

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.012.45:620.17

Й. Й. ЛУЧКО

Кафедра будівельних конструкцій, Львівський національний університет природокористування, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Україна, 80381, тел. +38 (097) 033 18 36, ел. пошта lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ НА ЗАСАДАХ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Мета. Метою роботи є на підставі досвіду обстежень і випробувань та аналізу і синтезу науково-технічних джерел, встановити реальний технічний стан залізобетонних і сталезалізобетонних мостів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було виконано огляд і синтез науково-технічних джерел і нормативних документів, щодо технічного стану залізобетонних і сталезалізобетонних мостів і шляхопроводів України. Показано, що розробки і впровадження нових технологій ремонту існуючих дефектних конструкцій мостів, зокрема на автомобільних дорогах України є дуже актуальною проблемою. Проведено ґрунтовний аналіз досвіду і публікацій з експлуатації новозбудованих і тривалої експлуатації зазначених мостів у згаданих середовищах. Наведено дані про основні недопустимі дефекти і недоліки конструкцій мостів та причини, які їх породжують, зокрема корозію бетону і арматури, та інші дефекти і недоліки. Також розглянуто якісні показники залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій мостів, сформульовано проблеми та аналіз забезпечення надійності та довговічності в умовах експлуатації на автомобільних дорогах України. **Результати.** Виконано аналіз вітчизняних та закордонних науково-технічних джерел та досвіду обстежень і випробувань, щодо технічного стану конструкцій залізобетонних мостів України. Зокрема, проведено аналіз і синтез проблем забезпечення надійності та довговічності вказаних мостів в умовах експлуатації на автомобільних дорогах України. Узагальнено та уточнено помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки тривалої експлуатації у згаданих середовищах. Також одержані дані послужили основою для уточнення критеріїв і моделей механіки руйнування, стосовно залізобетонних конструкцій мостів. Зокрема, на підставі одержаних даних, створені методики для визначення НДС та залишкового ресурсу вказаних мостів. **Наукова новизна.** У даній роботі, на підставі аналізу і синтезу науково-технічних джерел та низки обстежень і випробувань, новозбудованих після повеней у 1998 і 2001 рр., залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій та тривалої експлуатації мостів, вдалось узагальнити основні причини, які суттєво впливають на деградацію конструкцій, як на новозбудованих так і тривалої експлуатації. Це дало можливість узагальнити помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки тривалої експлуатації. Також державні дані послужили основою для уточнення критеріїв і моделей механіки руйнування стосовно залізобетонних конструкцій мостів. Зокрема на підставі цих даних, створені методики для визначення оцінки міцності і тріщиностійкості і НДС та залишкового ресурсу таких мостів. **Практична значимість.** На підставі наведених даних і спостереженнями за реальними об'єктами протягом 30 років, узагальнено і встановлено основні помилки дефекти і недоліки проектування, будівництва та тривалої експлуатації мостів. Створені методики для визначення НДС та розрахунку залишкового ресурсу, які дали можливість відпрацювати методику ремонтно-відновлюваних робіт з підвищення довговічності і надійності мостів тривалої експлуатації.

Ключові слова: мости, залізобетон, сталезалізобетон, шляхопроводи, руйнування, технології, матеріали

Вступ

Залізобетонні мостові конструкції, які працюють тривалий експлуатаційний термін, потребують дослідження і перегляду, технічного стану та при необхідності ремонтно-відновлювальних робіт з міцності, тріщиностійкості і встановлення залишкового ресурсу, і за певних умов обслуговування подальшої експлуатації. Сьогодні потребують уточнення і розвитку методи оцінки тріщиностійкості і ви-

значення залишкового ресурсу відповідальних елементів мостів та інженерних споруд, що відпрацювали проектний ресурс роботи. В результаті тривалої експлуатації у агресивному, повітряному, водному і ґрунтовому середовищах, які постійно змінюються, у елементах конструкцій накопичилися різні дефекти, відбулися деструктивні зміни бетону і арматури і ін. З метою вивчення умов роботи залізобетонних конструкцій мостів, впливу на них вказаних факторів періодично обстежують (дослі-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

джують) і при необхідності виконують постійний моніторинг на відповідальних спорудах. Тому питання, технічної діагностики, розробкою сучасних методів відновлення міцності, тріщиностійкості і визначення залишкового ресурсу і створення засобів відновлення елементів конструкцій мостів є дуже актуальними.

Мета

Метою роботи є на підставі досвіду натурних обстежень і випробувань, та аналізу і синтезу науково-технічних джерел, які присвячені дослідженням міцності, тріщиностійкості, і оцінці залишкового ресурсу конструкцій залізобетонних і сталезалізобетонних мостів та встановити їх реальний технічний стан.

Методика та основні результати досліджень

Розглянемо роботи в яких досліджується міцність та тріщиностійкість залізобетонних конструкцій з позицій механіки руйнування. Аналіз таких робіт до 1994 року наведено у роботі (Лучко, 1995). На даний час отримано значний поступ у методах та нових моделях оцінки міцності і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування, тому є необхідність виконати науковий аналіз робіт за період з 1995 року і по даний час. У роботі (Лучко, 1995) представлено скрупульозний аналіз і синтез науково-технічних джерел (39 джерел) з даних питань за період з 1950 по 1994 роки. Зокрема, описані основні розрахункові моделі залізобетонних елементів конструкцій з тріщинами в умовах поперечного згину. Аналіз цих моделей вказує на проблеми у механіці залізобетону пов'язані із моделюванням зчеплення арматури з бетоном, зокрема величиною та характером розподілу дотичних напружень на контакті арматури з бетоном. Причина в тому, що наведені моделі та розв'язки будувались на напівемпіричній або чисто емпіричній (СНиП 2.03.01-84*) основі, і всі переважно згадані моделі мають загальний недолік – не враховують фізичних чинників напружено-деформованого стану залізобетонних балкових конструкцій. Перші роботи з усунення цього недоліку розпочаті ще у 1973р., зокрема Ю. В. Зайцев, Є. М. Пересипкін, Л. П. Трапезніков, Б. Г. Белов і П. І. Василів і інші започаткували для розв'язку задач оцінки тріщиностійкості і НДС залізобетонних балкових констру-

кцій застосування засад пружно-пластичної механіки руйнування залізобетону. Зокрема, К. М. Русинком і С. І. Артиковою розв'язано задачу визначення напруженого стану в балці на початку її руйнування. Сучасні дослідження науковців показали, що досягти єдиної методологічної оцінки тріщиностійкості залізобетонних конструкцій, можна використовуючи підходи і методи механіки руйнування.

