

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.2/.8:624.0.12.35

Й. Й. ЛУЧКО¹, І. І. КАРХУТ², І. Б. КРАВЕЦЬ^{3*}

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

² Кафедра будівельних конструкцій та мостів Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта karkhoot1@gmail.com, ORCID 0000-0002-9205-5118

^{3*} Кафедра фундаментальних дисциплін Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, 79052, Україна ел. пошта kravetsivan2017@gmail.com, ORCID 0000-0002-2239-849X

ДОСЛІДЖЕННЯ МОСТІВ, ЗБУДОВАНИХ В УКРАЇНІ В 1998 І 2001 РОКАХ, ЩО БУЛИ ЗРУЙНОВАНІ ТРИВАЛОЮ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ТА ПОВЕННЯМИ

Мета. Метою роботи є на підставі реальних натурних досліджень і аналізу науково-технічних джерел синтезувати помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки мостів після тривалої експлуатації. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було проведено огляд науково-технічних джерел і нормативних документів, щодо технічного стану транспортних споруд України. Зокрема, це міст у м. Хуст, побудований у 2000 р. на місці зруйнованого повинню 1998 р. та монолітний рамно-консольний міст на автомобільній дорозі Мукачєво-Рогатин км 92+700, побудований у 2001 р. на місці частково зруйнованого у березні 2001 р. Також автори приймали участь у зведенні, випробуванні на статичні і динамічні навантаження шести сталезалізобетонних мостів у Кобалецькій і Косівській полянах, які були зведені у 2000 р. на місці зруйнованих повинню 1998 р. та шляхопроводу і мостів тривалої експлуатації, – це Береговський міст у м. Мукачєво та шляхопровід у с. Вістова. Результати аналізу і синтезу наведених досліджень і стали основою для встановлення відповідних помилок проектування, дефектів і недоліків будівництва та недоліків експлуатації мостів і шляхопроводів. **Результати.** Виконано аналіз вітчизняних і закордонних науково-технічних джерел щодо технічного стану новозбудованих залізобетонних, сталезалізобетонних та тривалої експлуатації мостів і шляхопроводів. Проведено аналіз і синтез проблем забезпечення надійності і довговічності транспортних споруд в умовах експлуатації їх у повітряному та ґрунтовому і водному середовищі. Встановлено на реальних прикладах помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки експлуатації. Показано, можливість відновлення несучої здатності, використовуючи сучасні матеріали і технології. **Наукова новизна.** У результаті аналізу транспортних споруд, науково-технічних джерел і низки досліджень залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій мостів збудованих після повеней у 1998 і 2001 рр. та мостів (шляхопроводів) тривалої експлуатації вдалось узагальнити основні причини, які суттєво впливають на деградацію конструкцій вказаних мостів і шляхопроводів. Показана можливість відновлення їх несучої здатності і довговічності, використовуючи сучасні матеріали і технології. Зокрема встановлено, що окрім силових факторів суттєво впливають і фактори повітряного, ґрунтового та водного середовища. **Практична значимість.** На підставі цих даних та спостерігаючи за вказаними об'єктами протягом 20 років, вдалось узагальнити і встановити помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки тривалої експлуатації. Це дає можливість запропонувати напрямки теоретичних і експериментальних досліджень і методів розрахунку, врахувати їх при проектуванні і експлуатації таких споруд. Зокрема, на основі цих даних створена методика і відпрацьована на реальних об'єктах, використовуючи сучасні матеріали і технології для ремонтно-відновлювальних робіт, яка дає можливість значно збільшити довговічність і надійність споруд.

Ключові слова: залізобетонні мости; сталезалізобетонні мости; шляхопроводи; випробування; корозія; навантаження; технології; матеріали

Вступ

Забезпечення надійної експлуатації конструкцій транспортних споруд прямо залежить від застосування новітніх технологій зведення

та використання матеріалів і конструкцій, належать до найважливіших завдань інженерної науки суттєво сприяючи технічному і соціальному прогресу суспільства. Зокрема, в індустріально розвинених країнах гарантування техно-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

логічної безпеки об'єктів основних галузей економіки набуло важливого суспільного значення, яке спрямовано на уникнення несподіваного руйнування або непланової зупинки об'єктів транспортної інфраструктури.

У даний час зміна клімату значно змінює вплив повітряного, ґрунтового та водного середовищ суттєво впливає на деградацію будівель і споруд, зокрема повені, які були у липні 2021 р. у Німеччині, Бельгії, Швейцарії і в Україні – в Києві, Бердянську – нанесли значні збитки та руйнацію будівель і споруд.

В Україні розпорядженням Кабінету Міністрів України від 11 червня 2003 року затверджено Концепцію Державної програми із забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки. На підставі цієї концепції було створено багато програм, серед таких програм значне місце посідає цільова програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій споруд та машин». Нею було передбачено серію видань, зокрема довідники по мостах «Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності» та «Мости: конструкції та надійність» в яких підсумовано досвід проєктування, зведення та тривалої експлуатації мостів, вперше створених українською мовою. Тому проблеми дослідження мостів є дуже актуальними і своєчасними.

У всі часи довідники про мости були найбільшими науковими надбаннями проєктувальників та будівельників мостів – в них мудрість поколінь. Від «*Fratres Pontifices*» – Ордена мостових братів, пізніше Кулібіна і до наших днів, через віки – довідники перекинули «мости», завдяки яким величні транспортні споруди людства вражають своєю поетичністю, міцністю, надійністю та довговічністю з прогонами до 2000 м і більше.

На початку нового століття у зв'язку з прогнозованим будівництвом транспортних коридорів через Україну, виникає необхідність проєктування і будівництва значної кількості сучасних мостів. Тому вже сьогодні необхідно критично переглянути принципи розрахунку, проєктування та експлуатації конструкцій мостів і врахувавши багаторічний досвід роботи цих систем, внести корективи, а можливо, й принципи зміни у чинні норми, щоб забезпечити належну довговічність і надійність мостів, особливо мостів тривалої експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На кінець XIX століття багато залізобетонних транспортних споруд, які експлуатувалися тривалий час (більше 60 років) зазнали значної деградації. Цьому сприяли такі причини, як суттєве збільшення навантажень на рухомий склад, значне збільшення терміну ремонтно-відновлювальних робіт, незавершеного будівництва. Це призвело до значної деградації матеріалів транспортних споруд. Ці проблеми доповнились ще і руйнуванням низки мостів повенями у 1998 – 2001 рр. в Карпатському регіоні України. Цим проблемам присвячена ціла низка досліджень і публікацій (Гнідець, 1999; Коваль, Лучко, 1999; Лантух-Лященко, Ковальов, 1999; Лантух-Лященко, 2000; Лучко, Лантух-Лященко & Коваль, 2000; Гнідець, 2000; Коваль, 2000; Косяк, 2000).

Зокрема, у праці (Гнідець, 1999) показано можливість регулювання напруженого стану конструкцій мостів на стадії будівництва і експлуатації, а в роботі (Коваль, Лучко, 1999) розглянуто проблеми діагностики та регенерації автодорожніх мостів України. У праці (Лантух-Лященко, Ковальов, 1999) підняте питання про створення національної системи експлуатації мостів, а в працях (Лантух-Лященко, 2000; Лучко, Лантух-Лященко & Коваль, 2000) звернута увага на необхідність створення проєкту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів.

