

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.014.27-422.12:624.21:625.745.2

Й. Й. ЛУЧКО¹, В. В. КОВАЛЬЧУК^{2*}

¹ Кафедра «Будівельні конструкції», Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівська обл., Україна, 80381, тел. +38 (097) 033 18 36, lychko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-3675-0503

^{2*} Кафедра «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, м. Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 223 72 43, ел. пошта: kovalchuk.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-4350-1756

ТЕХНІЧНИЙ СТАН ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ІЗ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Метою роботи є встановлення на підставі аналізу науково-технічних джерел реального технічного стану транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій (МГК). Проаналізувати досвід експлуатації МГК у ґрунтовому середовищі та сформулювати і узагальнити проблеми забезпечення надійності та довговічності споруд із МГК в умовах експлуатації на залізничних та автомобільних дорогах України. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було проведено огляд науково-технічних джерел і нормативних документів різних країн, щодо технічного стану транспортних споруд України. Зокрема, наведено дані про розподіл мостів і труб із МГК за видами транспорту. Показано, що розробки і впровадження нових технологій ремонту існуючих дефектних труб та малих мостів, як на залізницях так і автомобільних дорогах України є дуже актуальною проблемою. Проведено ґрунтовий аналіз досвіду експлуатації МГК у ґрунтовому середовищі у різних країнах. Наведено дані про основні недопустимі дефекти труб та причини їх розвитку. Наведено корозію МГК та інші дефекти. Представлено низку прикладів дефектів шляхопроводів, руйнування мостів і споруд із МГК в експлуатації. Також розглянуто якісні показники металевих гофрованих конструкцій, їх переваги і недоліки, сформульовано проблеми та аналіз забезпечення надійності та довговічності споруд із МГК в умовах експлуатації на залізницях та автомобільних дорогах України. **Результати.** Виконано аналіз вітчизняних і закордонних науково-технічних джерел, щодо технічного стану транспортних споруд України. Зокрема, вивчено та узагальнено досвід експлуатації МГК у різних країнах світу. Проведено аналіз і синтез проблем забезпечення надійності та довговічності споруд із МГК в умовах експлуатації на залізницях та автомобільних дорогах України. **Наукова новизна.** У результаті аналізу технічного стану транспортних споруд, які експлуатуються на залізничних та автомобільних дорогах України встановлено, що близько 15 % транспортних споруд – малі та середні мости і водопропускні труби на залізницях України і близько 45 % транспортних споруд на автомобільних дорогах України мають недопустимі дефекти і потребують негайного ремонту і заміни. Також, встановлено на підставі науково-дослідних робіт, що відсутні методи оцінки несучої здатності транспортних споруд із МГК при наявності у тілі насипу залізничної колії чи автомобільної дороги металевих гофрованих конструкцій діаметром більшим за 6 м. Встановлено, що у нормативних документах відсутні вказівки з проектування та моніторингу споруд із МГК на залізничних коліях. **Практична значимість.** На підставі цих даних вдалось запропонувати напрямки теоретичних і експериментальних досліджень і методів розрахунку, випробовувань МГК і діагностики технічного стану транспортних споруд із МГК. Зокрема, вимірювання впливу навколишнього середовища на несучу здатність МГК та вимірювання залишкових деформацій металевої гофрованої труби на залізничній колії. Виконання аналізу і синтезу методів розрахунку транспортних споруд із МГК призведе до удосконалення методів розрахунку споруд із МГК.

Ключові слова: транспорт; металеві гофровані конструкції; водопропускні труби; транспортні споруди

Вступ

Проблеми дотримання безпечної експлуатації конструкцій будівель і споруд, зокрема, бетонних, залізобетонних і сталебетонних, а також прогонових будов мостів і водопропускних труб, в тому числі, із металевих гофрованих конструкцій (МГК) є одними із найважливіших завдань сучасної інженерії для забезпечення

надійної роботи інженерно-технічних галузей економіки індустріальної держави.

Значно підвищилися в останні роки об'єми реконструкції, ремонтів і перебудов (залишених нам довгобудів). Переважна більшість конструкцій будівель і споруд піддається складним експлуатаційним впливам: комплексу силових навантажень, постійних і тимчасових

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

навантажень, динамічних і сейсмічних навантажень і комплексу кліматичних впливів середовища та ін.

Тому для вирішення цих проблем розпорядженням Кабінету міністрів України від 11 червня 2003 р. було затверджено концепцію Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки. Її реалізація втілюється у практичних заходах, які покликані забезпечити дотримання та удосконалення нормативної бази з питань надійності та безпеки експлуатації технологічного устаткування, виконання комплексу відповідних цільових програм.

Серед таких програм чільне місце посідає і цільова програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин». Нею серед інших заходів передбачено підготовку серії довідникових видань, в яких висвітлюється дослідження науки та інженерної практики, зокрема і обстеження і дослідження транспортних споруд тривалої експлуатації та методів оцінки процесів руйнування, міцності і довговічності конструкційних матеріалів, елементів конструкцій будівель і споруд у заданих експлуатаційних умовах.

У рамках цієї цільової програми було створено низку праць (довідників), які узагальнювали дослідження та випробовування конструкцій будівель і споруд. Зокрема, за останні 15 років обстежено та досліджено низку транспортних споруд на автомобільних та залізничних

дорогах України. Приклади аналізу технічного стану транспортних споруд України наведено нижче.

Постановка проблеми

Останнім часом відбувається погіршення стану транспортних споруд, у тому числі побудованих і за типовими проектами. Це зумовлено впливом навколишнього середовища, фізичним зносом і старінням матеріалів та конструкцій, підвищенням осьових навантажень і швидкостей руху транспорту тощо (Ковальчук, 2015; Електронний ресурс, а; Електронний ресурс, б).

Згідно з даними Аналітичної експертної системи управління мостами (Цинка, & Боднар, 2020) всього на дорогах загального користування обліковується 16155 мостів (з них 15392 – на підконтрольній Україні території), з них на дорогах державного значення – 5845 мостів (з них 5458 – на підконтрольній Україні території), на дорогах місцевого значення – 10310 (з них 9934 – на підконтрольній Україні території).

Згідно із статистичними даними (Електронний ресурс, а), акціонерним товариством АТ «Укрзалізниця» станом на 01.01.2019 р. експлуатується близько 7 тис. мостів, 90 шляхопроводів, 251 пішохідний міст та 10940 водопропускних труб. Водночас різного роду дефекти мають понад 2,5 тис. споруд, або 14,3 % від загальної кількості. 1431 залізничний міст має несправності, що складає 20,5 % (рис. 1).