Розглянуто спочатку основні теоретичні дослідження створення методик і моделей оцінки тріщиностійкості і міцності залізобетонних балкових конструкцій (мостових) на засадах механіки руйнування та механіки залізобетону, які наведені у роботах (Андрейків, Лучко, & Гембара, 1992; Лучко, 2001; Лучко, 1999; Лучко, Лазар, & Чубріков, 2001; Лучко, & Лазар, 2002).

Зокрема, в роботі (Андрейків, Лучко, & Гембара, 1992) створено метод розрахунку залізобетонних елементів із тріщинами, який ґрунтується на моделі, складеній із блоків, що розділені тріщинами і зв'язані між собою системою арматури. Ця методика поєднує модель залізобетону, яка доповнена основними положеннями механіки руйнування та умовами зчеплення арматури з бетоном. Наведено також існуючу модель згину залізобетонної балки з тріщиною, де балку розглядають як смугу із системою клинів у розрізах модель яка враховує функціональний контакт берегів тріщини. Наведено недоліки цих всіх моделей. У даній роботі запропонована розрахункова схема залізобетонної плити та одержано розв'язок задачі визначення КІН методом суперпозиції. В результаті отриманого методу розрахунку залізобетонних балок яка усуває згадані недоліки. На підставі такого підходу одержано результати стримуючого впливу арматурних стержнів на розвиток тріщин. Наведено також просторовий розв'язок задачі обчислення зусиль в арматурі та чисельний аналіз приклад розв'язку задачі. А в роботі (Лучко, 2001), створена на базі сформульованої узагальненої моделі базовий метод розрахунку довговічності залізобетонних балкових конструкцій на засадах механіки руйнування. Зокрема сформульована постановка задачі та модель руйнування залізобетонних елементів з тріщинами із врахуванням повзучості. Наведено розрахункову схему визначення напружено-деформованого стану залізобетонної плити в

околі тріщини схема залізобетонного елемента з тріщиною, армованого круглими стержнями. Отримано розрахункові залежності розкриття у вершині тріщини та довжини тріщини під довготривалим навантаженням, наведено приклад розрахунку на підставі якого виконано графіки розкриття вершини тріщини для різних класів бетонів під час конструкційного періоду і ріст тріщини після інкубаційного періоду. Одержано значення розкриття тріщини на розтягнутій поверхні залізобетонного балкового елемента під короткочасним та довготривалим навантаженням. Зокрема отримано формули для устя тріщини та розкриття тріщин періодичної системи тріщин і сформульовані відповідні висновки.

Також, у роботі (Лучко, 1999) в якій на підставі залежностей визначення напружень від повзучості і усадки та параметра тріщиноутворення в часі, тобто $M_{crc} = M_{crc}(t)$, побудовано методику визначення залишкової довговічності бетонних і залізобетонних елементів конструкцій. Одержано залежність для визначення навантажень тріщиноутворення $M_{crc}(t_c)$ та значень для N та Q . Також отримано значення t_c яке відповідає часу тріщиноутворення повзучості і усадки бетону з моменту прикладання постійного навантаження, тобто час залишкової довговічності. На підставі цих залежностей проведено аналіз розрахункових залежностей визначення залишкової довговічності за критерієм тріщиностійкості, від корозійного руйнування та порівняння з традиційними інженерними розрахунками за нормативними документами. А у роботі (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2001) виконано моделювання напружень у перерізі з тріщиною при згині і позацентровому стиску. Зокрема наведена загальна схема зусиль, що діють на відрізану по перерізу з тріщиною частину двотаврового залізобетонного елемента з армуванням у стиснутій і розтягнутій зонах з ненапруженою і напруженою арматурою. Одержано всі розрахункові параметри для оцінки міцності, тріщиностійкості і деформативності. Представлена також розрахункова схема зусиль при позацентровому стиску, що діють у перерізах з фіктивною тріщиною та отримано формули для визначення напружено-деформованого стану. Виконано розрахунок залізобетонних елементів на міцність та тріщиностійкість, а також оцінку міцності залізобетонних елементів.

Представлена також експериментальна перевірка деяких результатів і висновків.

У роботі (Лучко, & Лазар, 2002), розглянуто і виконано моделювання напружень у перерізі з тріщиною за наявності арматури. Зростання тріщин визначено за критерієм міцності механіки руйнування K_{1c} та напружень у перерізі. Отримано формули для визначення напружень у перерізі з тріщиною за наявності арматури і напружень у вершині тріщини та в стиснутих волокнах. Зокрема виділено частини стадії зміни розподілу напружень, які зображені на рисунку. Для цих стадій напружень отримано відповідні умови та розрахункові рівняння і формули. Виконано експериментальну перевірку на дослідних балках прямокутного перерізу та армування у стиснутій і розтягнутій зонах. Також наведено графіки залежності дослідних напружень в арматурі залежно від розкриття тріщин за різних коефіцієнтів армування та порівняння дослідних і розрахункових деформацій та порівняння моментів утворення тріщин за різними методиками.

У роботах (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2000; Лучко, & Панько, 2002; Кархут, & Лучко, 2003; Лучко, 2021) наведено аналіз результатів дослідження впливу розкриття тріщин, деформаційної тріщиностійкості високоміцних бетонів, різних добавок і факторів середовища, які визначають довговічність і деградацію мостових залізобетонних конструкцій.

Зокрема у роботі (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2000), розглянуто можливість визначення довговічності бетону в залежності від характеру розкриття тріщин при довготривалій дії навантажень. Зокрема, для нормального відриву записана нерівність $\delta_1(t) \leq \delta_{1c}(t)$ та наведено значення для пружного критичного розкриття δ_{1c}^r в яке входять значення K_{1c} , ν , $f_{ctкприм}$, E_{cv} , де K_{1c} – критичний коефіцієнт рівний $K_{1c} = \sigma\sqrt{2\pi r}$. Також представлено результати для експериментальних бетонів з врахуванням повзучості і усадки при визначенні $\delta_{1c}(t, \tau)$.

У роботі (Лучко, & Панько, 2002), у якій приведена методика визначення деформаційної тріщиностійкості високоміцних бетонів у мостових конструкціях при різних умовах навантаження.

У роботі (Кархут, & Лучко, 2003), сформульовано мету досліджень, яка полягає: у підборі оптимального складу бетону; дослідженні кіль-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

кості добавки на зменшення водоцементного відношення; встановленні оптимальної дози Stachement F⁺ для різних цементів; встановленні цементів, які найбільш ефективно взаємодіють з добавкою; розробці рекомендацій для застосування комплексної добавки. Результати досліджень наведені у п'яти таблицях та зроблено аналіз результатів. Також наведено відповідні висновки за результатами досліджень.