У працях (Гнідець, 2000; Коваль, 2000; Косяк, 2000) розглянуто реконструкцію та підсилення мостів, а в (Коваль, 2000) показана актуальність діагностики для забезпечення їх довговічності та необхідність врахування навантажень від підхідних насипів при розрахунку устоїв мостів. У працях (Андрейків, Лучко & Панько, 2001; Дехтяр, 2001; Коваль, Лучко & Сташук, 2001) наведено розрахунок залишкового ресурсу відповідальних елементів мостів, а у роботі (Дехтяр, 2001) розглянуто терміни і об'єми ремонтів і результати досліджень тріщиностійкості бетонів у мостових конструкціях методами акустичної емісії.

В роботах (Походенко, Коваль, Лучко & Фаль, 2001; Лантух-Лященко, 2002; Панасюк, Лучко & Коваль, 2002), зокрема, наведені результати підсилення прогонових будов мостів (Походенко, Коваль, Лучко & Фаль, 2001) та прогнозування залишкового ресурсу транспор-

тних споруд у (Лантух-Лященко, 2002), а в роботі (Панасюк, Лучко & Коваль, 2002) розглянуто оцінку ресурсу конструкцій мостів. Представимо ще деякі аспекти досліджень наведених у працях (Батухтіна, 2002; Загора & Марочка, 2002; Ігнатишин, 2002; Лучко, Стадник, Хархаліс & Ігнатишин, 2002). У них розглянуто аналіз часових навантажень мостів західної Європи (Батухтіна, 2002), гасіння коливань різних прогонових будов (Загора & Марочка, 2002). Аналітично числові методи розрахунку вільно опертих плит описано у (Ігнатишин, 2002) та руйнування мостів тривалої експлуатації у (Лучко, Стадник, Хархаліс & Ігнатишин,

2002). Результати аналізу і синтезу наведених досліджень і стали основою для написання вказаних вище довідників (Лучко, Сулим & Кир'ян, 2004; Лучко, Коваль & Корнієв, 2005) та формування цільової програми досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій споруд та машин». Заслужують на увагу також результати, наведені у праці (Походенко, Лучко & Заразка 2008), де розглянуто систему Regel та її застосування для ремонтно-відновлювальних робіт на нових мостах, а також на мостах після їх тривалої експлуатації.

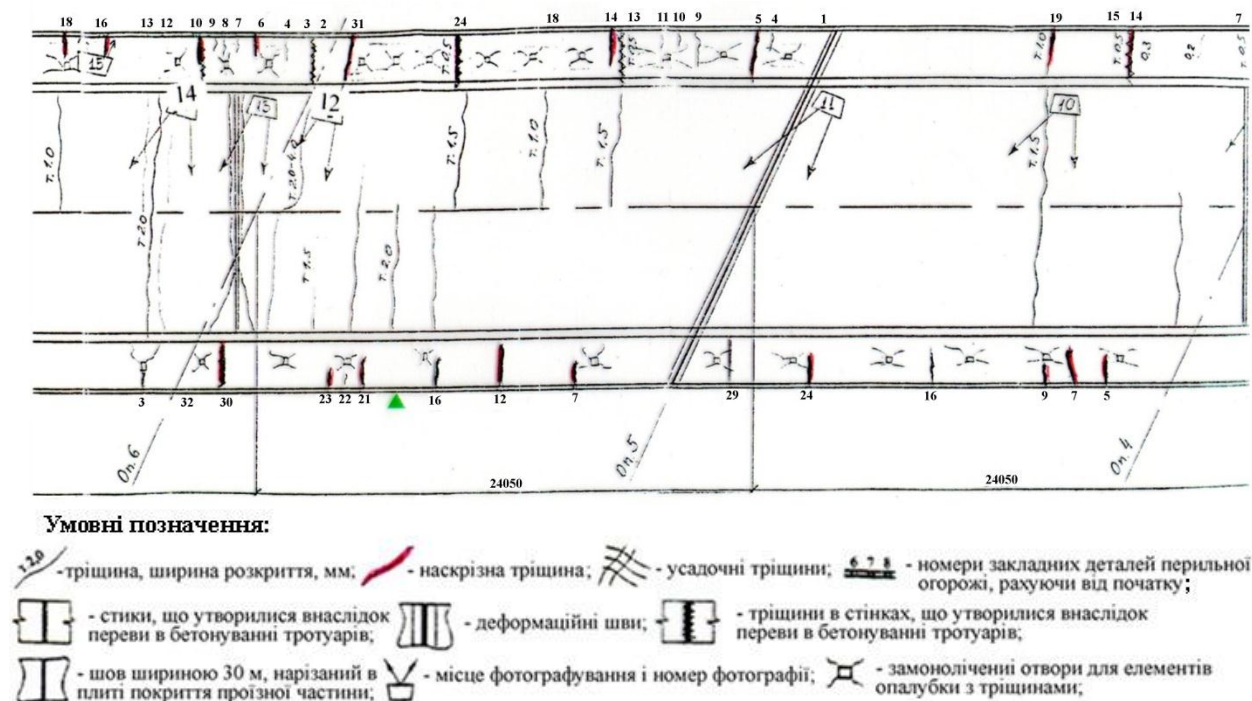


Рис. 1. Фрагмент карти проїзної частини залізобетонного моста через ріку в м. Хуст

Мета

Метою роботи є дослідження, аналіз і синтез помилок проектування, недоліків будівництва та недоліків тривалої експлуатації мостів.

Основні результати досліджень та їх аналіз

Залізобетонні мости, відновлені після повоєнної 1998 та 2001 рр. Розглянемо деякі реальні ситуації на прикладах залізобетонного балкового у м. Хуст та рамно-консольного мостів через річку Стара Ріка. Автори даної роботи досліджували всі мости описані у даній роботі.

На рис. 1 показано фрагмент карти проїзної частини залізобетонного моста через р. Тиса в м. Хуст, побудованого в 2000 р. (попередній зруйнований в 1998 р. під час повені).

Менше ніж за два роки елементи конструкції проїзної частини нового моста різко деградують. Під час обстежень (автори) співробітники ФМІ НАН України та НУ «Львівська політехніка» виявили ряд дефектів – тріщини в елементах конструкцій проїзної частини (рис. 1 і 2). Це обумовлено низкою конструктивних і будівельних відхилень від нормативів. Наприклад, про неоднорідність бетону, який використовувався, свідчать випробування бетонних ку-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

биків (табл. 1), представлених заводом-виготовлювачем бетону для будівництва моста. У деяких прогонах при обстеженні було виявлено відсутність зазорів між торцями балок, що створює додаткові напруження від температур-

них деформацій у прогонових будовах.

Сьогодні ведуться додаткові дослідження цього моста, а також ремонтні роботи з ліквідації виявлених дефектів (Панасюк, Лучко & Коваль, 2002).

