

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 625.7.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.57-66](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.57-66)**М.В. Гаркуша**, доц., канд. техн. наук*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна**e-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua*

Впливу корозії на технічний стан дорожніх водопропускних труб та сучасні методи їх ремонту

Із збільшенням кількості дорожніх водопропускних труб на дорогах, особливе значення набувають питання забезпечення надійності і довговічності їх роботи в процесі експлуатації, так як має місце велика кількість деформацій, а також випадки повного руйнування труб під насипами як існуючих автомобільних доріг, так і доріг, які будуються. Світовий досвід показує, що корозійні пошкодження є надзвичайно важливою проблемою і вимагають належної реакції на дуже ранній стадії розвитку.

Одним із методів підвищення довговічності дорожніх водопропускних труб є застосування сучасних матеріалів та технологій для їх виготовлення.

автомобільна дорога, гідротехнічні споруди, довговічність, дорожня водопропускна труба, корозія, транспортна споруда

Постановка проблеми. Гідротехнічні споруди транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб виготовлені з металу (металевих гофрованих конструкцій) є перспективними видами споруд, для зведення яких необхідно мінімум часу, матеріалів та витрат людської праці, маючи при цьому великі переваги з альтернативними конструкціями та нерідко застосовуються як малі та середні мости.

Однією з причин передчасного руйнування дорожньої водопропускної труби з металевих гофрованих конструкцій є корозія металу, а також відсутність сучасних підгодів аналізу та врахування корозійного пошкодження водопропускної труби на її подальшу надійність та довговічність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на те, що дорожні водопропускні труби були побудовані з використанням різних форм поперечного перерізу, однією з найпростіших і найпоширеніших форм є кругла труба. У цьому випадку дорожня водопропускна труба будується шляхом попереднього розміщення круглої труби на шарі підготовленої основи.

Основною частиною процесу проектування водопропускних конструкцій є вибір матеріалу труб. Одним з основних матеріалів, що дає можливість виготовляти дорожні водопропускні труби великого діаметру є метал. Найчастіше металеві водопропускні дорожні труби бувають з металевих гофрованих конструкцій (Corrugated Steel Pipe — CSP), що виготовляються з плоского прокату зі сталі з гофрованим покриттям та конструкційні пластинчасті гофровані сталеві труби (Structural Plate Corrugated Steel Pipe — SPCSP), що складаються зі сталевих листів, гофрованих, а потім вигнутих, SPCSP розроблені для збільшення прольотів [1, 2]. Запропоновані конструкції мають додаткові заходи із захисту від корозії у порівнянні зі стандартним покриттям HDG (Hot-Dip Galvanized) [3].

Так, наприклад, в 2013 році в місті Кенморі, Альберта (Канада) внаслідок тривалих сильних дощів сталася велика повінь та було зруйновано практично всі малі мости та водопропускні труби, було завдано збитків, щонайменше на 6 мільйонів канадських доларів (рис. 1, а). При аналізі та дослідженні водопропускних труб було виявлено недоліки з проєктування, значною корозією окремих елементів, а також неефективність гасників енергії, в тому числі за рахунок гідравлічного стрибка, що спричинило руйнування [4]. Варто зазначити, втрата цілісності водопропускної труби може призвести до тимчасового або довготривалого закриття руху автомобільною дорогою, а також значних витрат відновлення або повну заміну дорожньої водопропускної труби. Крім того, повне обвалення водопропускної труби може спричинити велику загрозу безпеці автомобілістів. Саме така катастрофа сталася в штаті Нью-Йорк на автомобільній дорозі I-88 28 червня 2006 р. (рис. 1, б) [5].



Рисунок 1— Результати повені

Джерело: на підставі [4, 5]

Постановка завдання. Малодослідженою є проблема існуючих причин та наслідків впливу корозії на дорожню водопропускну трубу. З впливом негативних факторів на дорожні водопропускні труби вони з працездатного стану переходять у обмежено-працездатний стан. З обмежено-працездатного стану в результаті відмови переходять у обмежений (аварійний) стан. Критеріями відмови дорожні водопропускні труби є параметри, які визначають працездатність будови в цілому, а також окремі його елементи: захисне покриття, матеріал труби, конструктивні особливості. Ці параметри або сукупність їх встановлюється в нормативно-технічній або конструкторській документації. Підходів впливу факторів на довговічність дорожньої водопропускної труби в Україні не встановлено, на відміну від норм в ЄС чи США. Крім того не встановлено в українських нормах методів ремонту. Тому метою роботи є проведення аналізу з впливу корозії на технічний стан дорожніх водопропускних труб та сучасні методи їх ремонту.

Виклад основного матеріалу. Металеві гофровані дорожні водопропускні труби були розроблені в кінці 19 століття і використовувалися як водопропускні труби ще в 1896 році [8]. Гофрована геометрія забезпечила трубі додаткову жорсткість і міцність без збільшення товщини стінки труби, як це було б необхідно при використанні звичайної труби того ж діаметру. Завдяки нижчій початковій вартості та відносній простоті монтажу гофрований метал незабаром витіснив бетон як кращий матеріал для будівництва водопропускних труб. Однак конструктивні наслідки використання цієї нової, відносно гнучкої труби залишалися погано зрозумілими. У 1941 році Мерлін Спенглер розробив знамениту формулу Айови [9], яка забезпечила теоретичну основу для проєктування заглиблених гнучких трубопроводів. Робота Спанглера в поєднанні з

інфраструктурним бумом після Другої світової війни в 1950-х і 1960-х роках призвела до поширення гофрованих металевих труб по всьому світу. Незважаючи на те, що дорожні водопропускні труби забезпечили багато переваг у той час, їхня спадщина зараз представляє широко поширену проблему через погіршення якості металу труб.

