моделлю деградації та оцінки експлуатаційного стану. Обґрунтовано доцільність застосування моделі деградації елементів автодорожніх мостів, що запропонована професором А.І. Ланух-Лященко, як наукової основи вирішення задачі обґрунтування стратегії ремонтів автодорожніх мостів та розроблення відповідного модуля у програмному комплексі АЕСУМ з використанням основних положень ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів».

Визначено низку наукових проблем, на подолання яких спрямоване дослідження: відсутність аналітичних або статистичних кількісних залежностей між обсягом робіт з ремонту та утримання і прогнозованим експлуатаційним станом мостів; відсутність кількісної оцінки впливу поточного ремонту та утримання на темпи деградації елементів мостів; складність оцінювання впливу параметрів пошкоджень на експлуатаційний стан мостів і їх параметри надійності і довговічності; недосконалість класичних алгоритмів розв'язку оптимізаційної задачі; невирішеність задачі визначення пріоритетності мостів.

Сформульовано центральну наукову ідею дослідження, яка полягає у розробленні моделей і механізму стратегічного прогнозування ремонтів мостів, що враховують індивідуальні особливості деградації елементів мостів і дозволяють визначити час їх безпечної експлуатації за умови мінімізації експлуатаційних витрат у проекті ремонту мостів.

У другому розділі дисертації наведені основні теоретичні положення та аналітичні залежності з прогнозування деградації елементів мостів.

Детально розглянуто модель деградації елементів моста як марковський дискретний процес з безперервним часом. Основою моделі деградації є класифікаційні таблиці визначення експлуатаційного стану елемента. Розглядається процес з 5-ма якісними станами. Модель життєвого циклу елементу моста описується Пуассонівським процесом з дискретними станами та безперервним часом як частковий випадок марковського процесу. Це надає змогу описати процес як функцію від часу існування системи та, за умови заданої як константа інтенсивності відмов, установити зв'язок між надійністю елемента в i-му стані та часом від початку експлуатації елемента до відповідного стану. Модель деградації не враховує матеріал елементів, схему навантаження, технологічні фактори тощо. Ці фактори враховуються за допомогою класифікаційних таблиць під час визначення рівня пошкодження елемента за фізичними і механічними ознаками деградації.

Теоретичний критерій граничного зносу прогонових будов автодорожніх мостів, що розглядається у п. 2.2, має достатню збіжність з нормативними вимогами на рівні 4-го експлуатаційного стану. Для мостів, що перебувають у п'ятому (непрацездатному) стані, запропонований кількісний критерій, який дозволяє на основі результатів оцінювання експлуатаційного стану, які накопичені в базі даних АЕСУМ, визначити доцільність капітального ремонту або реконструкції моста замість його закриття і заміни новим. Встановлені інтервали значень критерію доцільності, що визначають вид відновлювальних заходів: виконання капітального ремонту (реконструкції) моста або заміни.

У третьому розділі дисертації сформульовано принципи обґрунтування параметрів відновлення технічного стану мостів; запропонована система визначення пріоритетів мостів на мережі автомобільних доріг, в якій пріоритет моста у часі є функцією, що залежить від інтенсивності руху та технічного стану мостів; запропоновано безрозмірний показник рівня деградації елементів мостів, що зв'язаний з характеристикою безпеки елементів мостів β (табл. 5.1 ДСТУ-Н Б.В.2.3-23); обґрунтовані рекурентні спiввiдношення для розрахунку рівня деградації по роках життєвого циклу, які ставлять у відповідність рівню деградації процеси деградації елементів і процеси відновлення технічного стану мостів.

Прогнозування зміни рейтингу моста зведено до прогнозування зміни рівня деградації найбільш слабкого визначального елемента. Сформульовано математичну модель оптимізації експлуатаційного стану мостів на мережі автомобільних доріг в умовах обмеженого фінансування як задачу математичного програмування. В якості цільових функцій прийняті: середньозважений по роках прогнозного періоду рівень деградації мостів при бюджетних обмеженнях і штрафна функція вартості ремонтів мостів. При одночасному використанні двох критеріїв будується фронт Парето-оптимальних рішень.