Таблиця 1

Визначення міцності бетону на стиск випробуванням кубиків 100×100×100 мм (міст у м. Хусті)

№ куба	Дата виготовлення	Задана марка бетону, кг/см ²	Руйнівне зусилля, кг	Тимчасовий опір стиску, кг/см ²
В сухому стані (дата випробування 02.08.2001 р.)				
1	13.07.2000	400	45 500	432
2	26.08.2000	400	43 000	408
4	07.07.2000	400	48 000	456
5	27.06.2000	400	47 000	446
У вологому стані (дата випробування 03.08.2001 р.)				
3	15.06.2000	400	55 500	527
6	03.07.2000	400	39 250	373
7	24.07.2000	400	32 750	311
8	05.07.2000	400	25 750	245
9	20.07.2000	400	45 250	429
10	27.07.2000	400	33 000	313

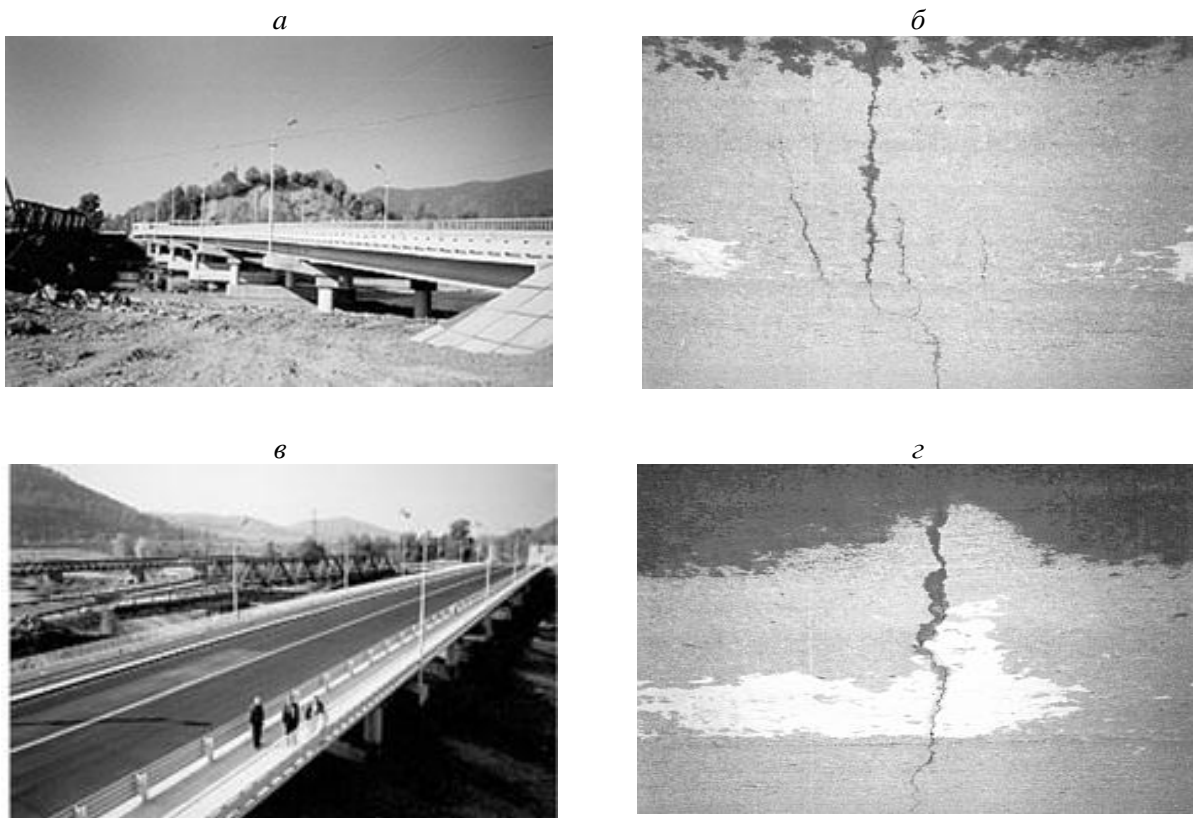


Рис. 2. Загальний вигляд (а) та вигляд на проїзну частину моста (б) через р. Тиса в м. Хусті; тріщини 2,0 і 4,0 мм в плиті покриття проїзної частини (в, г)

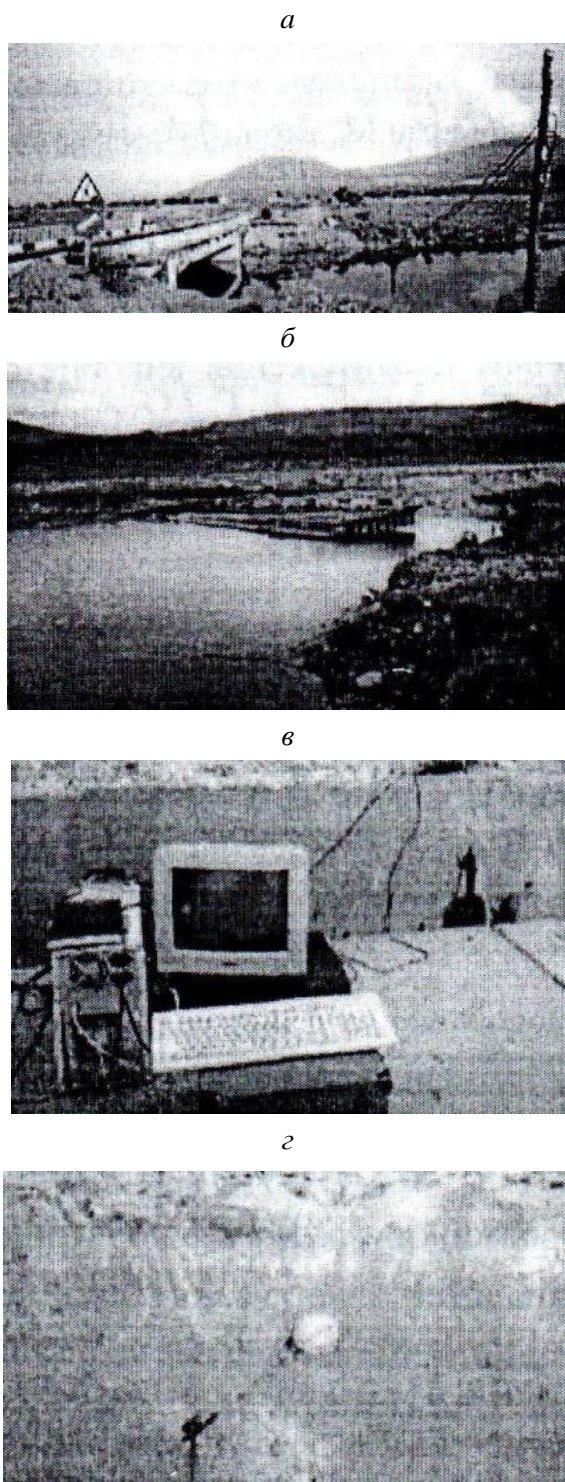


Рис. 3. Вигляд моста після повені 2001 року: *а* – вціліла верхова частина моста; *б* – низова частина моста зі збірних балок, фундаментних блоків і плит П-18 віднесена течією на 50 м; *в* – програмно-технічний комплекс «АКЕМ» для реєстрації сигналів акустичної емісії; *г* – індикатор на базі 200 мм для фіксації розкриття тріщин

Міст через річку Стара Ріка. Міст розташований на автомобільній дорозі Мукачівсько-Рогатин, км 92+700. Він складається з двох частин. Перша верхова монолітна залізобетонна рамно-консольна із масивними фундаментами заглибленими на 22 м від поверхні землі. Ця частина побудована у середині 30-х років ХХ століття. Друга низова частина зі збірних бетонних блоків фундамент і перекриття (прогонова частина) плити П-18 довжиною 18 м, побудована у 80-х роках. Загальна довжина моста 24,3 м, з отвором у просвіті 16,1 м, габарит моста до повені 2001 р. Г-11,5+2×1,0 м.