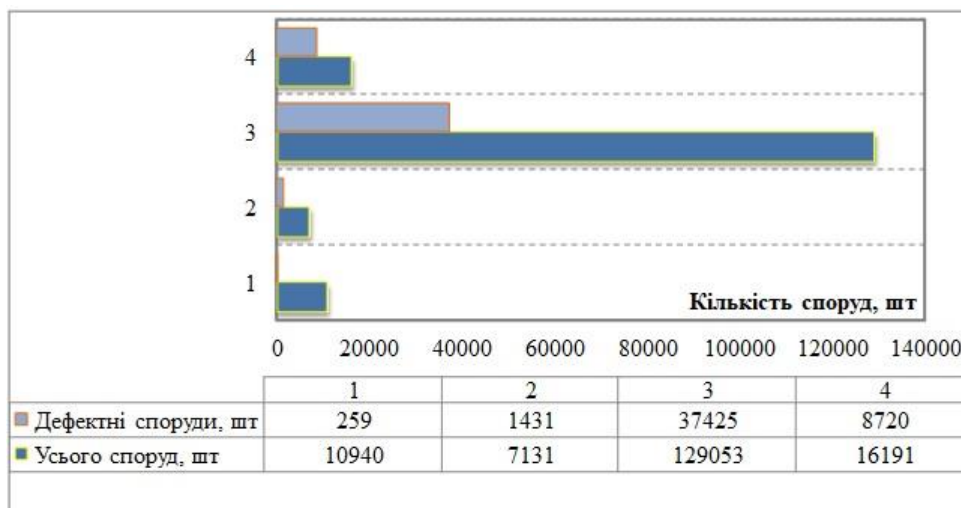


Рис. 1. Розподіл мостів та труб за видами транспорту:

1, 2 – водопропускні труби та мости відповідно на залізницях України;

3, 4 – водопропускні труби та мости відповідно на автомобільних дорогах України

Близько 259 водопропускних труб є дефектними та потребують негайного капітального ремонту.

Службою автомобільних доріг України (Укравтодор) експлуатується 16155 мостів, і близько 63,5 % на дорогах загального користування не відповідають сучасним нормам (Цинка, & Боднар, 2020).

Аналіз за експлуатаційним станом на 01.05.2020 року показує, що на дорогах державного значення у 5 непрацездатному стані перебуває 124 моста, у 4 обмежено працездатному – 028 мостів, у 3 працездатному – 2377, у 2 обмежено справному – 458, у 1 справному стані – 103 споруди.

У даній роботі для відновлення аварійних ділянок і підвищення несучої здатності дефектних транспортних споруд на залізничних та автомобільних дорогах України пропонується застосування тонкостінних металевих гофрованих конструкцій.

Впровадження економічно доцільних споруд забезпечить ефективне капіталовкладення, що спричинить збільшення їх терміну служби, а це, у свою чергу, – економію державних коштів на ремонт та реконструкцію споруд. Вирішення цього завдання у галузі капітального будівництва споруд пов'язане із раціональним використанням виділених капітальних вкладень, які залежать від обґрунтованості рішень, прийнятих на стадії проектування та ремонту транспортних споруд (Ковальчук, 2015). Порівняльний аналіз трьох ділянок, на яких залізобетонні транспортні споруди замінені спорудами із металевих гофрованих конструкцій, засвідчив, що сукупний економічний ефект становить 26,4...36,2 % (Євразія Вести: Транспортная газета, Гнатюк, 2011).

Тому одним із головних напрямків економічної політики держави має бути підвищення ефективності роботи всіх галузей народного господарства, що не можливо без задовільного стану транспортної інфраструктури (Ковальчук, 2015).

Мета

На основі аналізу науково-дослідних даних та досвіду експлуатації металевих гофрованих конструкцій у ґрунтовому середовищі у нашій країні та закордоном та аналізу проблем забезпечення надійності і довговічності транспорт-

них споруд із МГК – дати науково узагальнену інформацію про технічний стан транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій. Сформувані необхідні заходи для покращення роботи транспортних споруд із МГК на залізничних та автомобільних дорогах України.

Аналіз досліджень та публікацій

Досвід експлуатації транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій у ґрунтовому середовищі. Металеві гофровані конструкції почали застосовуватися для будівництва водопропускних та інших підземних споруд з кінця XIX століття (1875 р.) (Лучко, Ковальчук, & Кравець, 2019; Kovalchuk, 2015; Герцог, 1939; Колоколов, Янковский, Щербина, & Черняховская, 1973; Фрезе, 2006; Жинкин, 2011; Handbook of steel, 2002). На даний час накопичено значний досвід експлуатації металевих гофрованих конструкцій, які знаходяться під насипами залізничних та автомобільних доріг у вигляді водопропускних труб чи малих мостів (Янковский, & Желтов, 1973).

Досвід експлуатації труб із МГК у період із 1875 р. по 1912 р. виявив їх низьку експлуатаційну надійність. Значна частина труб із МГК отримала пошкодження у вигляді випучування частини конструкції всередину труби. Це спричинило потребу у проведенні масових обстежень технічного стану гофрованих металевих труб. Такі обстеження були проведені в 1913 р. (Колоколов, Янковский, Щербина, & Черняховская, 1973). При цьому було обстежено понад 60000 погонних метрів водопропускних труб, побудованих у період 1885 – 1913 рр. Дефектними визнано 30 % труб, з них 21 % мали недопустимі прогини та просідання склепіння труби, а 9 % – були сильно пошкоджені корозією (Колоколов, Янковский, Щербина, & Черняховская, 1973).

Після 1941 р. металеві гофровані конструкції почали застосовувати у якості тимчасових штучних споруд при відновленні та будівництві транспортних споруд.

У 1963 р. було наведено результати 50-річної експлуатації труб із металевих гофрованих конструкцій, у результаті чого встановлено, що 55,7 % труб від загальної кількості побудованих мали дефекти (Колоколов, Янковский, Щербина, & Черняховская, 1973; Фрезе, 2006).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Новий досвід експлуатації труб із МГК у період з 1975 р. по 1979 р. виявився не цілком виправданим (Янковский, & Желтов, 1973; Янковский, & Черкасов, 1978; Янковский, 1972; Виноградов, & Кружалов, 1959). Металеві гофровані труби, укладені при будівництві БАМу, отримали серйозні пошкодження у перший рік експлуатації.