У роботі (Лучко, 2021), які на основі аналізу науково-дослідних даних показано, що фактори повітряного середовища чи ґрунтового і водного значно впливають на деградацію залізобетонних конструкцій мостів і шляхопроводів. Зокрема, досліджено такі фактори: не стійкість бетону до навколишнього середовища; карбонізація бетону; корозія арматури і ін.. Сформульовані висновки, в яких вказано, що наведені фактори значно впливають на технічний ресурс таких споруд, зокрема на появу дефектів і пошкоджень.

Застосування методу акустичної емісії при дослідженні залізобетонних сталезалізобетонних мостових конструкцій, аналіз статичних і динамічних випробувань, проблеми діагностики та регенерації, забезпечення довговічності мостів зі струнбетонними прогоновими будовами та аналіз динамічних характеристик представлено у роботах (Коваль, Лучко, & Сташук, 2001; Коваль, Фаль, & Лучко, 2002; Коваль, & Лучко 1999; Маркович, Стадник, & Заєць, 2001; Коваль, Лучко, & Фаль, 2003; Коваль, Філоненко, Сташук, & Корнієнко, 2008). Зокрема, у роботі (Коваль, Лучко, & Сташук, 2001) показано, що оцінку тріщиностійкості бетонів мостових конструкцій та супроводжувати всі процеси при статичних та динамічних навантаження, можна ефективно застосовувати метод акустичної емісії. Виконано експериментальні дослідження на кубах, призмах, на стиск, на бетонних балочках при чотири точковому згині та на армованих балках довжиною 1000 мм з перерізом 70×100 мм. Виконано аналіз експериментальних досліджень, сформульовано висновки які дають можливість визначити НДС бетонів який узгоджується з результатами ультразвукового методу.

У роботі (Коваль, Фаль, & Лучко, 2002), в якій наведені результати статичних і динамічних випробувань сталезалізобетонних автодорожніх мостів. Аналіз натурних випробувань

сталезалізобетонних прогонів показало ефективність роботи таких прогонових будов і відповідність реальних характеристик прогонів нормативним величинам.

У роботі (Коваль, & Лучко, 1999), в якій наведено низку прикладів залізобетонних мостів з тріщинами та тріщино подібними дефектами, які були закладені при помилках проєктування, дефектами та недоліками будівництва та недоліками тривалої експлуатації. Зазначено, що для дослідження залізобетонних мостів доцільно застосовувати методи теорії тріщин та при обстеженні метод акустичної емісії. Також відзначено що немає достатньої нормативної бази для регенерації мостів. Звернуто увагу на основні завдання, зокрема створення і впровадження сучасних методів дослідження та розробку теоретично-розрахункових методик оцінки стану мостів.

У роботі (Маркович, Стадник, & Заєць, 2001), сформульовано та узагальнено загальний технічний стан залізобетонних мостів. Вказано, що на 2,5 км припадає в середньому один міст. Вказано що загальна характеристика не дає уяви про якісний стан споруд і необхідно мати об'єктивний їх сучасний стан. Відзначено що особливо важливим є комплексний підхід до вирішення містобудівельних проблем.

У роботі (Коваль, Лучко, & Фаль, 2003), представлено формулювання проблеми та її аналіз, щодо експлуатаційних якостей, зокрема найважливішою характеристикою споруди є її довговічність. Сформульована мета досліджень довговічності таких залізобетонних мостів. Зокрема, було досліджено низку таких мостів у місті Турці Львівської області. Представлено також низку рисунків, які засвідчують деградацію матеріалів таких мостів та наявність значної кількості дефектів і пошкоджень на протязі сорока років експлуатації. Досвід показав, що експлуатація таких мостів з попередньо напруженою арматурою не задовольняють вимоги довговічності.

У роботі (Коваль, Філоненко, Сташук, & Корнієнко, 2008), розглянуті результати випробування конструкції моста з використанням стандартного виду динамічної дії – руху автомобіля з різними швидкостями. Виконано аналіз сигналів, які реєструють прискорення коливань, а також їх спектрів. Показано, що параметри коливань поймовеого і руслового прогонів

відрізняються між собою. При цьому, визначено що значні відхилення від результатів теоретичних розрахунків як по резонансній частоті коливань так і по динамічному коефіцієнті, фіксуються для руслового прогону мостової конструкції.

У роботах (Лучко, Лантух-Лященко, & Коваль, 2000; Лантух-Лященко, & Назаренко, 2000; Назаренко, Буракас, & Гах, 2000; Голубятников, & Лантух-Лященко, 2002; Лантух-Лященко, 2000; Лантух-Лященко, 2007) наведено аналіз результатів досліджень і оцінки технічного і експлуатаційного станів мостів, проблеми їх надійності і довговічності, державні будівельні норми з оцінки технічного стану та прогнозування їх залишкового ресурсу.

Зокрема у роботі (Лучко, Лантух-Лященко, & Коваль, 2000), в якій відзначено актуальність досліджень. Сформульована проблема підвищення надійності автодорожніх мостів та наведено показники стану автодорожніх мостів на Україні. Показано основні засади запропонованої системи експлуатації мостів. Представлено пропозиції щодо проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів та наведено оцінку методів з розрахунку міцності мостів за нормативними документами. А у роботі (Лантух-Лященко, & Назаренко, 2000), в якій оцінка технічного стану є випадковою функцією часу t , з'являється можливість прогнозувати час перебування конструкції в даному стані та розв'язати задачу оптимізації витрат на ремонт і реконструкцію. Також у роботі (Назаренко, Буракас, & Гах, 2000), які на основі великої кількості результатів натурних обстежень автодорожніх мостів пропонується розвинути існуючу систему експлуатаційної оцінки транспортних споруд для прогнозування аварійного стану елементів конструкцій у наслідок їх фізичного зносу.

Зокрема, у роботі (Голубятников, & Лантух-Лященко, 2002), в якій проаналізовано технічний стан мостів, які знаходяться у відомстві адміністрації міст і населених пунктів. Внесена пропозиція про створення державної системи експлуатації мостами. А у роботі (Лантух-Лященко, 2000), в якій відзначено проблему надійності автодорожніх мостів та застарілу інформаційну базу оцінки їх технічного стану. Наведено склад проекту норм, в яких відзначено створення методик надійності, несучої здат-

ності та методу фізичного зносу мостів. Також відзначено шість груп конструктивних елементів за якими необхідно визначати дискретні стани мостів та виконання кількісної оцінки МДС елементів. Зокрема, у роботі (Лантух-Лященко, 2007), звернуто увагу на проблему прогнозування технічного стану мосту. Сформульована модель нормативного документу. Описано також алгоритм і графічно показана надійність елементів у дискретних станах. У висновках відзначено, що запропонована модель накопичення пошкоджень дасть більш реальне прогнозування залишкового ресурсу у тих випадках коли у встановлені терміни дослідження виявлено різке погіршення технічного стану елементів споруди.

Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних мостів та збірно-монолітних прогонових будов, аналіз оцінки ресурсу та оптимальних термінів ремонту мостів розглянуто у роботах (Гнідець, 1999; Гнідець, 2002; Панасюк, Лучко, & Коваль, 2002; Дехтяр, 2001). Зокрема, у роботі (Гнідець, 1999), в якій наведено регулювання зусиль різними способами. Також розглянуто переваги попереднього напруження зовнішніми пучками поперечні перерізи мостів. Запропоновано різні конструкторсько-технологічні системи у будівництві середніх і великих залізобетонних мостів і шляхопроводів. А в роботі (Гнідець, 2002) наведено схему поділу нерозрізних прогонових будов мостів і шляхопроводів на збірні елементи. Показано також поперечні перерізи збірно-монолітних конструкцій мостів. Відзначено універсальність конструкторсько-технологічних вирішень для багатопрогонових мостів і шляхопроводів.

Також у роботі (Панасюк, Лучко, & Коваль, 2002), розглянуто мостові конструкції, які під час експлуатації проходять три важливих етапи, це період напрацювання, другий нормативний термін служби і третій період – аварійного стану. Показано на численних прикладах. Що на першому і частково другому періодах ймовірність безвідмовної роботи зберігається визначеними нормативними документами. Якщо рівень надійності роботи окремих елементів знижується у два рази то стан вважають аварійним, наголошено, що і на стадії проектування і стадії експлуатації потрібно враховувати фактичний стан несучих конструкцій. Наведено низку реа-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

льних ситуацій де встановлено недоліки як новозбудованих так і тривалої експлуатації. На підставі виконаних досліджень авторами встановлені основні помилки і недоліки мостів – це недопустимі за розкриттям тріщини, порушено встановлені проектом зазори між несучими балками, великий розкид міцності в бетону в різні дні бетонування, корозія бетону і арматури тощо. На основі досліджень також сформульовані основні помилки на стадії проектування та дефекти і недоліки при будівництві та недоліки при експлуатації мостів. Зокрема, у роботі (Дехтяр, 2001) показано що найважливішими складовими процесу експлуатації мостів необхідно створити математичну модель яка має врахувати низку факторів. Як перше наближення запропоновано модель, яка представлена на рисунку в даній роботі.

У роботах (Снитко, 2007; Лучко, & Панько, 2002; Коваль, Походенко, Лучко, & Фаль, 2003; Сташук, Лучко, & Борбуляк, 2002; Лучко, Кархут, & Кравець, 2021; Походенко, Коваль, Лучко, & Фаль, 2000) представлено розрахунок сталезалізобетонних мостів та визначення їх залишкового ресурсу з врахуванням повзучості і усадки бетону запроєктованого та збудованого моста на місці зруйнованих повенями, його випробування, аналіз зародження і розрахунок міцності зварних з'єднань, дослідження мостів збудованих після повені 1998 і 2001 рр., проектування плит проїзної частини сталезалізобетонних мостів, зокрема у роботі (Снитко, 2007), наведено розрахунок сталезалізобетонних перерізів мостів з урахуванням впливу повзучості і усадки бетону. Представлено результати дослідження роботи сталезалізобетонного розрізного моста прогоном 42 м. У роботі (Лучко, & Панько, 2002) описана створена методика розрахунку і довговічності металевій рамної конструкції, яка працює з тріщиною та з позиції механіки руйнувань. А у роботі (Коваль, Походенко, Лучко, & Фаль, 2003) описано габарити мосту до повені 2001 р., внаслідок переливу води річки Тиса через автомобільну дорогу і долина Старої ріки були заповнені водами. Було зруйноване земляне полотно а також збудована частина мосту, що показано на рисунку 1 та 2. Було обстежено та виконані статичні випробування незруйнованої верхньої частини мосту та аналіз результатів випробувань. Наведено опис відбудованого моста та його статичні

і динамічні випробування. результати випробувань та їх аналіз показав, що міст придатний до експлуатації під тимчасове навантаження, що відповідає класу А-11 і НК-80.

Також у роботі (Сташук, Лучко, & Борбуляк, 2002), у якій наведено розрахункові формули для розрахунку міцності зварних з'єднань металевих конструкцій мостів у найбільш небезпечних випадках з точки зору ініціювання крихкого руйнування. А в роботі (Лучко, Кархут, & Кравець, 2021), сформульовано мету та актуальність досліджень, наведено методику та результати досліджень. Встановлено наукову новизну і практичну значимість. При дослідженні відновлених залізобетонних мостів виявлено дефекти і помилки при будівництві, – це тріщини і тріщино подібні дефекти, занижена проектна міцність бетону, стикування мостових балок без зазорів і інші. При дослідженні шести сталобетонних мостів також були виявлені тріщини з розкриттям більше допустимих. У мостах і шляхопроводах тривалої експлуатації виявлено значні недоліки експлуатації, до згаданих можна додати ще карбонізацію бетону, значну корозію арматури та виявлено пустоти у тілі опор і балок. У висновках вказано на помилки, допущені при проектуванні, на основні дефекти будівництва мостів та основні недоліки експлуатації мостів. Показано, що на зниження ресурсу значно впливають ці помилки, дефекти і недоліки на надійність та ресурс таких споруд. Зокрема, у роботі (Походенко, Коваль, Лучко, & Фаль, 2000) наведено проектування та влаштування плит проїзної частини шести сталезалізобетонних мостів у Кобелецькій і Косівській полянах в Закарпатській області. Зокрема, було виконано прив'язку прогонових будов для прогонів 11 і 11,8 та 23,6 метрів. Всі мости у гірських умовах перетинали потоки з косою 60° і менше, поперечні перерізи наведені на рисунку 1. Показано також армування та влаштування плити на автодорозі В. Бичків, Кобелецька Поляна. При бетонуванні плити використовували пошарове бетонування – нижнього шару нормальним бетоном, а верхню частину виконували бетоном значно міцнішим на стиск. Досвід влаштування показав доцільність виготовлення плити сумісно із січним трикутником, що покращило технологію виконання робіт, а система вакуумування значно підвищила характеристики бетону.

Отже, підсумовуючи результати аналізу наведених праць у даній роботі потрібно відзначити, що багато із наведених даних стали основою для узагальнення теоретичних і експериментальних даних вперше на українській мові довідників по розрахунку і експлуатації мостів (Лучко, Сулим, & Кир'ян, 2004; Лучко, Коваль, & Корнієв, 2005).