Під час повені у березні 2001 р. внаслідок переливу води р. Тиси через автомобільну дорогу у районі 95 км, русло і долина Старої Ріки були затоплені повеневими водами. Під час спаду води була зруйнована збірна частина моста (рис. 3, б).

Були проведені випробування верхньої частини моста для встановлення реальної міцності незруйнованої частини та були виявлені тріщини на боковій поверхні 0,2...0,5 мм і на поверхні тротуару 0,3...2,0 мм. Була побудована зруйнована частина аналогічно вцілій і об'єднана з нею плитою проїзної частини. Статичні і динамічні випробування відбудованого моста показали забезпечену вертикальну жорсткість прогонової будови, міст придатний для експлуатації під навантаженням класу А-II і НК-80.

Сталезалізобетонні мости, побудовані після повені 1998 року. Повінь 1998 р. завдала дорожньому господарству України збитків на 38,1 млн. грн. Під час повені були зруйновано значну частину мостів, через малі отвори руслових прогонів, більша частина яких становила в просвіті 10...11 м, тобто перекривалася прогоновими будовами довжиною 11,36 та 12,0 м. У гірських умовах майже всі мостові переходи перетинають потоки з косиною 60° і менше, тому необхідно застосовували суцільні прогони довжиною 20 м, які через радіуси кривих в плані постачати практично неможливо.

Після надання висновків технічного заключення про можливість застосування металевих балок для відбудови мостів була розроблена проектно-кошторисна документація на шість мостів, в яких передбачали металеві балки для сталезалізобетонних прогонів довжинами 11,8 та 23,6 м. Поперечні перерізи конструкцій наведені на рис. 4, а.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Залізобетонні плити проїзної частини наступні:

1. а/д В.Бичків-Коб. Поляна км 6+434, схема 2×24+12м, Г-8+2×1,0 м;
2. а/д В.Бичків-Коб. Поляна км 9+459, схема 12+23,6+12м, Г-9,4+2×1,0 м;
3. а/д В.Бичків-Коб. Поляна км 11+237, схема 12+23,6+12м, Г-9,0+2×1,0 м;

4. а/д Луг-Кос. Поляна км 5+762, схема 24,0 м, Г-9,1+2×1,0 м;
5. А/д Луг-Кос. Поляна км 8+622, схема 24,0 м, Г-8,0+2×1,0 м;
6. А/д Луг-Кос. Поляна км 9+500, схема 12х24+2х12м, Г-5,4+2×1,0 м.

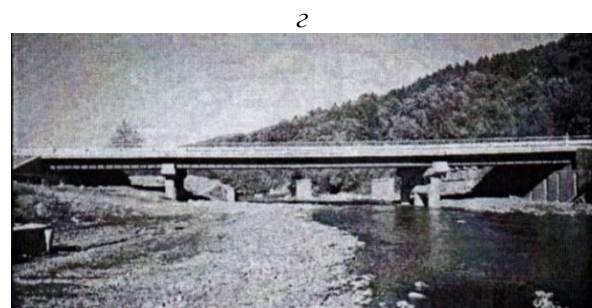
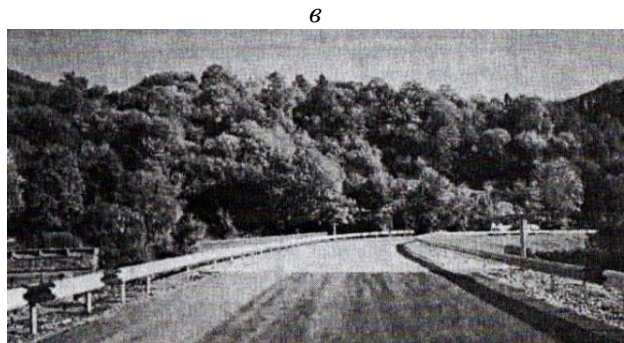
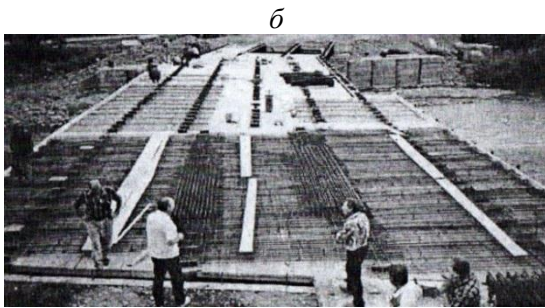
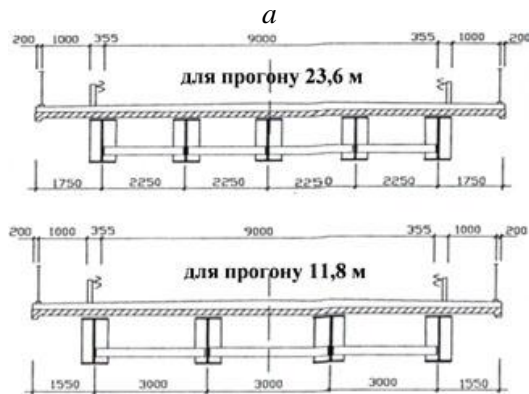


Рис. 4. Поперечні перерізи мостів: *а* – через р. Шопурка на автодорозі В. Бичків-Коб. Поляна км 11+237; *б* – влаштування плити проїзної частини моста через р. Шопурка на автодорозі В. Бичків-Коб. Поляна км 9+459; *в* – вигляд проїзної частини моста через р. Шопурка на автодорозі В. Бичків-Коб. Поляна км 9+459 після здачі в експлуатацію; *г* – загальний вигляд моста через р. Шопурка на автодорозі В.Бичків-Коб. Поляна км 9+459 після здачі в експлуатацію

Кращий стан у інших мостів Закарпатської області, зокрема у сталезалізобетонних, збудованих у 2000 р., але й тут зафіксовано окремі тріщини (рис. 5 і 6). З метою встановлення залишкового ресурсу таких мостів проведені додаткові статичні та динамічні випробування (рис. 5) і складено відповідні протоколи, а також здійснено інструментальне обстеження стану елементів конструкцій (встановлено наявність силових і усадкових тріщин, місцеві руйнування і т.п.). Деякі результати подано на рис. 6.