Після 2000 р., у зв'язку з удосконаленням виготовлення самих гофрованих листів і виконання якісної ґрунтової засипки, споруди із МГК почали використовувати при капітальному будівництві, як для пропуску води (труби до 3 м), так і в якості альтернативи малих мостів (труби з прогоном 6 м і більше), що відображено у роботах (Ковальчук, 2015; ОДМ 218.2.001-2009, 2009; AASHTO, 2001; Duncan, & Drawsky, 1983; CSPI, 2002; Петрова, 2001; Лучко, Распопов, & Коваль, 2014; Беляев, 2014).

У США вперше споруди із МГК з'явилися у 1896 р. (Цинка, & Боднар, 2020; Handbook of steel, 2002; AASHTO, 2001; Петрова, 2001). Спочатку будували труби невеликих отворів, пізніше, в міру виготовлення більш потужного металевого профілю, почали будувати великі споруди: мости типу арокних, шляхопроводи, тунелі та потужні огорожі. Поширеними формами поперечних перерізів споруд із МГК у США були кругла, еліптична і арокна замкнута конструкції. Дослідивши довговічність, корозійну стійкість і надійність оцинкованих МГК, американці визнали їх придатними як для суворих умов Канади та Аляски, так і для тропіків Африки, Азії та Південної Америки. Будували їх під насипами висотою до 40 м і для пропуску значних витрат води.

Каліфорнійське відділення автомобільних доріг США за період з 1926 р. по 1965 р. провело обстеження понад 12 тис. водопропускних гофрованих труб різних розмірів і форм (Handbook of steel, 2002). У результаті обстежень встановлено, що в окремих спорудах були дефекти, аналогічні дефектам, наведеним у вітчизняних дослідженнях.

Асоціація американських залізничних інженерів (AREA) у 1953 р. (Фрезе, 2006) опублікувала дані за результатами перевірки технічного стану 300 водопропускних металевих труб діаметром від 1,52 м і більше. Аналогічне обстеження 125 споруд було проведено в 1952 р. на

Середньо-Західній залізниці США. У результаті обстеження встановлено, що надійність і стійкість тонкостінних металевих труб забезпечується тільки при дотриманні правил якісного ущільнення ґрунтової засипки.

В інших країнах споруди із МГК знайшли широке застосування тільки в останні 50 років (Металлические гофрированные конструкции, 2008; Mohamed El Taherl, & Ian D, 2009; Spangler, 1941; Mechelski, 2008; Лучко, Ковальчук, & Кравець, 2017; Weben, & Mańko, 2005). На даний час масового застосування такі споруди набули у країнах Європейського Союзу (Duncan, & Drawsky, 1983). Відомими виробниками металевих гофрованих конструкцій типу MultiPlate, SuperCor та HelCor є канадська фірма ARMTEC (гофри 152×51 мм і 400×150 мм при товщині 3...7 мм), італійська FRACASSO (152×51 мм, товщина 3...7 мм), норвезько-шведсько-фінська фірма VIACON (150×50 мм, товщина 3...7 мм). Перераховані фірми забезпечують потреби в металевих гофрованих конструкціях країни Європи, Америки, Африки та Австралії.

Сучасний рівень розвитку даної галузі дозволяє будувати мости і тунелі прогоном 20 м і більше: міст у Бистриці, Словаччина, – 20,67 метрів; скотопробіг над дорогою в Південній Кореї – 23 метри; міст над річкою Шейот в Альберті (Канада) – 24 метри (CSPI, 2002).

Починаючи із 2010 р. в Україні також почали будувати транспортні споруди із МГК (Ковальчук, 2015; Металлические гофрированные конструкции; Гнатюк, 2011; Лучко, Распопов, & Коваль, 2014; Лучко, Ковальчук, & Кравець, 2017; Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007, 2007). Такі споруди побудовані в АР Крим на автомобільній дорозі Київ – Одеса, Харків – Сімферополь, Київ – Харків – Довжанський (рис. 2, а) тощо. Перша транспортна споруда із МГК під залізницею побудована на дільниці Вадул – Сирет – Держжордон регіональної філії АТ Укрзалізниця (Гнатюк, 2011) (рис. 2, б).

Враховуючи часті повені у весняну та осінню пори року, які спричиняють руйнування мостів та підмивання насипів залізничних колій (рис. 3, а, б), одним із напрямків реконструкції та заміни дефектних малих мостів та водопропускних труб є будівництво транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.



Рис. 2. Шляхопровід із металевих гофрованих конструкцій:
на км 228+160 автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський (а) (Компанія ViaCon);
труба із МГК на дільниці Вадул – Сирет – Держжордон Львівської залізниці (б)



Рис. 3. Дефекти споруд в експлуатації:
а) руйнування кам'яного аркового моста; б) розмив насипу залізничної колії під час паводку

На ділянці Вадул – Сирет – Держжордон, яка з'єднує Україну з Румунією, під час літніх паводків був зруйнований кам'яний арковий міст. Відновлення ділянки міжнародного значення потрібно було виконати негайно, і тільки завдяки застосуванню труби із МГК діаметром понад 6 м дозволило її відновити в стислі терміни і зекономити до 7 млн. грн. (Гнатюк, 2011) тільки на будівництві, не враховуючи коштів, які залізниця понесла б у випадку тривалого перекриття руху.

Застосування металевих гофрованих конструкцій є на сьогоднішній день дуже актуальним питанням в Україні. Так, при реконструкції проїжджої частини дороги між вулицями Ельворті та Миколи Левитського у м. Кропивницькому (рис. 4) побудовано шляхопровід із мета-

левих гофрованих конструкцій, для пропуску залізничного та автомобільного транспорту.

Параметри споруди: ширина – 9,23 м; висота – 8,12 м; розмір гофри листа конструкції 380×140 мм; товщина металу – 6,0 мм; антикорозійний захист (цинкове покриття товщиною 85...90 мк), загальна довжина споруди – 34,42 м.

Завдяки аналізу досвіду застосування металевих гофрованих конструкцій у різних країнах світу якісні показники МГК узагальнені у табл. 1, з якої видно, що транспортні споруди з металевих гофрованих конструкцій мають ряд переваг перед класичними спорудами з металу чи залізобетону (Колоколов, Янковський, Щербина, & Черняховская, 1973).