Наукова новизна і практична значимість

У даній роботі на підставі аналізу і синтезу науково-технічних джерел та низки обстежень і випробувань, новозбудованих після повеней у 1998 і 2001 рр., залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій та тривалої експлуатації мостів, вдалось узагальнити основні причини, які суттєво впливають на деградацію конструкцій, як на новозбудованих так і тривалої експлуатації. Це дало можливість узагальнити помилки проєктування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки тривалої експлуатації. Також державні дані послужили основою для уточнення критеріїв і моделей механіки руйнування стосовно залізобетонних конструкцій мостів. Зокрема на підставі цих даних, створені методики для визначення оцінки міцності і тріщиностійкості і НДС та залишкового ресурсу таких мостів.

На підставі наведених даних і спостереженнями за реальними об'єктами протягом 30 років, узагальнено і встановлено основні помилки дефекти і недоліки проєктування, будівництва та тривалої експлуатації мостів. Створені методики для визначення НДС та розрахунку залишкового ресурсу, які дали можливість відпрацювати методику ремонтно-відновлюваних робіт з підвищення довговічності і надійності мостів тривалої експлуатації. Зокрема, створена і відпрацьована на реальних об'єктах оцінки міцності і тріщиностійкості та визначення залишкового ресурсу, яка включає використання сучасних матеріалів і технологій при ремонтно-відповідальних роботах, і дає можливість впливати на довговічність і надійність таких споруд.

Висновки

На підставі досліджень і випробувань мостів та аналізу і синтезу науково-технічних джерел можна сформулювати такі висновки:

1. Створено метод визначення коефіцієнта інтенсивності напружень залізобетонних елементів з тріщинами при згині. Ця методика по-

єднує модель залізобетону, яка доповнена основними положеннями механіки руйнування та умовами зчеплення арматури з бетоном. Запропонована розрахункова схема залізобетонної плити та одержано розв'язки задачі визначення КІН методом суперпозиції, на підставі такого підходу одержано дані стримуючого впливу арматурних стержнів на розвиток тріщин. Представлено також просторовий розв'язок задачі визначення зусиль в арматурі та чисельний аналіз на прикладі розв'язку задачі.

2. На підставі теоретичних досліджень (Снитко, 2007) сталезалізобетонних мостів з урахуванням впливу повзучості і усадки бетону виконано розрахунок міцності перерізів таких мостів. Представлено приклад дослідження роботи сталезалізобетонного розрізного автодорожнього моста прогоном у 42 км. А у роботі (Лучко, 1999) побудовано методику залишкової довговічності бетонних і залізобетонних елементів, зокрема $M_{emc} = M_{cmc}$ (т). На підставі одержаних залежностей виконано визначення залишкової довговічності за критерієм тріщиностійкості механіки руйнування та від корозійного руйнування.

3. На підставі експериментально-теоретичних досліджень виконано моделювання напружень у перерізі з тріщиною при згині і позацентровому списку (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2001). Зокрема, створена загальна розрахункова схема зусиль, що діють на відрізану частину двотаврового залізобетонного елемента з армуванням у стиснутій і розтягнутій зонах з напруженою і ненапруженою арматурою. Одержано всі розрахункові параметри для оцінки міцності, тріщиностійкості і деформацій. Представлена також розрахункова схема зусиль при позацентровому списку, що діють у перерізах з фіктивною тріщиною та отримано формули для визначення НДС та виконано порівняння експериментальних і розрахункових даних.

4. На основі виконаних досліджень, які наведені у роботах (Гнідець, 2002; Лучко, 2001; Лучко, & Лазар, 2002; Дехтяр, 2001; Снитко, 2007) і сформульованої узагальненої моделі створено базовий метод розрахунку довговічності залізобетонних балкових конструкцій а засадах механіки руйнування. Зокрема, сформульовано постановка задачі та модель руйнування залізобетонних елементів (мостів) з тріщинами та з врахуванням повзучості. Отримано

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

розрахункові залежності розкриття у вершині тріщини та довжини тріщини на поверхні залізобетонного балкового елемента, зокрема одержано формули для устя тріщини та розкриття тріщини періодичної системи тріщин та в стиснутих волокнах під довготривалим навантаженням. Одержано значення розкриття тріщини на розтягнутій поверхні залізобетонного балкового елемента. А у (Лучко, & Лазар, 2002) сформульовано моделювання напружень у перерізі з тріщиною за наявності арматури і підростання тріщин визначено за критерієм механіки руйнування k_{Ic} . Одержано розрахункові формули для визначення напружень у перерізі з тріщиною, зокрема напружень у вершині тріщини та в арматурі та виконано експериментальну перевірку на дослідних балках. Також у роботі (Гнідець, 1999) розглянуто мостові конструкції, які під час експлуатації проходять три важливі етапи, це період напруцювання, другий нормативний термін служби і третій – аварійного строку. На першому частково і частково на другому періодах, ймовірність безвідомної роботи зберігається визначеними нормативними документами. На підставі досліджень авторами встановлені основні помилки і недоліки мостів, – це недопустимі за розкриттям тріщини, порушено встановлені проектом зазори між несучими балками, великий розкид міцності у бетоні в різні дні бетонування, корозія бетону і арматури тощо.

5. На підставі досліджень (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2000; Лучко, & Панько, 2002; Кархут, & Лучко, 2003; Лучко, 2021) встановлено визначення довговічності бетону (Лучко, Лазар, & Чубріков, 2000) від розкриття тріщин, деформаційної тріщиностійкості високоміцних бетонів у мостових залізобетонних конструкціях (Лучко, & Панько, 2002) при різних умовах навантаження. Також показано, що на міцність і довговічність таких конструкцій суттєво впливають добавки (Кархут, & Лучко, 2003), а у роботі (Лучко, 2021). Узагальнені основні фактори повітряного, водного і ґрунтового середовища, та показано їх вплив на залишковий технічний ресурс мостів, зокрема на появу дефектів і пошкоджень.

6. На основі досліджень і випробувань (Лучко, & Лазар, 2002; Кархут, & Лучко, 2003) збудованих залізобетонних і шести сталезалізобетонних мостів, які були зруйновані повеннями

а Україні у 1998 і 2001 роках та тривалої експлуатації узагальнено: основні помилки дефекти і пошкодження, зокрема це такі: помилки проектування, дефекти недоліки будівництва та недоліки експлуатації будівельних споруд, зокрема мостів. Для оцінки міцності і довговічності відповідальних металевих елементів мостів у роботі (Лучко, & Панько, 2002) створена і апробована методика розрахунку таких конструкцій з тріщинами та тріщиноподібними дефектами на засадах механіки руйнування. Визначення зародження тріщини (Сташук, Лучко, & Борбуляк, 2002) в околі зварних швів у конструкціях металевих мостів. Створено розрахункові формули для розрахунку міцності з'єднань.