Шляхопроводи тривалої експлуатації. Якщо наведені приклади свідчать про неякісне виконання робіт у період будівництва мостів, зокрема про порушення вимог до якості бетону

(див. табл. 1), то в елементах конструкцій мостів, які експлуатуються вже тривалий час, маємо, очевидно, деградацію фізико-механічних властивостей матеріалу під дією кліматичних факторів та недоліків експлуатації. Для прикладу на рис. 7 і 8 показано шляхопровід в м. Мукачево, побудований у 1970 р. і обстежений 2001 р. (через 30 років експлуатації).

На рис. 7 видно місця явної деградації матеріалу опор, корозії арматури, розкриття тріщин і ін. Це свідчить, що категорія стану моста наближається до аварійного (Панасюк, Лучко & Коваль, 2002), і необхідно вжити термінових заходів для відновлення його працездатності (продовження терміну служби). Це здійснюють шляхом ремонту (поточного чи капітального).

© Й. Й. Лучко, І. І. Кархут, І. Б. Кравець, 2021

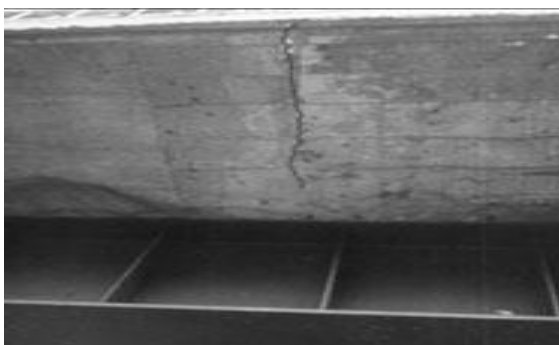
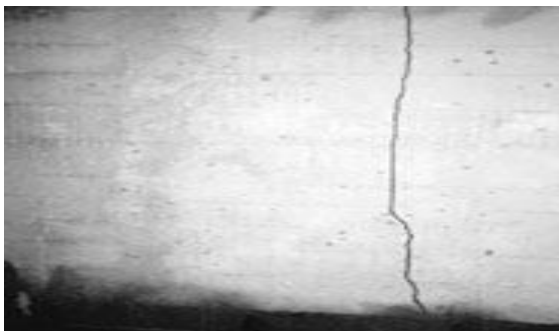
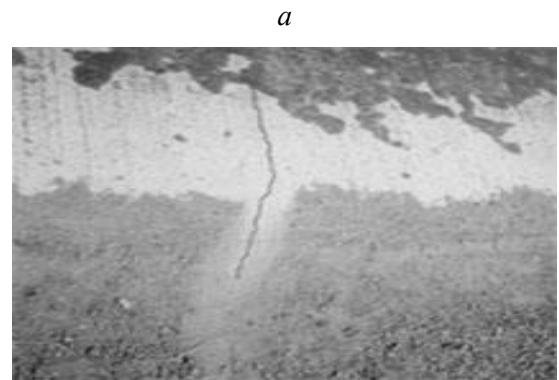


Рис. 5. Сталезаліобетонний міст біля с. Кобилецька Поляна (Закарпатська обл.): *a* – загальний вигляд; *б* – статичні випробування; *в* – запис динамічних характеристик; *г* – динамічні випробування

Рис. 6. Тріщини сталезаліобетонних мостів: *a* – в плиті покриття; *б* – на плиті тротуару; *в* – в плиті проїзної частини; *г* – в консолі тротуару

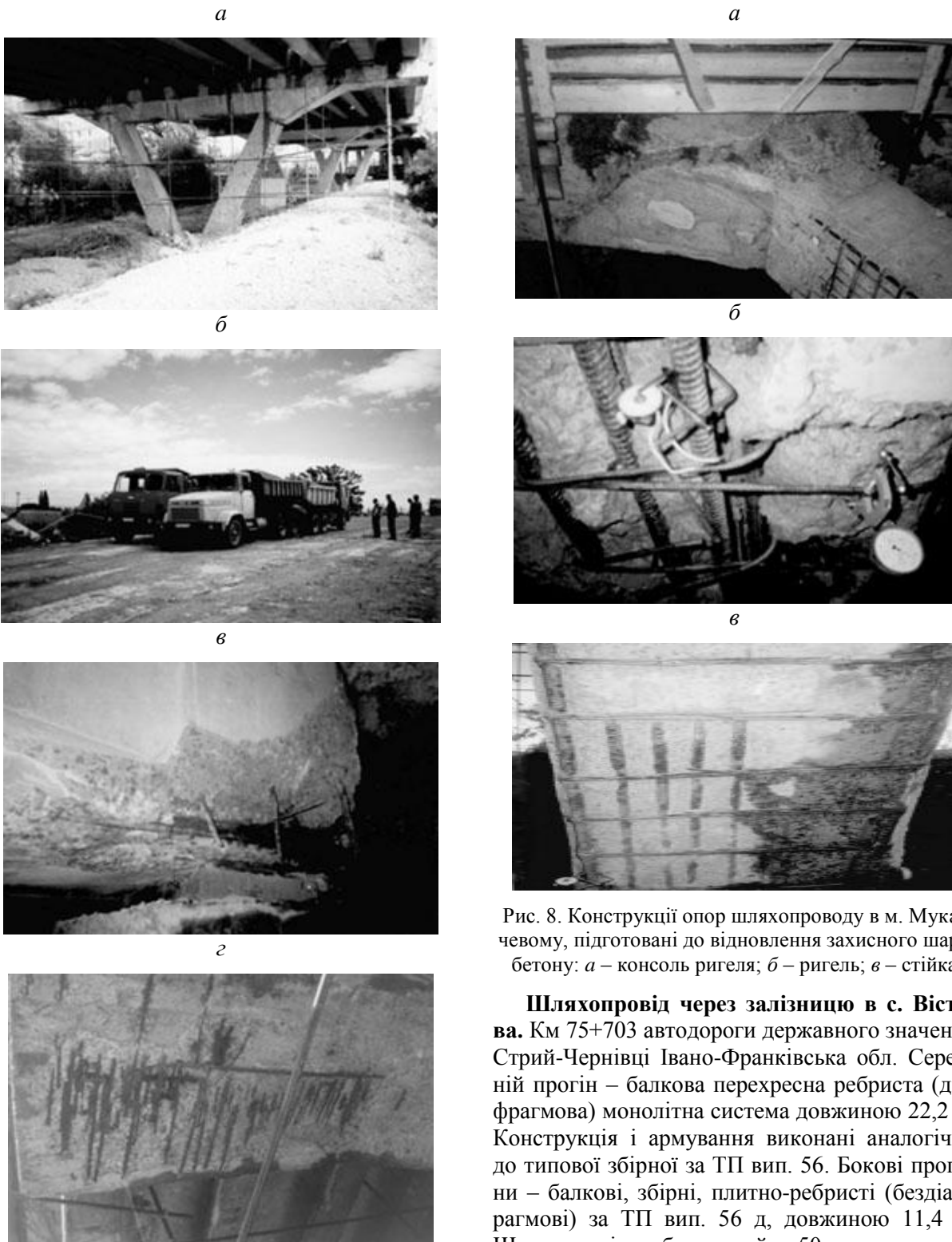


Рис. 7. Шляхопровід в м. Мукачевому:
а – загальний вигляд; *б* – під статичним навантаженням; *в* – руйнування опорної зони балки;
г – корозія арматури консолі опори

Рис. 8. Конструкції опор шляхопроводу в м. Мукачевому, підготовані до відновлення захисного шару бетону: *а* – консоль ригеля; *б* – ригель; *в* – стійка

Шляхопровід через залізницю в с. Вістова. Км 75+703 автодороги державного значення Стрий-Чернівці Івано-Франківська обл. Середній прогін – балкова перехресна ребриста (діафрагмова) монолітна система довжиною 22,2 м. Конструкція і армування виконані аналогічно до типової збірної за ТП вип. 56. Бокові прогоны – балкові, збірні, плитно-ребристі (бездіафрагмові) за ТП вип. 56 д, довжиною 11,4 м. Шляхопровід побудований у 50-х роках минулого сторіччя. За тривалий час експлуатації без належного догляду залізобетонні конструкції шляхопроводу значно деградували. Загальний вигляд та стан конструкцій показано на рис. 9.