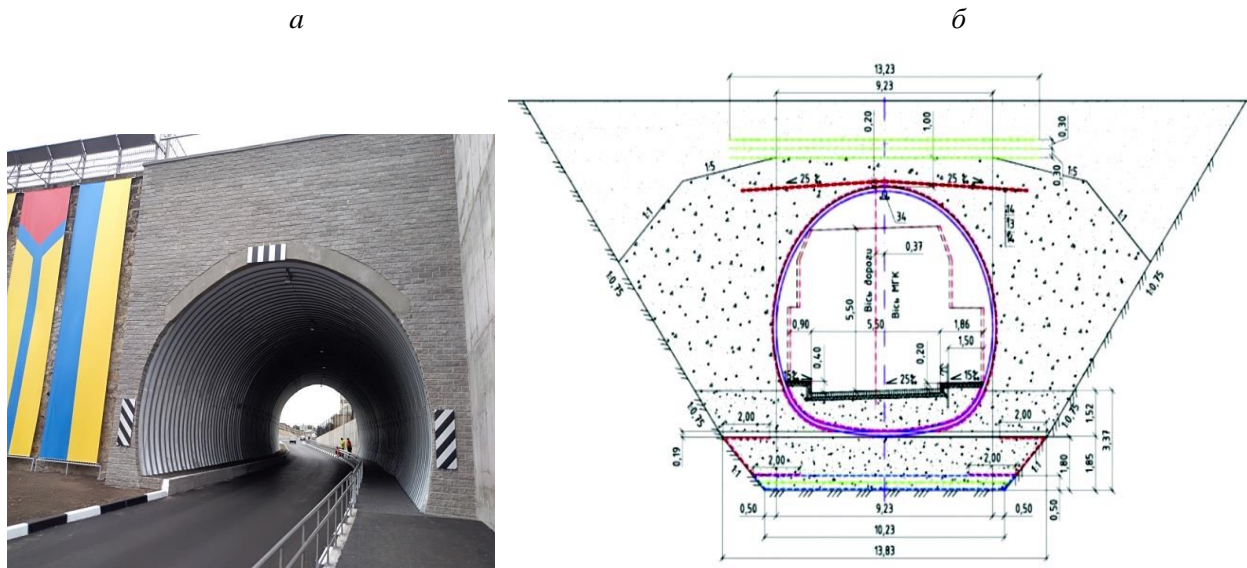


Рис. 4. Шляхопровід із металевих гофрованих конструкцій (м. Кропивницький):
а) вигляд споруди; б) поперечний переріз

Таблиця 1

**Якісні показники металевих гофрованих конструкцій
(Колоколов, Янковский, Щербина, & Черняховская, 1973)**

№	Оцінювальний показник	Параметри
1	Швидкість будівництва	Висока швидкість будівництва.
2	Трудоемкість будівництва	У порівнянні з залізобетонними і бетонними в кілька раз нижча.
3	Термін служби	Термін служби до 100 років. Низькі витрати на підтримку працездатності, окрім початкового періоду стабілізації ущільнення ґрунтової засипки.
4	Важкість монтажу	Досить простий монтаж без використання спеціальної техніки. Монтаж можливий у будь-яку пору року.
5	Маса споруди	Мають малу масу.
6	Використання в особливих умовах	Мають високу міцність. Гнучкість труби дозволяє витримувати досить великі сейсмічні навантаження.
7	Вартість	Будівництво транспортних споруд із МГК обходиться на 15...20 % дешевше, аніж будівництво з інших матеріалів. Крім цього, через невелику вагу конструкцій можлива доставка будь-яким видом транспорту.

Проте, крім переваг, даний тип конструкцій має і недоліки під час експлуатації, які детально наведемо у наступному підрозділі дисертаційної роботи.

Проблеми забезпечення надійності та довговічності споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації на залізницях та автомобільних дорогах України. У липні 2019 р. у містах Любліні та Добровіца (Поль-

ща) були проведені обстеження технічного стану споруд із МГК (триотворних, арочних, замкнутого поперечного перетину із плоскою основою та ін.). Вигляд споруд наведено на рис. 5. В окремих спорудах виявлено просідання склепіння конструкцій, відшарування бетону у фундаменті арочних конструкцій. Велика кількість споруд із МГК була замулена та заросла рослинністю.



Рис. 5. Обстеження споруд із МГК (Польща):
а) триотворна арочна труба; б) труба замкнутого контуру із плоскою основою

Крім цього, у процесі експлуатації споруд із МГК зустрічаються дефекти у вигляді надлишкових деформацій вертикального та горизонтального діаметрів труби (рис. 6, а); утворення пластичного шарніру (рис. 6, б); втрата стійкості форми поперечного перетину споруди і де-

формації укріплення укосів насипу; викришування металу біля болтових з'єднань (рис. 7, а) та провисання склепіння труби (рис. 7, б) (Металлические гофрированные конструкции; Кочмарук, 2010; Ковальчук, 2015; Лучко, & Ковальчук, 2015).

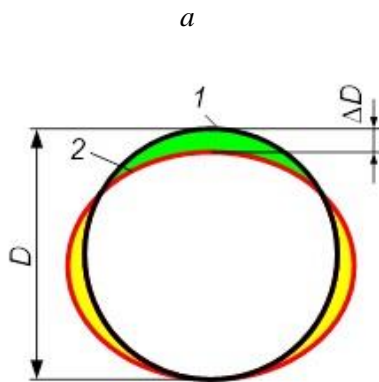


Рис. 6. Деформації поперечного перерізу споруд із металевих гофрованих конструкцій:
 D – проектний діаметр; ΔD – величина деформації;
1 – проектне положення труби із МГК; 2 – деформований стан труби із МГК