Чисельні експерименти виконані за допомогою розробленої в АЕСУМ автором дисертаційної роботи комп'ютерної програми, основу якої становить генетичний алгоритм, що реалізує запропонований механізм обґрунтування стратегії ремонтів мостів. За результатами чисельного моделювання обґрунтовано раціональні параметри моделювання.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробленню комп'ютерної реалізації механізму обґрунтування стратегії ремонтів та методики з обґрунтування стратегії ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів.

Автором розроблено інфологічну модель АЕСУМ, яка містить у собі підсистему обґрунтування стратегії відновлення технічного стану мостів, що реалізує механізм оптимізації стратегії ремонтів. Розроблено інтерфейс керування процесом пошуку рішень та аналізу отриманих результатів. За допомогою запропонованої в дисертації програмної підсистеми на основі реальних даних з АЕСУМ обґрунтовано порядок реалізації експлуатаційних заходів і структури витрат на експлуатаційні заходи. Удосконалено методику визначення питомих витрат на проведення ремонтних робіт мостів за об'ємами, які розраховуються з урахуванням наявних дефектів та розрахунку вартості робіт. Наведено економічну ефективність від оптимізації стратегії ремонтів мостів, яка становить 15-25 % від стратегії відкладеного ремонту, яку автор формулює як «найгірші – перші».

У **Додатках** наведено результати розрахунку стратегії ремонтів та підтримуючих заходів Вінницького району Вінницької області; прогноз питомої вартості ремонтів по мостах Сумської області на 2019 рік та документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Автореферат ідентично відображає основний зміст і основні положення дисертаційної роботи, оформлені відповідно до вимог п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (у редакції від 06.09.2016 р.).

Загальні зауваження по змісту та суті дисертаційної роботи.

1. У першому розділі бажано було приділити увагу моделям фізико-хімічних процесів деградації елементів мостів. Існують моделі оцінки ресурсу елементів мостів на стадії проектування у вигляді функції Пуассона розподілу $P(t)$, які опосередковано через коефіцієнти враховують водоцементне відношення бетону, тип армування, тип статичної схеми елемента тощо. Означені фактори впливають на швидкість деградації елементів моста.

2. Бажано було б ширше розкрити модель оцінки надійності мостів в цілому, наприклад, з використанням робіт А. Естеса і Д. Франгопола, на які у дисертації є посилання.

3. У п. 2.1 другого розділу постулюється, що швидкість деградації описується одним параметром λ – показником інтенсивності відмов, що є постійним у часі. Згідно з таким припущенням швидкість деградації (інтенсивність відмов) є також постійною у часі, що суперечить загальноприйнятим уявленням теорії надійності, оскільки у загальному випадку інтенсивність відмов є випадковою функцією часу.

Для випадку складних технічних систем, якою є міст, слід було пояснити термін «відмова», що надає змогу прийняти таке припущення.

4. У матричної моделі випадкового процесу, що описана рівнянням Колмогорова-Чепмена (формула 2.4) $d\mathbf{P}(i,t) / dt = \mathbf{P}(i,t) \cdot \mathbf{E}$ не наведено пояснення позначення \mathbf{E} .

5. У п. 2.3 другого розділу потребує пояснення оцінка критерію доцільності K_E виконання капітального ремонту моста за формулою 2.22, яка пов’язує критерій доцільності з рейтингом споруди E та інтенсивністю відмов λ . Рейтинг E визначається (2.23) як середньозважене значення експлуатаційного стану груп конструктивних елементів споруди (ДСТУ-Н Б.В.2.3-23). Сумнівно, що для всіх 7 груп (або 6 у випадку шляхопроводів) елементів інтенсивність відмов λ є однаковою.