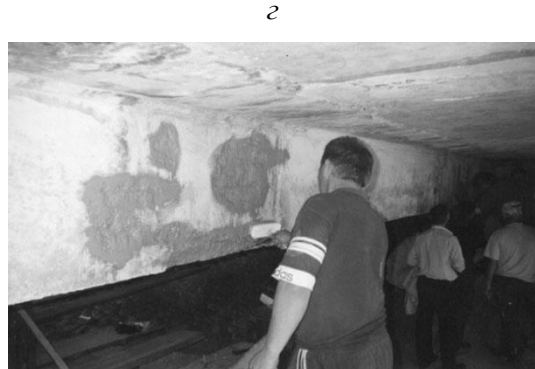
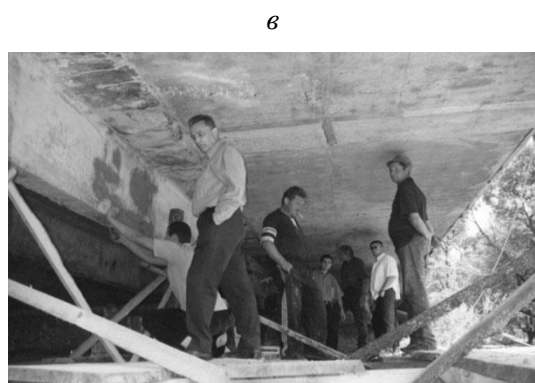
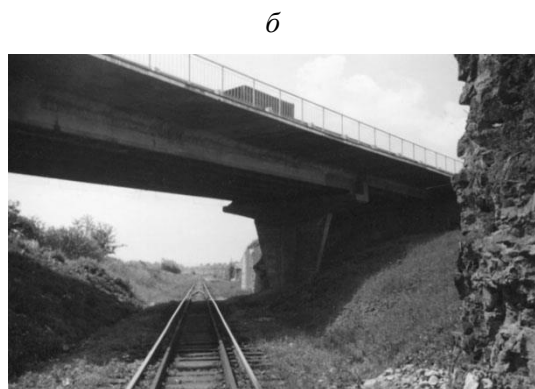
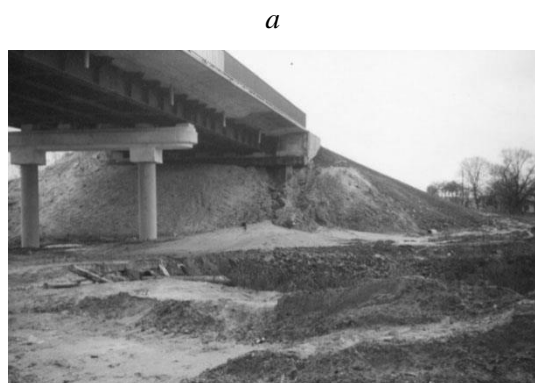


Рис. 9. Загальний вигляд шляхопроводу та стан конструкцій в с. Вістова (а, б), проведення ремонтно-відновлювальних робіт після тривалої експлуатації шляхопроводу (в, г)

У першій половині 2002 р. на цьому мості було проведено навчання фірми Pagel (Німеччина). Відпрацьовано застосування сучасних матеріалів і технологій для ремонтно-відновлювальних робіт на ригелях транспортних залізобетонних споруд. У другій половині 2002 р. було виконано реконструкцію і підсилення цього шляхопроводу за проектом (Kvasha, Melnyk, Klymush & Panchenko, 2004). Зокрема, розширено габарит плоскою накладною залізобетонно-монолітною плитою. Крайні балки середнього прогону підсилені наклеюванням стрічок з вуглецевих композитів CPRP (Sika). В даний час 2021 р. він знаходиться у працездатному стані і експлуатується.

Під час обстеження було передбачено виконання таких ремонтних операцій:

- відокремлення «слабкого» деградованого бетону;
- очищення оголеної арматури від продуктів корозії і нанесення захисних покриттів;
- очищення від забруднення поверхонь бетонних і металевих елементів;
- ін'єктування порожнин, тріщин і раковин герметиками (наприклад, тіоколовими).

Усі ці роботи вимагають, в першу чергу, практичних навичок працівників, при звільненні поверхні конструкції від забруднень та продуктів корозії. Це важка і трудомістка робота.

Наукова новизна і практична значимість

У даній статті, на основі аналізу науково-технічних джерел і низки досліджень залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій мостів, збудованих після повеней у 1998 і 2001 рр. та мостів тривалої експлуатації вдалось узагальнити основні причини, які суттєво впливають на деградацію конструкцій вказаних мостів і шляхопроводів. Зокрема, встановлено, що окрім силових факторів суттєво впливають і фактори повітряного і ґрунтового та водного середовища у яких експлуатуються залізобетонні і сталезалізобетонні мости (шляхопроводи). Це дало можливість узагальнити і встановити, зокрема, помилки проектування, дефекти і недоліки будівництва та недоліки тривалої експлуатації транспортних споруд збудованих із вказаних конструкцій. На підставі цих даних створена методика і відпрацьована на реальних об'єктах, що включає використання сучасних

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

матеріалів і технологій для ремонтно-відновлювальних робіт, і дає можливість значно підвищити довговічність і надійність таких споруд.

Висновки

На основі обстежень та натурних випробувань мостів у Закарпатській області – новозбудованого залізобетонного балкового моста у м. Хусті та монолітного рамно-консольного на автомобільній дорозі Мукачево-Рогатин км 92+700, та сталезалізобетонних мостів у с. Кобилецькій та Косівській Полянах, а залізобетонних шляхопроводах тривалої експлуатації (30 років) у м. Мукачево, в с. Вістова (Івано-Франківська обл.) можна узагальнити та використати для інших об'єктів, зокрема усунути деякі недоліки та помилки.