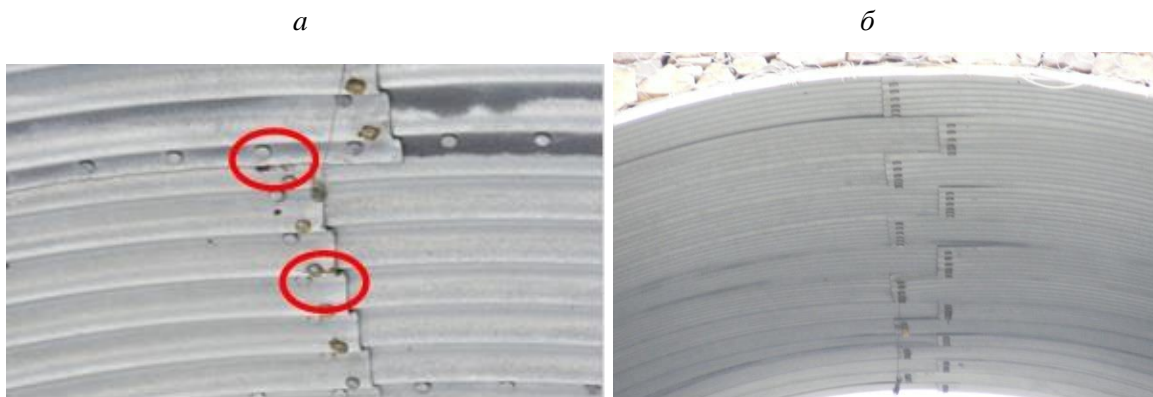


Рис. 7. Викришування металу у зоні болтових з'єднань (а) та деформування склепіння труби із МГК (б)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Втрата форми споруди негативно позначається як на експлуатаційних властивостях ділянки залізничної колії чи автомобільної дороги (поява ям у полотні автомобільної дороги чи нерівності на залізничній колії над металевою гофрованою конструкцією), так і на її довговічності.

Зустрічаються пошкодження споруд із МГК у вигляді вимивання ґрунту з пазах ґрунтового конверта та пошкодження у вигляді абразивного зносу та корозії металу конструкції (Лучко, & Ковальчук, 2015; Maday, Vaslestad, & Janusz, 1998; Mair, Gumbel, & Spasojevic, 2007; Mak, Brachman, & Moore, 2009; Mathews, Simicevic, Kestler, & Pieh, 2012; Овчинников, И. И., Ов-

чинников, И. Г., Блинков, & Зарудний, 2017; Осокин, 2014; Петрова, 2011).

При експлуатації часто спостерігається зростання понаднормових деформацій і навіть повна втрата форми споруд із МГК (рис. 8). Зокрема на об'їзній автодорозі в Сімферополі 28 вересня 2014 р. на км 1+350 ділянки автомобільної дороги Сімферополь – Євпаторія – Мирне – Дубки (Овчинников, И. И., Овчинников, И. Г., Блинков, & Зарудний, 2017) сталося руйнування дорожнього полотна автомобільної дороги над транспортною спорудою із металевих гофрованих конструкцій, що спричинило загибель людей.



Рис. 8. Обвалення дороги над металевою гофрованою конструкцією на км 1+350 ділянки автомобільної дороги Сімферополь – Євпаторія – Мирне – Дубки

За висновком експертної комісії (Овчинников, И. И., Овчинников, И. Г., Блинков, & Зарудний, 2017) причиною руйнування дороги було зростання просідання ґрунту насипу, у результаті чого поздовжні зусилля у гофрованій конструкції збільшилися на 10 тон, що спричинило вичерпання несучої здатності металевої гофрованої конструкції.

Крім цього, у процесі експлуатації спостерігалися розмиви насипів залізничних і автомобільних доріг, як в Україні, так і за кордоном, що призводило до руйнування водопропускних труб із МГК та аварій транспортних засобів (Осокин, 2014; Петрова, 2011).

Наукова новизна та практична значимість

У даній роботі на основі аналізу науково-технічних джерел встановлені відомості про

технічний стан транспортних споруд, які експлуатуються на залізничних та автомобільних дорогах України. Зокрема, встановлено, що близько 15 % транспортних споруд – малі мости і водопропускні труби на залізницях України і близько 45 % на автомобільних дорогах мають недопустимі дефекти. Відсутні методи оцінки несучої здатності транспортних споруд із МГК при великих діаметрах труб (більше 6 м) у тілі насипу автомобільних доріг чи залізничної колії. Встановлено і узагальнено основні проблеми забезпечення надійності і довговічності споруд із МГК. На підставі цих даних можна запропонувати напрямки теоретичних і експериментальних досліджень, методів розрахунку та випробовувань конструкцій із МГК. Виконувати діагностику технічного стану споруд, зокрема, встановлення впливу навколишнього се-

редовища на несучу здатність транспортних споруд та вимірювання залишкових деформацій для оцінки їх надійності і довговічності.

Висновки

1. На підставі аналізу технічного стану транспортних споруд України та досвіду експлуатації МГК у ґрунтовому середовищі в різних країнах світу та синтезу проблем забезпечення надійності і довговічності таких споруд на залізницях і автомобільних дорогах України встановлено, що металеві гофровані конструкції є перспективними для створення транспортних споруд на залізничних і автомобільних дорогах. Вони можуть використовуватись в якості альтернативи малим мостам, шляхопроводам та водопропускним трубам та при ремонті дефектних труб із інших матеріалів.

2. Досвід утримання та експлуатації МГК як у нашій країні, так і закордонних країнах показує, що на даний час практично не забезпечується їх технічний ресурс, який повинен відповідати проєктній довговічності транспортних споруд із МГК. Це вимагає проведення регулярного моніторингу та оцінки їх технічного стану, прогнозування змін несучої здатності, оцінки залишкового ресурсу та розробки заходів і засобів для забезпечення необхідної надійності і довговічності.

3. Аналізом науково-дослідних робіт встановлено, що металеві гофровані конструкції є вимогливими як до якості проєктування, так і до будівництва споруд. Велике значення має вплив на стійкість форми конструкції саме ступінь ущільнення ґрунтової засипки при спорудженні транспортних споруд із МГК.

На появу дефектів і пошкоджень цих споруд впливають також і недосконалість методів розрахунку МГК. Зокрема, жоден нормативний документ України не містить вказівок з проєктування і оцінки несучої здатності МГК при експлуатації їх на залізничних коліях. Тому для ефективного застосування МГК потрібно розробити методи для оцінки несучої здатності таких конструкцій.

4. Розробка і впровадження нових технологій ремонту існуючих дефектних труб та малих мостів та будівництво транспортних споруд із МГК, є актуальною проблемою. Її вирішення дасть можливість зекономити витрати коштів на ремонт, а відповідно і забезпечить віднов-

лення аварійних ділянок без переривання руху залізничного чи автомобільного транспорту. Це, у свою чергу, забезпечить безперебійність транспортних потоків, особливо на прикордонних транспортних шляхах, які з'єднують Україну з країнами Європейського Союзу.