7. На основі досліджень та випробувань (Коваль, Філоненко, Сташук, & Корнієнко, 2008) динамічних характеристик мостів встановлено, що значні відхилення від результатів теоретичних розрахунків, як по резонансній частоті коливань, так і по динамічному коефіцієнті, фіксуються для руслового прогону мостової конструкції. А в роботі (Коваль, Лучко, & Фаль, 2003) встановлено, що експлуатація мостів з попередньо-напруженою дротяною арматурою (було досліджено низку таких мостів) не задовільняють вимоги довговічності. На основі аналізу стану мостів у Закарпатській області (Коваль, Фаль, & Лучко, 2002) показано, що загальна характеристика стану мостів не дає уяви про якісний стан і вказано, що важливим є комплексний підхід до вирішення мостобудівних проблем.

8. На підставі досліджень (Коваль, Філоненко, Сташук, & Корнієнко, 2008; Лучко, Лантух-Лященко, & Коваль, 2000; Лантух-Лященко & Назаренко, 2000; Назаренко, Буракас & Гах, 2000; і ін.) показано, що оцінка технічного стану автодорожніх мостів є випадковою функцією часу, і дає можливість прогнозувати час перебування конструкції у даному стані, що дає можливість оптимізувати задачу (Коваль, Філоненко, Сташук, & Корнієнко, 2008). А у роботі (Лучко, Лантух-Лященко, & Коваль, 2000; Лантух-Лященко, & Назаренко, 2000), розглянуто можливість оцінки експлуатаційного стану на основі великої кількості результатів обстеження. Також розглянута проблема надійності і довговічності мостів у містах і населених пунктах України. Внесена пропозиція про ство-

рення державної системи експлуатації мостами. Зокрема, наведено пропозиції до проекту державних будівельних норм, відзначено також створення методик, надійності конструкцій мостів та сформульовано шість груп конструктивних елементів. А в роботі (Лучко, Лантух-Лященко, & Коваль, 2000) відзначено необхідність розробки нормативних документів та оцінка технічного стану (Лантух-Лященко, & Назаренко, 2000; Назаренко, Буракас & Гах, 2000; Голубятников, & Лантух-Лященко, 2002), з метою підвищення надійності та сформульовано, основні засади системи експлуатації мостів. Також у (Лантух-Лященко, 2007) розглянуто питання прогнозу залишкового ресурсу мостів та сформульована модель нормативного документа.

9. На підставі досліджень (Гнідець, 1999; Гнідець, 2002; Панасюк, Лучко, & Коваль, 2002; Дехтяр, 2001), створено методику та одержано результати регулювання напруженого стану залізобетонних мостів. Запропоновано різні конструкторсько-технологічні системи у будівництві середніх і великих мостів і шляхопроводів. У роботі (Гнідець, 2002) запропоновано збірно-монолітні нерозрізні конструкції прогонової будови. Відзначено універсальність конструкторсько-технологічних вирішень для багатогогонових будов. А у роботі (Снитко, 2007) сформульовані оптимальні терміни і об'єми ремонтів залізобетонних мостів. Звернуто увагу на створення математичної моделі яка має враховувати низку факторів та запропоновану модель для першого наближення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Андрейків, О. Є., Лучко, Й. Й., & Гембара, Т. В. (1992). Метод визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для залізобетонних елементів з тріщинами при згин. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 3, 98-104.

Гнідець, Б. Г. (1999). Дослідження і регулювання напруженого стану залізобетонних конструкцій мостів у стадії будівництва і довготривалої експлуатації. *Діагностика, довговічність та регенерація мостів будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів*, 1, 38-44.

Гнідець, Б. Г. (2002). Збірно-монолітні нерозрізні конструкції прогонових будов для будівництва та реконструкції мостів і шляхопроводів. *Діагно-*

стика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій, 4, 38-43.

- Голубятников, Е. І., & Лантух-Лященко, А. І. (2002). Проблеми надійності і довговічності мостів на дорогах міст і населених пунктів України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 64, 59-65.
- Дехтяр, А. С. (2001). Оптимальні терміни і об'єми ремонтів залізобетонних мостів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 83-85.
- Кархут, І. І., & Лучко, Й. Й. (2003). Бетон для виготовлення мостів підвищеної довговічності. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 5, 52-57.
- Коваль, П. М., Філоненко, С. Ф., Сташук, П. М., & Корнієнко, І. К. (2008). Аналіз динамічних характеристик моста. *Дороги і мости*, 9, 119-128.
- Коваль, П. М., Лучко, Й. Й., & Сташук, П. М. (2001). Оцінка тріщиностійкості бетонів у мостових конструкціях за методом акустичної емісії. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 91-99.
- Коваль, П. М., Лучко, Й. Й., & Фаль, А. Є. (2003). Проблеми забезпечення довговічності автодорожніх мостів зі струнобетонними прогоновими будовами. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 5, 58-64.
- Коваль, П. М., Фаль, А. Є., & Лучко, Й. Й. (2002). Випробування сталезалізобетонних мостів в Закарпатській області. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 64, 110-113.
- Коваль, П. М., & Лучко, Й. Й. (1999). Проблеми діагностики та регенерації автодорожніх мостів України. *Діагностика, довговічність та регенерація мостів будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів*, 1, 48-58.
- Коваль, П. М., Походенко, А. Г., Лучко, Й. Й. & Фаль, А. Є. (2003). Випробування монолітно-залізобетонного моста через р. Стара ріка. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 5, 165-171.
- Лантух-Лященко, А. І. (2000). До проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 2, 78-82.
- Лантух-Лященко, А. І. (2007). Про прогноз залишкового ресурсу мостів. *Дороги і мости*, 7, 3-7.
- Лантух-Лященко, А. І., & Назаренко, В. Б. (2000). До оцінки технічного стану автодорожніх мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 59, 149-152.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Лучко, Й. Й. (2021). Основні фактори середовища, які впливають на деградацію транспортних споруд із залізобетонних і металевих гофрованих конструкцій. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*, 2, 203-206.
- Лучко, Й. Й., Кархут, І. І., & Кравець, І. Б. (2021). Дослідження збудованих мостів які були зруйнованих повеннями на Україні в 1998 і 2001 роках та тривалої експлуатації. *Мости і тунелі: теорія, дослідження, практика*, 20, 26-38.
- Лучко, Й. Й., Коваль, П. М., & Корнієв, М. М. (2005). *Мости: конструкції та надійність*. Міністерство освіти і науки України, НАН України: ФМІ ім. Г. В. Карпенка.
- Лучко, Й. Й., Сулим, Г. Т., & Кир'ян, В. І. (2004). *Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності*. НАН України: ФМІ ім. Г. В. Карпенка.
- Лучко, Й. Й., Лантух-Лященко, А. І., & Коваль, П. М. (2000). Про необхідність розробки нормативних документів по проектуванню та експлуатації мостів України. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 2, 91-103.
- Лучко, Й. Й., & Панько, І. М. (2002). До визначення деформаційної тріщиностійкості високоміцних бетонів в мостових конструкціях. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 64, 171-176.
- Лучко, Й. Й. (1999). Визначення залишкової довговічності залізобетонних балкових елементів на основі механіки руйнування. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 5, 83-90.
- Лучко, Й. Й. (2001). Метод розрахунку довговічності залізобетонних конструкцій з позицій механіки руйнування. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 6, 75-84.
- Лучко, Й. Й. (1995). Основні концепції механіки руйнування залізобетону. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 4, 42-48.
- Лучко, Й. Й., Лазар, В. Ф., & Чубріков, В. М. (2000). Довговічність бетону залізобетонних конструкцій і споруд. *Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення*, 155-159.
- Лучко, Й. Й., Лазар, В. Ф., & Чубріков, В. М. (2001). Міцність залізобетонного елемента з тріщиною з погляду механіки руйнування. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 1, 27-36.
- Лучко, Й. Й., & Лазар, В. Ф. (2002). Розрахунок напружень та оцінка міцності і тріщиностійкості залізобетонних балкових елементів. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 1, 107-116.
- Лучко, Й. Й., & Панько, І. М. (2002). Розрахунок залишкового ресурсу відповідальних елементів мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 64, 167-171.
- Маркович, В. О., Стадник, В. В., & Заєць, В. І. (2001). Аналіз стану автомобільно-дорожніх мостів на дорогах загального користування в Закарпатській області. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 154-157.
- Назаренко, В. Б., Буракас, Б. А., & Гах, Н. Д. (2000). К оцінці експлуатаційного стану автомобільних мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 59, 169-173.
- Панасюк, В. В., Лучко, Й. Й., & Коваль, П. М. (2002). Оцінка ресурсу конструкцій мостів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 4, 145-154.
- Походенко, А. Г., Коваль, П. М., Лучко, Й. Й., & Фаль, А. Є. (2000). Проектування та влаштування плит проїзної частини сталезалізобетонних мостів Закарпатської області. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 174-181.
- Снитко, В. П. (2007). Розрахунок сталобетонних мостів з урахуванням впливу повзучості та усадки бетону. *Дороги і мости*, 7, 198-204.
- Сташук, М. Г., Лучко, Й. Й., & Борбуляк, О. О. (2002). Про зародження тріщини в околі зварних швів для металевих конструкцій мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 64, 221-225.