1. Основні помилки, допущені на стадії проектування:

- зменшений захисний шар бетону порівняно з нормативними документами;
- надмірна концентрація арматурних стрижнів, через що пакет робочої арматури утруднює якісне бетонування;
- невдалі проєктні рішення водовідводу з проїзної частини моста, внаслідок чого вода потрапляє на балки і опори, пришвидшуючи деградацію матеріалів цих елементів;
- невдалі рішення деформаційних швів;
- конструювання плити цементно-бетонного покриття проїзної частини мостів без урахування її дійсного напружено-деформованого стану;

2. Основні дефекти будівництва мостів:

- зниження міцності бетону порівняно з проєктною;
- неякісне бетонування (занадто жорсткі бетони, недостатнє ущільнення) і догляд за бетоном під час набору міцності, внаслідок чого у ньому з'являються раковини, пори, осадкові тріщини;
- відсутність зазорів між торцями балок, що створює додаткові напруження від температурних деформацій у прогонових будовах;
- неякісне виконання гідроізоляції і покриття, що сприяє проникненню води на несучі конструкції;
- відхилення від проєктних рішень (відсутність гідроізоляції на консолях тротуарів);

– неякісне виконання об'єднань балок і плит, що веде до порушення їх сумісної роботи і перевантаження елементів прогонової будови моста;

– порушення технології і монтажу спорудження моста.

3. Основні недоліки експлуатації мостів:

- вибоїни, напливи на проїзній частині, що створює додаткову динамічну дію на міст;
- тріщини в покритті та руйнування гідроізоляції, просочення води на балки та опори;
- руйнування деформаційних швів;
- карбонізація бетону;
- корозія бетону і арматури;
- виникнення тріщин у несучих конструкціях та їх недопустиме розкриття.

4. Встановлено, що на зниження ресурсу споруд суттєво впливають недоліки та помилки проектування, будівництва та експлуатації. Особливу увагу необхідно приділити підвищенню якості бетону, використовуючи для цього відповідні добавки, технології укладання та догляду під час набирання ним міцності. При виконанні ремонтних робіт доцільно застосовувати сучасне обладнання, наприклад, спеціальні установки для надзвукового термоабразивного і гідроабразивного очищення поверхонь конструкцій споруд, що підвищує ефективність ремонтів. Для збільшення ресурсу конструкцій мостів необхідно забезпечити відповідний рівень технічної діагностики і ремонту мостових споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Kvasha, V., Melnyk, I., Klympush, M., & Panchenko, O. (2004). First in Ukraine application Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) for strengthening RC bridge beams. *50 (L) Konf. Nauk., Naukovo-badawczy problemu budownictwa*, V, 47-54.
- Андрейків, О. С., Лучко, Й. Й., & Панько, І. М. (2001). Розрахунок залишкового ресурсу відповідальних елементів мостів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 9-22.
- Батухтіна, А. Г. (2002). Аналіз часових навантажень мостів країн Західної Європи. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 5, 443-454.
- Гнідець, Б. Г. (1999). Дослідження і регулювання напруженого стану залізобетонних конструкцій мостів у стадії будівництва і довготривалої експлуатації. *Діагностика, довговічність та реге-*

- нерація мостів будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів, 1, 38-44.
- Гнідець, Б. Г. (2000). Реконструкція і підсилення мостів зі зміною статичної схеми і регулювання зусиль. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 4, 569-575.
- Дехтяр, А. С. (2001). Оптимальні терміни і об'єми ремонтів залізобетонних мостів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 83-85.
- Загора, О. Л., & Марочка, В. В. (2002). Гасіння коливань розрізних прогінних будівель мостів. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 5, 478-483.
- Ігнатишин, М. І. (2002). Аналітично-числовий метод розрахунку вільно опертих ортотропних плит для мостів в системі MATCAD. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 5, 495-504.
- Коваль, П. М. (2000). Актуальність діагностики мостових конструкцій для забезпечення їх довговічності. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 4, 598-604.
- 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., 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.
- Косяк, В. М. (2000). Необхідність урахування навантажень від підхідних насипів у розрахунку устоїв мостів. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 4, 605-609.
- Лантух-Лященко, А. І., & Ковальов, П. М. (1999). До питання про створення національної системи експлуатації мостів. *Діагностика, довговічність та регенерація мостів будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів*, 1, 70-76.
- 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. (2002). Прогноз залишкового ресурсу елементів транспортних споруд. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 5, 91-102.
- 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., Стадник, М. М., Хархаліс, М. Р., & Ігнатишин, М. І. (2002). Руйнування мостів тривалої експлуатації. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій*, 5, 525-533.
- 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., Коваль, П. М., & Корнієв, М. М. (2005). *Мости: конструкції та надійність*. Міністерство освіти і науки України, НАН України, ФМІ ім. Г. В. Карпенка.
- 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., Лучко, Й. Й., Коваль, П. М., & Фаль, А. С. (2001). Проектування та влаштування плит проїзної частини сталезалізобетонних мостів Закарпатської області. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 3, 174-181.
- Походенко, А. Г., Лучко, Й. Й., & Заразка, В. Б. (2008). Проектування та будівництво монолітних залізобетонних мостів та шляхопроводів. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*, 10, 172-182.

J. J. LUCHKO¹, I. I. KARKHUT², I. V. KRAVETS³

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

² Department of Building Structures and Bridges Lviv Polytechnic National University, 12 Stepan Bandera Street, Lviv, 79013, Ukraine, e-mail karkhoot1@gmail.com, ORCID 0000-0002-9205-5118

³ Department of Fundamental Disciplines, Lviv Branch of the Dnieper National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 12a I. Blazhkevych Street, Lviv, 79052, Ukraine, e-mail kravetsivan2017@gmail.com, ORCID 0000-0002-2239-849X

STUDY OF THE BRIDGES BUILT IN UKRAINE IN 1998 AND 2001, THAT WERE DESTROYED BY LONG-TERM OPERATION AND FLOODS

Purpose. The aim of the work is to summarize design errors, construction defects and shortcomings and bridge defects after long-term operation on the basis of real field studies and analysis of scientific and technical sources. **Methodology.** To achieve this goal, an inspection of scientific and technical sources and regulations on the technical condition of transport facilities in Ukraine was conducted. In particular, it is a bridge in the city of Khust, built in 2000 on the site destroyed by floods in 1998 and a monolithic frame-cantilever bridge on the highway Mukachevo-Rogatin km 92 +700, built in 2001 on the site of partially destroyed in March 2001. The authors also took part in the construction, testing for static and dynamic loads of six steel-reinforced concrete bridges in Kobiletska and Kosivska Polyana, which were erected in 2000 on the site of those destroyed by the 1998 flood, as well as overpasses and bridges of long-term operation, – this is the Beregovsky bridge in the city of Mukachevo and the overpass in the village of Vistova. The results of the analysis and synthesis of the above studies became the basis for establishing the corresponding design errors, defects and shortcomings in construction and shortcomings in the operation of bridges and overpasses. **Results.** The analysis of domestic and foreign scientific and technical sources regarding the technical condition of the constructed reinforced concrete, steel-reinforced concrete bridges and bridges and overpasses of long-term operation is carried out. The analysis and synthesis of the problems of ensuring the reliability and durability of transport structures in the conditions of their operation in the air, soil and water environment. It is established on real examples of design errors, defects and shortcomings in construction, shortcomings in operation. The possibility of restoring the bearing capacity using modern materials and technologies is shown. **Scientific novelty.** As a result of the analysis of transport structures, scientific and technical sources and a number of studies of reinforced concrete and steel-reinforced concrete structures of bridges built after the floods in 1998 and 2001 and bridges (overpasses) of long-term operation, it was possible to summarize the main reasons that significantly affect the degradation of the structures of these bridges and overpasses. The possibility of restoring their bearing capacity and durability using modern materials and technologies is shown. In particular, it was found that in addition to power factors, factors of the air, soil and water environment also significantly affect. **Practical significance.** On the basis of these data, and observing the indicated objects for 20 years, it was possible to generalize and establish design errors, defects and shortcomings in construction and shortcomings of long-term operation. This makes it possible to propose areas of theoretical and experimental research and calculation methods, to take them into account in the design and operation of such structures. In particular, on the basis of these data, a technique was created and tested on real objects, which makes it possible to significantly increase the durability and reliability of such structures, using modern materials and technologies for repair and restoration work.