5. Споруди із МГК на сьогоднішній день характеризуються відносно низькою експлуатаційною надійністю і довговічністю, що підкреслює необхідність розробки нових методів оцінювання та підвищення несучої здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- AASHTO (2001): Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249. Washington, D. C.
- Beben, D., & Maňko, Z. (2005). Tests of arch bridge made from corrugated steel plates. *Archives of civil and mechanical engineering*, 4, 53-76.
- CSPI (2002). Canadian Steel Pipe institute, Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products.
- Duncan, J. M. & Drawsky, R. H. (1983). Design Procedures for Flexible Metal Culvert Structures, Reports No. UCB/GT/83-02. *Department of Civil Eng.*, University of California, Berkeley.
- Handbook of steel drainage and highway construction products (2002). American Iron and Steel Institute.
- Kovalchuk, V. V. (2015). Erweiterung der Verkehrsanlagen durch den Einsatz von Wellblechstrukturen auf Rai und Strassen Ukraine. *Матеріали міжнародного технічного семінару «Перспективні технології ремонту земляного полотна та верхньої будови колії»*, 20-21.
- Maday, A. Vaslestad, J., & Janusz, L. (1998). "In situ" testing of a long span, corrugated steel culvert used to rehabilitate a concrete frame: railway viaduct. *ViaCon*.
- Mair, R. J., Gumbel, J. E., & Spasojevic, A. D. (2007). Centrifuge modelling of the effects of soil loading on flexible sewer liners. *Journal Geotechnique*, 4, 331-341.
- Mak, A. C. Brachman, R. W. I., & Moore, I. D. (2009). Measured response of a deeply corrugated box culvert to three dimensional surface loads. *Transportation Research Board Annual Conference*, 09-3016.
- Mathews, J. C., Simicevic, J., Kestler, M. A., & Pieh, R. (2012). *Decision analysis guide for corrugated metal culvert rehabilitation and replacement using trenchless technology*. Washington D.C.: United States Department of Agriculture. Forest Service.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Mechelski, C. (2008). *Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych*. Wrocław.
- Mohamed El Taherl, & Ian D (2009). Moore Stability of deteriorated metal culverts including the effect of soil erosion GeoEngineering Centre at Queen's. *RMC, Queen's University, Kingston, ON.*: Toronto, Ontario Canada.
- Spangler, M. G. (1941). The structural design of flexible pipe culverts. *Iowa Eng. Exp. Station Bulletin*, 153.
- Беляев, В. С. (2014). Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. *Науковедение*, 1(20).
- Виноградов, С. В., & Кружалов, Ю. М. (1959). *Натурные испытания на прочность и устойчивость подземных стальных тонкостенных труб большого диаметра*. Москва: Отдел научно-технической информации.
- Герцог, А. А. (1939). *Гофрированные трубы на автомобильных дорогах*. Москва: Гушосдор.
- Гнатюк, І. (2011). Новий «стиль» старого мосту. *Всеукраїнська транспортна газета «Magistраль»*. [Електронний ресурс] режим доступу: www.magistral-uz.com.ua.
- Електронний ресурс (а). Зберегти довжину залізничного полотна без ринкового тарифу: місія не здійсненна. *Залізничний інформаційний портал*. Режим доступу: <https://info.uz.ua/articles/zberegti-dovzhinu-zaluznichnogo-polotna-bez-rinko-vogo-tarifu-misiya-nezdiysnenna>
- Електронний ресурс (б). Технічний стан автомобільних доріг загального використання. *Залізничний інформаційний портал*. Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/tehnicniy-stand-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogovikoristannya.html>
- Жинкин, А. (2011). Проблемы и перспективы типового проектирования металлических гофрированных конструкций. *Транспорт Российской Федерации*, 2, 53-54.
- Ковальчук, В. В. (2015). Перспективи застосування металевих гофрованих конструкцій на залізничних та автомобільних дорогах України. *Залізничний транспорт України*, 2(111), 32-37.
- Колоколов, Н. М., Янковский, О. А., Щербина, К. Б., & Черняховская, С. Э. (1973). *Металлические гофрированные трубы под насыпями*. Москва: Транспорт.
- Кочмарук, В. М. (2010). Аналіз факторів, які впливають на руйнування труби. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, 118, 140-143.
- Лучко, Й. Й., & Ковальчук, В. В. (2015). Застосування металевих гофрованих конструкцій при ремонті дефектних залізобетонних труб на залізничних та автомобільних дорогах України. *Актуальні проблеми наукового й освітнього простору в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, 337-340.
- Лучко, Й. Й., Ковальчук, В. В., & Кравець, І. Б. (2019). *Мости і труби з гофрованих металевих конструкцій та моніторинг ґрунтових основ доріг і споруд*. Львів: Світ.
- Лучко, Й. Й., Ковальчук, Ю. С., & Кравець, І. Б. (2017). Методи оцінки напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій. *Мости і тунелі: теорія, дослідження, практика*, 11, 30-41.
- Лучко, Й. Й., Распопов, О. С., & Коваль, П. М. (2014). *Мости, труби і тунелі*. Львів: Каменяр.
- Металлические гофрированные конструкции: достоинства и перспективы. *Евразия Вести: Транспортная газета*. Министерство транспорта РФ, 2008, № 2.
- Овчинников, И. И. Овчинников, И. Г., Блинков, М. А., & Зарудный, А. И. (2017). Расчетная оценка возможных причин разрушения гофрированной трубы под автомобильной дорогой в Крыму. *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*, 4(1), 19.
- ОДМ 218.2.001-2009. (2009). Рекомендации по проектированию водопропускных металлических гофрированных труб: Распоряжение Федерального дорожного агентства от 21 июля 2009 г., № 252-р.
- Осокин, И. А. (2014). Совершенствование методов расчета металлических гофрированных конструкций с эксплуатационными повреждениями. *Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук*. Екатеринбург.
- Петрова, Е. Н. (2001). Сооружения из металлических гофрированных элементов под насыпями автомобильных и железных дорог. *Подземное пространство мира*, 1, 7-11.
- Петрова, Е. Н. (2011). Совершенствование методов расчета обделок тоннелей из стальных гофрированных элементов. *Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук*. Москва.
- Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 (2007). Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007.
- Фрезе, М. В. (2006). Взаимодействие металлических гофрированных конструкций с грунтовой средой. *Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук*. Санкт-Петербург.
- Цинка, А. О., & Боднар, Л. П. (2020). Дослідження стану мостових переходів на основі аналітичної

експертної системи управління мостами. *Дороги і мости*, 21, 270-281.