6. Автором пропонується поділ мостів на групи за критерієм доцільності (табл. 2.8). Слід пояснити, як отримані граничні значення критерію доцільності для кожного експлуатаційного стану та чим вони відрізняються від значень, запропонованих у дослідженнях інших авторів?

7. Не можна погодитись з підходом автора щодо незмінності впливу різних видів ремонтів на зменшення рівня деградації, який фактично прийнятий незалежним від тривалості експлуатації споруди (табл. 3.11). Це суперечить задекларованій в п. 3.1 тезі про необхідність уточнення цільових рівнів надійності для існуючих споруд щодо залишкового терміну експлуатації, наслідків відмов та витрат на заходи безпеки, зазначеної в роботах Д. Франгопола, М. Холіцкі, Я. Маркової, на які в дисертації є посилання.

8. Таблиця 3.10 пов'язує експлуатаційний стан з рівнем деградації елементів моста, надійністю, характеристикою безпеки, рейтингом. Необхідно пояснити, за якою методикою визначено граничні значення рівня деградації для експлуатаційних станів моста та як вони обчислювалися, оскільки у тексті дисертації розрахунок не наведений.

9. У роботі дуже схематично наведено оцінку економічної ефективності реалізації запропонованої стратегії ремонтів мостів. Необхідно пояснити, яким чином забезпечується економічна ефективність стратегії ремонтів та як отримано значення 15-20 %?

10. Відзначимо, що за текстом дисертації дуже часто зустрічаються рисунки, що «адаптовані автором». Слід бути дуже обережним при «адаптації» ілюстративного матеріалу до задач, що вирішуються у дисертації. Так, наприклад, адаптація зв'язку індексу стану покриття *PCI* (Pavement Condition Index) з терміном служби автомобільної дороги (рис. 3.2), що запропонований Радовським Б.С. для обґрунтування стратегії превентивного обслуговування, призводить до некоректності графіку, оскільки не має відношення до ілюстрації можливих видів ремонтних робіт.

За текстом дисертації також зустрічаються орфографічні помилки та деякі стилістичні недоліки.

11. В авторефераті допущено помилку у таблиці 2 (колонка «Надійність за першою групою граничних станів...») - переплутані знаки нерівностей. Потрібно «≥» замість «≤» та «>» замість «<». У таблиці 3.10 тексту дисертації аналогічна інформація подана правильно.

Заключний висновок

Відзначенні зауваження не є визначальними та не зменшують наукову та практичну цінність дисертаційної роботи, що подана до захисту.

1. Тема дисертаційного дослідження, основні теоретичні та експериментальні положення, що виносяться до захисту, дозволяють зробити висновок про відповідність дисертаційної роботи Боднар Л.П. паспорту спеціальності 05.22.11 – «автомобільні шляхи та аеродроми», зокрема, п. 10 напрямків досліджень «Теорія і методи проектування штучних споруд на автомобільних шляхах».

2. Дисертаційна робота Боднар Л.П. є завершеною науковою працею, виконаною автором самостійно, містить нові значущі для науки та практики науково-обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують важливу науково-практичну задачу – удосконалення проектування ремонтів при експлуатації автодорожніх мостів.

3. Матеріал, що наведений в дисертації, за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, об'ємом і глибиною експериментальних та теоретичних досліджень задовільняє вимогам п.п 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» № 567 від 24 липня 2013 р. (у редакції від 06.09.2016 р.).

4. Основні результати дисертації викладені в опублікованих наукових працях автора, пройшли апробацію та практичну перевірку.

На підставі вищевикладеного вважаю, що автор дисертації Боднар Лариса Петрівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – «Автомобільні шляхи та аеродроми».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри проектування доріг,
геодезії і землеустрою Харківського
національного автомобільно-дорожнього
університету, д-р техн. наук, професор

А.Г. Батракова