Keywords: reinforced concrete; steel-reinforced concrete bridges; overpasses; tests; corrosion; loads; technologies; materials

REFERENCES

- Kvasha, V., Melnyk, I., Klympush, M., & Panchenko, O. (2004). First in Ukraine application Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) for strengthening RC bridge beams. *50 (L) Conf. Nauk., Naukowo-badawczy problemy budownictwa*, V, 47-54. (in English)
- Andreikiv, O. Ye., Luchko, Y. Y., & Panko, I. M. (2001). Rozrakhunok zalyshkovoho resursu vidpovidalnykh elementiv mostiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruktsiia mostiv i budivelnykh konstruksii*, 3, 9-22. (in Ukrainian)
- Batukhtina, A. H. (2002). Analiz chasovykh navantazhen mostiv krain Zakhidnoi Yevropy. *Mekhanika i fizyka ruinovannia budivelnykh materialiv ta konstruksii*, 5, 443-454. (in Ukrainian)
- Hnidets, B. H. (1999). Doslidzhennia i rehuliuвання napruzhenoho stanu zalizobetonnykh konstruksii mostiv u stadii budivnytstva i dovhotryvaloi ekspluatatsii. *Diahnostyka, dovhovichnist ta reheneratsiia mostiv budi-velnykh konstruksii iz zastosuvanniam suchasnykh tekhnolohii ta materialiv*, 1, 38-44. (in Ukrainian)
- Hnidets, B. H. (2000). Rekonstruktsiia i pidsyennia mostiv zi zminoiu statychnoi skhemy i rehuliuвання zusyl. *Mekhanika i fizyka ruinovannia budivelnykh materialiv ta konstruksii*, 4, 569-575. (in Ukrainian)
- Dekhtiar, A. S. (2001). Optymalni termyny i obiemy remontiv zalizobetonnykh mostiv. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruktsiia mostiv i budivelnykh konstruksii*, 3, 83-85. (in Ukrainian)
- Zakora, O. L., & Marochka, V. V. (2002). Hasinnia kolyvan rozriznykh prohinykh budivel mostiv. *Mekhanika i fizyka ruinovannia budivelnykh materialiv ta konstruksii*, 5, 478-483. (in Ukrainian)

- Ihnatyshyn, M. I. (2002). Analitychno-chyslovyi metod rozrakhunku vilno opertykh ortotropnykh plyt dla mostiv v systemi MATCAD. *Mekhanika i fizyka ruinuвання budivnykh materialiv ta konstruksii*, 5, 495-504. (in Ukrainian)
- Koval, P. M. (2000). Aktualnist diahnostryky mostovykh konstruksii dla zabezpechennia yikh dovhovichnosti. *Mekhanika i fizyka ruinuвання budivnykh materialiv ta konstruksii*, 4, 598-604. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., & Luchko, Y. Y. (1999). Problemy diahnostryky ta reheneratsii avtodorozhnykh mostiv Ukrainy. *Diahnostryka, dovhovichnist ta reheneratsiia mostiv budivnykh konstruksii iz zastosuvanniam suchasnykh tekhnologii ta materialiv*, 1, 48-58. (in Ukrainian)
- Koval, P. M., Luchko, Y. Y., & Stashuk, P. M. (2001). Otsinka trishchynostiikosti betoniv u mostovykh konstruksiiakh za metodom akustychnoi emisii. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 3, 91-99. (in Ukrainian)
- Kosiak, V. M. (2000). Neobkhdnist urakhuvannia navantazhen vid pidkhdnykh nasytiv u rozrakhunku ustov mostiv. *Mekhanika i fizyka ruinuвання budivnykh materialiv ta konstruksii*, 4, 605-609. (in Ukrainian)
- Lantukh-Liashchenko, A. I., & Kovalov, P. M. (1999). Do pytannia pro stvorennia natsionalnoi systemy ekspluatatsii mostiv. *Diahnostryka, dovhovichnist ta reheneratsiia mostiv budivnykh konstruksii iz zastosuvanniam suchasnykh tekhnologii ta materialiv*, 1, 70-76. (in Ukrainian)
- Lantukh-Liashchenko, A. I. (2000) Do proektu derzhavnykh budivnykh norm z otsinky tekhnichnoho stanu mostiv. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 2, 78-82. (in Ukrainian)
- Lantukh-Liashchenko, A. I. (2002). Prohnoz zalyshkovoho resursu elementiv transportnykh sporud. *Mekhanika i fizyka ruinuвання budivnykh materialiv ta konstruksii*, 5, 91-102. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Lantukh-Liashchenko, A. I., & Koval, P. M. (2000). Pro neobkhdnist rozrobky normatyvnykh dokumentiv po proektuvanniu ta ekspluatatsii mostiv Ukrainy. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 2, 91-103. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Stadnyk, M. M., Kharkhalis, M. R., & Ihnatyshyn, M. I. (2002). Ruinuвання mostiv tryvaloi ekspluatatsii. *Mekhanika i fizyka ruinuвання budivnykh materialiv ta konstruksii*, 5, 525-533. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Sulym, H. T., & Kyrian, V. I. (2004). *Mekhanika ruinuвання mostovykh konstruksii ta metody prohnozuvannia yikh zalyshkovo dovhovichnosti*. NAN Ukrainy; FMI im. H. V. Karpenka. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Koval, P. M., & Korniiiev, M. M. (2005). *Mosty: konstruksii ta nadiinist*. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, NAN Ukrainy, FMI im. H. V. Karpenka. (in Ukrainian)
- Panasiuk, V. V., Luchko, Y. Y., & Koval, P. M. (2002). Otsinka resursu konstruksii mostiv. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 4, 145-154. (in Ukrainian)
- Pokhodenko, A. H., Luchko, Y. Y., Koval, P. M., & Fal, A. Ye. (2001). Proektuvannia ta vlashtuvannia plyt proiznoi chastyny stalezalizobetonnykh mostiv Zakarpatskoi oblasti. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 3, 174-181. (in Ukrainian)
- Pokhodenko, A. H., Luchko, Y. Y., & Zarazka, V. B. (2008). Proektuvannia ta budivnytstvo monolitnykh zalizobetonnykh mostiv ta shliakhoprovodiv. *Diahnostryka, dovhovichnist ta rekonstruksii mostiv i budivnykh konstruksii*, 10, 172-182. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 01.09.2021.

Прийнята до друку 24.09.2021.