Янковский, О. А. (1972). Экспериментальные исследования водопропускных труб из гофрированного металла на опытных объектах и в лабораторных условиях с разработкой предложений по конструкциям и условиям сооружения серии опытных металлических труб в разных районах страны для включения в план строительства на

1971-1972 гг. *Строительство железных дорог: Реф. сборник. Трансп. стр-во*, 1, 14.

Янковский, О. А., & Желтов, О. Е. (1973). Опытное строительство металлических гофрированных водопропускных труб [на ж.д. Тюмень – Сургут]. *Транспортное строительство*, 2, 14-16.

Янковский, О. А., & Черкасов, К. А. (1978). *Сооружение металлических гофрированных водопропускных труб: зарубежный опыт*. Москва: Транспорт.

J. J. LUCHKO¹, V. V. KOVALCHUK^{2*}

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

^{2*} Department of Rolling stock and track, Dnipro national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Lviv branch, I. Blazhkevych Str. 12 a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 223 72 43, e-mail kovalchuk.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-4350-1756

TECHNICAL CONDITION OF CORRUGATED METAL TRANSPORT STRUCTURES

Purpose. The purpose of the work is to establish the real technical condition of transport structures made of corrugated metal structures on the basis of the analysis of scientific and technical sources. And to analyze the experience of operation of metal corrugated structures in the soil environment and to form and generalize the problems of ensuring the reliability and durability of structures made of metal corrugated structures in the conditions of operation on railways and highways of Ukraine. **Methodology.** To achieve this goal, a review of scientific and technical sources and regulations of different countries on the technical condition of transport facilities in Ukraine was conducted. In particular, data on the distribution of bridges and pipes made of corrugated metal structures by mode of transport are given. It is shown that the development and implementation of new technologies for the repair of existing defective pipes and small bridges, both on the railways and highways of Ukraine is a very important issue. A thorough analysis of the experience of operation of corrugated metal structures in the soil environment in different countries was conducted. Data on the main inadmissible defects of pipes and the reasons of their development are given. CMS' (corrugated metal structures) corrosion and other defects are given. A number of examples of overpass defects, collapse of bridges and structures with MCS in operation are presented. The qualitative indicators of metal corrugated structures, their advantages and disadvantages are also considered, the problems and the analysis of ensuring the reliability and durability of the structures with CMS in the conditions of operation on the railways and highways of Ukraine are formulated. **Findings.** An analysis of domestic and foreign scientific and technical sources on the technical condition of transport facilities in Ukraine was conducted. In particular, the experience of operation of corrugated metal structures in different countries of the world is studied and generalized. The analysis and synthesis of problems of ensuring the reliability and durability of buildings with CMS in the conditions of operation on the railways and highways of Ukraine. **Originality.** As a result of the analysis of the technical condition of transport facilities operated on railways and highways of Ukraine, it was found that about 15 % of transport facilities – small and medium bridges and culverts on Ukrainian railways and about 45 % of transport facilities on Ukrainian roads have unacceptable defects and require immediate repair and replacement. Also, it was established on the basis of research that there are no methods for assessing the load-bearing capacity of transport facilities with CMS in the presence in the body of the embankment of the railway or highway metal corrugated structures with a diameter greater than 6 m. It was determined that standards don't include regulations on design and monitoring of CMS on railway tracks. **Practical value.** On the basis of these data it was possible to offer directions of theoretical and experimental research and methods of calculation, tests of CMS and diagnostics of a technical condition of transport structures with CMS. In particular, the measurement of the impact of the environment on the bearing capacity of the CMS and the measurement of residual deformations of the corrugated metal pipe on the railway track. Execution of the analysis and synthesis of methods of calculation of transport constructions with CMS will lead to improvement of methods of calculation of CMS.

Keywords: transport; corrugated metal structures; culverts; transport structures

REFERENCES

- AASHTO (2001): Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249. Washington, D. C. (in English)
- Beben, D., & Maňko, Z. (2005). Tests of arch bridge made from corrugated steel plates. *Archives of civil and mechanical engineering*, 4, 53-76. (in English)
- CSPI (2002). Canadian Steel Pipe institute, Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products. (in English)
- Duncan, J. M. & Drawsky, R. H. (1983). Design Procedures for Flexible Metal Culvert Structures, Reports No. UCB/GT/83-02. *Department of Civil Eng.*, University of California, Berkeley. (in English)
- Handbook of steel drainage and highway construction products (2002). American Iron and Steel Institute. (in English)
- Kovalchuk, V. V. (2015). Erweiterung der Verkehrsanlagen durch den Einsatz von Wellblechstrukturen auf Rai und Strassen Ukraine. *Матеріали міжнародного технічного семінару «Перспективні технології ремонту земляного полотна та верхньої будови колії»*, 20-21. (in German)
- Maday, A. Vaslestad, J., & Janusz, L. (1998). "In situ" testing of a long span, corrugated steel culvert used to rehabilitate a concrete frame: railway viaduct. *ViaCon*. (in English)
- Mair, R. J., Gumbel, J. E., & Spasojevic, A. D. (2007). Centrifuge modelling of the effects of soil loading on flexible sewer liners. *Journal Geotechnique*, 4, 331-341. (in English)
- Mak, A. C. Brachman, R. W. I., & Moore, I. D. (2009). Measured response of a deeply corrugated box culvert to three dimensional surface loads. *Transportation Research Board Annual Conference*, 09-3016. (in English)
- Mathews, J. C., Simicevic, J., Kestler, M. A., & Pieh, R. (2012). *Decision analysis guide for corrugated metal culvert rehabilitation and replacement using trenchless technology*. Washington D.C.: United States Department of Agriculture. Forest Service. (in English)
- Mechelski, C. (2008). *Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powłokowych*. Wroclaw. (in Poland)
- Mohamed El Taherl, & Ian D (2009). Moore Stability of deteriorated metal culverts including the effect of soil erosion GeoEngineering Centre at Queen's. *RMC, Queen's University, Kingston, ON.*: Toronto, Ontario Canada. (in English)
- Spangler, M. G. (1941). The structural design of flexible pipe culverts. *Iowa Eng. Exp. Station Bulletin*, 153. (in English)
- Belyaev, V. S. (2014). Analiz eksperimentalnykh issledovaniy povedeniya metallicheskih gofirovannykh konstruksiy pod vozdeystviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchedom ikh sovmestnoy raboty s okruzhayushchim gruntom. *Naukovedenie*, 1(20). (in Russian)
- Vinogradov, S. V., & Kruzhalov, Yu. M. (1959). *Naturnye ispytaniya na prochnost i ustoychivost podzemnykh stalnykh tonkostennykh trub bolshogo diametra*. Moskva: Otdel nauchno-tehnicheskoy informatsii. (in Russian)
- Gertsog, A. A. (1939). *Gofrirovannye truby na avtomobilnykh dorogakh*. Moskva: Gushosdor. (in Russian)
- Hnatiuk, I. (2011). Novyi «styl» staroho mostu. *Vseukrainska transportna hazeta «Mahistral»*. [Elektronnyi resurs] rezhym dostupu: www.magistral-uz.com.ua. (in Ukrainian)
- Elektronnyi resurs (a). Zberehty dovzhynu zaliznychnoho polotna bez rynkovoho taryfu: misiia nezdiisnenna. *Zaliznychnyi informatsiyni portal*. Rezhym dostupu: <https://info.uz.ua/articles/zberedgi-dovzhinu-zaliznychnogo-polotna-bez-rinko-vogo-tarifu-misiya-nezdiysnenna> (in Ukrainian)
- Elektronnyi resurs (b). Tekhnichni stan avtomobilnykh dorih zahalnoho vykorystannia. *Zaliznychnyi informatsiyni portal*. Rezhym dostupu: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stand-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannia.html> (in Ukrainian)
- Zhinkin, A. (2011). Problemy i perspektivy tipovogo proektirovaniya metallicheskih gofirovannykh konstruksiy. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2, 53-54. (in Russian)
- Kovalchuk, V. V. (2015). Perspektivy zastosuvannya metalevykh hofrovanykh konstruksii na zaliznychnykh ta avtomobilnykh dorohakh Ukrainy. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 2(111), 32-37. (in Ukrainian)
- Kolokolov, N. M., Yankovskiy, O. A., Shcherbina, K. B., & Chernyakhovskaya, S. E. (1973). *Metallicheskie gofirovannye truby pod nasypami*. Moskva: Transport. (in Russian)
- Kochmaruk, V. M. (2010). Analiz faktoriv, yaki vplyvaiut na ruinovannia truby. *Zbirnyk naukovykh prats UKRAZT*, 118, 140-143. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., & Kovalchuk, V. V. (2015). Zastosuvannya metalevykh hofrovanykh konstruksii pry remonti defektnykh zalizobetonnykh trub na zaliznychnykh ta avtomobilnykh dorohakh Ukrainy. *Aktualni problemy naukovo y osvithnoho prostoru v umovakh pohlyblennia yevrointehratsiynykh protsesiv: zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii*, 337-340. (in Ukrainian)