J.J. LUCHKO

¹ Department of Building Structures, Lviv National Agrarian University, V. Velykoho Street, 1, Dublyany, Ukraine, 80381, tel. +38 (097) 033 18 36, e-mail lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

CRACK RESISTANCE OF BRIDGE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BASED ON THE FRACTURE MECHANICS PRINCIPLES

Purpose The work purpose is to establish the real technical condition of reinforced concrete and steel-reinforced concrete bridges based on the surveys and tests, as well as the analysis and synthesis of scientific and technical sources. **Methodology.** To achieve the goal, a review and synthesis of scientific and technical sources and regulatory documents regarding the technical condition of reinforced concrete and steel-reinforced concrete bridges and overpasses of Ukraine is carried out. It is shown that the development and implementation of new technologies for

repairing the existing bridge defective structures, in particular on the highways of Ukraine is an urgent problem. A thorough analysis of experience and publications on the operation of newly built and long-term specified bridges in the mentioned environments is carried out. The data on the main unacceptable defects and faults of bridge structures as well as the causes, including concrete and reinforcement corrosion, and other defects and faults are presented. The quality indicators of reinforced concrete and steel-reinforced concrete bridge structures are considered, the problems and analysis of ensuring reliability and durability in the operation conditions on the highways of Ukraine are formulated. **Results.** The analysis of domestic and foreign scientific and technical sources as well as the experience of surveys and tests regarding the technical condition of reinforced concrete bridges structures in Ukraine is carried out. In particular, the analysis and synthesis of the problems of ensuring the reliability and durability of the specified bridges in the operation conditions on the highways of Ukraine is carried out. The design errors, construction defects and faults, and long-term operational faults in the mentioned environments are summarized and clarified. In addition, the obtained data are as the basis to specify the criteria and models of the destruction mechanics in relation to reinforced concrete bridge structures. In particular, based on the obtained data, the methods to determine the VAT and the residual resource of the specified bridges are created. **Scientific novelty.** Based on the analysis and synthesis of scientific and technical sources and a number of surveys and tests, reinforced concrete and steel-reinforced concrete structures and long-term bridges newly built after the floods in 1998 and 2001, it is possible to summarize the main reasons that significantly affect the structures degradation of both the newly built and long-term bridges. This allows generalizing the design errors, construction defects and faults, and long-term operational faults. In addition, the state data served as the basis to specify the criteria and models of the destruction mechanics in relation to reinforced concrete bridge structures. In particular, based on these data, the methods to determine the assessment of the strength and crack resistance and the VAT and the residual resource of such bridges are created. **Practical significance.** Based on the given data and observations of real objects for 30 years, the main faults, defects and errors of the design, construction, and long-term bridges are summarized and set up. The methods to determine the VAT and calculate the residual resource, giving an opportunity to work out the repair and restoration method to increase the durability and reliability of long-term bridges are created.

Keywords: bridges; reinforced concrete; steel-reinforced concrete; overpasses; destruction; technologies; materials