- Luchko, Y. Y., Kovalchuk, V. V., & Kravets, I. B. (2019). *Mosty i truby z hofrovanykh metalevykh konstruktzii ta monitorynh gruntovykh osnov dorih i sporud*. Lviv: Svit. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Kovalchuk, Yu. Ye., & Kravets, I. B. (2017). Metody otsinky napruzhenno-deformovanoho stanu metalevykh hofrovanykh konstruktzii. *Mosty i tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 11, 30-41. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Raspopov, O. S., & Koval, P. M. (2014). *Mosty, truby i tuneli*. Lviv: Kameniar. (in Ukrainian)
- Metallicheskie gofrirovannye konstruktzii: dostoinstva i perspektivy. *Yevraziya Vesti: Transportnaya gazeta*. Ministerstvo transporta RF, 2008, № 2. (in Russian)
- Ovchinnikov, I. I., Ovchinnikov, I. G., Blinkov, M. A., & Zarudnyy, A. I. (2017). Raschetnaya otsenka vozmozhnykh prichin razrusheniya gofrirovannoy truby pod avtomobilnoy dorogoy v Krymu. *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*, 4(1), 19. (in Russian)
- ODM 218.2.001-2009. (2009). Rekomendatsii po proektirovaniyu vodopropusknykh metallicheskikh gofrirovannykh trub: Rasporyazhenie Federalnogo dorozhnogo agentstva ot 21 iyulya 2009 g., № 252-r. (in Russian)
- Osokin, I. A. (2014). Sovershenstvovanie metodov rascheta metallicheskikh gofrirovannykh konstruktсий s ekspluatatsionnymi povrezhdeniyami. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk*. Yekaterinburg. (in Russian)
- Petrova, Ye. N. (2001). Sooruzheniya iz metallicheskikh gofrirovannykh elementov pod nasypami avtomobilnykh i zheleznykh dorog. *Podzemnoe prostranstvo mira*, 1, 7-11. (in Russian)
- Petrova, Ye. N. (2011). Sovershenstvovanie metodov rascheta obdelok tonneley iz stalnykh gofrirovannykh elementov. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk*. Moskva. (in Russian)
- Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 (2007). Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktzii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia. Kyiv, 2007. (in Ukrainian)
- Freze, M. V. (2006). Vzaimodeystvie metallicheskikh gofrirovannykh konstruktсий s gruntovoy sredoy. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk*. Sankt-Peterburg. (in Russian)
- Tsynka, A. O., & Bodnar, L. P. (2020). Doslidzhennia stanu mostovykh perekhodiv na osnovi analitychnoi ekspertnoi systemy upravlinnia mostamy. *Dorohy i mosty*, 21, 270-281. (in Ukrainian)
- Yankovskiy, O. A. (1972). Eksperimentalnye issledovaniya vodopropusknykh trub iz gofrirovannogo metalla na opytnykh obektakh i v laboratornykh usloviyakh s razrabotkoy predlozheniy po konstruktсийam i usloviyam sooruzheniya serii opytnykh metallicheskikh trub v raznykh rayonakh strany dlya vklyucheniya v plan stroitelstva na 1971-1972 gg. *Stroitelstvo zheleznykh dorog: Ref. sbornik. Transp. str-vo*, 1, 14. (in Russian)
- Yankovskiy, O. A., & Zheltov, O. Ye. (1973). Opytnoe stroitelstvo metallicheskikh gofrirovannykh vodopropusknykh trub [na zh.d. Tyumen – Surgut]. *Transportnoe stroitelstvo*, 2, 14-16. (in Russian)
- Yankovskiy, O. A., & Cherkasov, K. A. (1978). *Sooruzhenie metallicheskikh gofrirovannykh vodopropusknykh trub: zarubezhnyy opyt*. Moskva: Transport. (in Russian)

Надійшла до редколегії 15.03.2021.

Прийнята до друку 05.04.2021.