REFERENCES

- Andreikiv, O. Ye., Luchko, Y. Y., & Hembara, T. V. (1992). Metod vyznachennia koefitsiienta intensyvnosti napruzen dlia zalizobetonnykh elementiv z trishchynamy pry zghyn. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*, 3, 98-104. (in Ukrainian)
- Hnidets, B. H. (1999). Doslidzhennia i rehuliuвання napruzenoho stanu zalizobetonnykh konstruksii mostiv u stadii budivnytstva i dovrotryvaloi ekspluatatsii. *Diahnostyka, dovhovichnist ta reheneratsiia mostiv budivelnykh konstruksii iz zastosuvanniam suchasnykh tekhnolohii ta materialiv*, 1, 38-44. (in Ukrainian)
- Hnidets, B. H. (2002). Zbirno-monolitni nerozrizni konstruksii prohonovykh budov dlia budivnytstva ta rekonstruksii mostiv i shliakhoprovodiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivelnykh konstruksii*, 4, 38-43. (in Ukrainian)
- Holubiatnykov, E. I., & Lantukh-Liashchenko, A. I. (2002). Problemy nadiinosti i dovhovichnosti mostiv na dorohakh mist i naselenykh punktiv Ukrainy. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 64, 59-65. (in Ukrainian)
- Dekhtiar, A. S. (2001). Optymalni termyny i obiemy remontiv zalizobetonnykh mostiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivelnykh konstruksii*, 3, 83-85. (in Ukrainian)
- Karkhut, I. I., & Luchko, Y. Y. (2003). Beton dlia vyhotovlennia mostiv pidvyshchenoi dovhovichnosti. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivelnykh konstruksii*, 5, 52-57. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., Filonenko, S. F., Stashuk, P. M., & Korniienko, I. K. (2008). Analiz dynamichnykh kharakterystyk mosta. *Dorohy i mosty*, 9, 119-128. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., Luchko, Y. Y., & Stashuk, P. M. (2001). Otsinka trishchynostiikosti betoniv u mostovykh konstruksiiakh za metodom akustychnoi emisii. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivelnykh konstruksii*, 3, 91-99. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., Luchko, Y. Y., & Fal, A. Ye. (2003). Problemy zabezpechennia dovhovichnosti avtodorozhnykh mostiv zi strunobetonnyimi prohonovymi budovamy. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivelnykh konstruksii*, 5, 58-64. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., Fal, A. Ye., & Luchko, Y. Y. (2002). Vyprovuvannia stalezalizobetonnykh mostiv v Zakarpatskii oblasti. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 64, 110-113. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., & Luchko, Y. Y. (1999). Problemy diahnostyky ta reheneratsii avtodorozhnykh mostiv Ukrainy. *Diahnostyka, dovhovichnist ta reheneratsiia mostiv budivelnykh konstruksii iz zastosuvanniam suchasnykh tekhnolohii*

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ta materialiv, 1, 48-58. (in Ukrainian)

Koval, P. M., Pokhodenko, A. H., Luchko, Y. Y. & Fal, A. Ye. (2003). Vyprobuvannya monolitno-zalizobetonnoho mosta cherez r. Stara rika. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 5, 165-171. (in Ukrainian)

Lantukh-Liashchenko, A. I. (2000). Do proektu derzhavnykh budivelnykh norm z otsinky tekhnichnoho stanu mostiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 2, 78-82. (in Ukrainian)

Lantukh-Liashchenko, A. I. (2007). Pro prohnoz zalyshkovoho resursu mostiv. *Dorohy i mosty*, 7, 3-7. (in Ukrainian)

Lantukh-Liashchenko, A. I., & Nazarenko, V. B. (2000). Do otsinky tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 59, 149-152. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y. (2021). Osnovni faktory seredovyshcha, yaki vplyvaiut na dehradatsiiu transportnykh sporud iz zalizobetonnykh i metalevykh hofrovanykh konstrukttsii. *Teoriia i praktyka rozvytku ahropromyslovoho kompleksu ta silskykh terytorii*, 2, 203-206. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Karkhut, I. I., & Kravets, I. B. (2021). Doslidzhennia zbudovanykh mostiv yaki byly zruinovanykh poventamy na Ukraini v 1998 i 2001 rokakh ta tryvaloi ekspluatatsii. *Mosty i tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 20, 26-38. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Koval, P. M., & Korniiiev, M. M. (2005). *Mosty: konstrukttsii ta nadiinist*. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, NAN Ukrainy: FMI im. H. V. Karpenka. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Sulym, H. T., & Kyrian, V. I. (2004). *Mekhanika ruinovannia mostovykh konstrukttsii ta metody prohnozuvannia yikh zalyshkovoï dovhovichnosti*. NAN Ukrainy: FMI im. H. V. Karpenka. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Lantukh-Liashchenko, A. I., & Koval, P. M. (2000). Pro neobkhdnist rozrobky normatyvnykh dokumentiv po proektuvanniu ta ekspluatatsii mostiv Ukrainy. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 2, 91-103. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., & Panko, I. M. (2002). Do vyznachennia deformatsiinoi trishchynostiikosti vysokomitsnykh betoniv v mostovykh konstrukttsiiax. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 64, 171-176. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y. (1999). Vyznachennia zalyshkovoï dovhovichnosti zalizobetonnykh balkovykh elementiv na osnovi mekhaniky ruinovannia. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv*, 5, 83-90. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y. (2001). Metod rozrakhunku dovhovichnosti zalizobetonnykh konstrukttsii z pozytsii mekhaniky ruinovannia. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv*, 6, 75-84. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y. (1995). Osnovni kontseptsii mekhaniky ruinovannia zalizobetonu. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv*, 4, 42-48. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Lazar, V. F., & Chubrikov, V. M. (2000). Dohovichnist betonu zalizobetonnykh konstrukttsii i sporud. *Suchasni problemy proektuvannia, budivnytstva ta ekspluatatsii sporud na shliakhakh spoluchennia*, 155-159. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., Lazar, V. F., & Chubrikov, V. M. (2001). Mitsnist zalizobetonnoho elementa z trishchynoiu z pohliadu mekhaniky ruinovannia. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv*, 1, 27-36. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., & Lazar, V. F. (2002). Rozrakhunok napruzhen ta otsinka mitsnosti i trishchynostiikosti zalizobetonnykh balkovykh elementiv. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv*, 1, 107-116. (in Ukrainian)

Luchko, Y. Y., & Panko, I. M. (2002). Rozrakhunok zalyshkovoho resursu vidpovidalnykh elementiv mostiv. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 64, 167-171. (in Ukrainian)

Markovych, V. O., Stadnyk, V. V., & Zaiets, V. I. (2001). Analiz stanu avtomobilno-dorozhnykh mostiv na dorohakh zahalnoho korystuvannia v Zakarpatskii oblasti. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 3, 154-157. (in Ukrainian)

Nazarenko, V. B., Burakas, B. A., & Hakh, N. D. (2000). K otsenke ekspluatatsyonnoho sostoiania avtodorozhnykh mostov. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 59, 169-173. (in Russian)

Panasiuk, V. V., Luchko, Y. Y., & Koval, P. M. (2002). Otsinka resursu konstrukttsii mostiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 4, 145-154. (in Ukrainian)

Pokhodenko, A. H., Koval, P. M., Luchko, Y. Y., & Fal, A. Ye. (2000). Proektuvannia ta vlashtuvannia plyt proiznoi chastyny stalezalizobetonnykh mostiv Zakarpatskoi oblasti. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstrukttsiia mostiv i budivelnykh konstrukttsii*, 3, 174-181. (in Ukrainian)

Snytko, V. P. (2007). Rozrakhunok stalebetonnykh mostiv z urakhuvanniam vplyvu povzuchosti ta usadky betonu. *Dorohy i mosty*, 7, 198-204. (in Ukrainian)

Stashchuk, M. H., Luchko, Y. Y., & Borbuliak, O. O. (2002). Pro zarozhennia trishchyny v okoli zvarnykh shviv dlia metalevykh konstrukttsii mostiv. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 64, 221-225. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 06.11.2022.

Прийнята до друку 17.04.2023.