Місцеві та регіональні умови навколишнього середовища впливають на довговічність водопропускних труб, а на хімічні умови території впливають ґрунти, рослинність, кількість опадів і дренажні характеристики даного вододілу [10]. Вони, у свою чергу, впливають на ступінь деградації конструкції, викликаної корозією та стиранням.

Корозія руйнує матеріал труби через хімічні реакції, повертаючи метал до його початкового стану оксидів або солей. Цей процес, як правило, впливає на металеві труби або металеву арматуру в бетонних трубах, хоча бетонні водопропускні труби також можуть зазнавати подібної реакції, якщо вони піддаються впливу сильнолужних ґрунтів або дуже суворих умов. Корозія може виникати як зсередини, так і зовні труби, або на обох поверхнях одночасно [11]. Електричний струм тече від металу в трубі, яка зазвичай служить і катодом, і анодом, через іони в навколишньому ґрунті або воді, які служать електролітом. Ступінь результуючої корозії пропорційний виробленому струму [12].

Серйозність підземної корозії вивчалася в США на початку 1900-х років, хоча до того моменту вважалося, що така корозія завжди викликана блукаючими електричними струмами. Ранні випробування показали, що серйозна корозія може виникнути і без наявності блукаючого струму. Методи випробувань почали впроваджувати в 1928 році, коли Бюро стандартів опублікувало статтю К.Х. Логан заявив, що «випробування на корозію ґрунту показали, що потрібно враховувати структуру та хімічні властивості ґрунту, а також характер контакту між ґрунтом і трубою» [13].

Довговічність сталевих дорожніх водопропускних труб у ґрунті є функцією кількох взаємодіючих параметрів, що включають питомий опір ґрунту, кислотність (рН), вміст вологи, розчинні солі, вміст кисню (аерація) і бактеріальну активність [14, 15]. Однак усі процеси корозії передбачають перетікання струму з одного місця в інше (корозійний осередок). Таким чином, чим вищий питомий опір і/або нижча вологість ґрунту, тим більша довговічність.

Хоча виникнення корозії зазвичай є результатом впливу більш ніж одного фактора, стандарт Американської асоціації водопровідних споруд використовує питомий опір як ключове вимірювання для визначення того, чи потрібен додатковий захист від корозії [16 – 18]

Автор [17] зазначив, що питомий опір є, ймовірно, найкращим показником агресивності ґрунту.

У 1950-х роках Міністерство транспорту Каліфорнії обстежило понад 7000 водопропускних труб і розробило діаграму для прогнозування часу до першої перфорації водопропускних труб із гофрованої оцинкованої сталі на основі рН і питомого опору ґрунту [19].

В 1962 році Дж. Л. Бітон і Р. Ф. Стратфул [10] досліджували питомий опір ґрунту та рН ґрунту в залежності від кількості опадів і терміну служби гофрованих металевих водопропускних труб. Вони спостерігали, що в районах з великою кількістю опадів були високі значення питомого опору ґрунту, а рН ґрунту був менше ніж 7. У районах із низьким рівнем опадів були низькі значення питомого опору ґрунту, а рН ґрунту був більше ніж 7. Вони також відзначили, що вищий рН впливає на зниженням корозії сталі, а у районах з дуже низькою кількістю опадів терміну служби оцинкованих труб збільшується. Однак, виявлено, що сильний абразивний потік може видалити захисне

покриття за один період, що значно зменшить термін служби водопропускної труби. Дж. Л. Бітон і Р. Ф. Стратфул прогнозували розрахунковий термін служби водопропускної труби цього типу від 10 до 100 років [10]

Дослідження, проведене Согрго Companies [14] у 1986 році, виявило, що довговічність із боку ґрунту, як правило, не є обмежуючим фактором при проєктуванні сталевих дорожніх водопропускних труб. Однак для сталевих дорожніх водопропускних труб вміст вологи в ґрунті в першу чергу впливає на активність будь-яких присутніх іонів хлориду та прискорення корозії хлоридом. Дослідження показали, що ґрунт з вологістю нижче за 17,5 % не мають значного впливу на швидкість корозії цинкового покриття за рахунок присутності іонів хлориду. Виявлено, що більшість ґрунтів потрапляє в діапазон рН від 6 до 8, що є сприятливим для довговічності. Ґрунти нижчим значення рН (кислі ґрунти), які зазвичай зустрічаються в районах з великою кількістю опадів, мають тенденцію бути більш корозійним.

Ґрунти з високим вмістом глини має тенденцію утримувати воду довше і тому є більш корозійними, ніж добре дреновані ґрунти. Ґрунтова волога також може містити різні розчинені тверді речовини, видалені з ґрунту, це може сприяти корозії через зниження питомого опору. І навпаки, багато хімічних речовин ґрунту утворюють нерозчинні карбонати або гідроксиди при зануреній у ґрунт металевій поверхні, це може зменшити корозію з боку ґрунту. Високий рівень хлоридів і сульфатів робить більш агресивним ґрунт [14].

На механізми руйнування впливають наявність вологи та характеристики ґрунту, включаючи тип, однорідність, щільність, вміст глини і мінералогії [20, 21]. Погіршення може статися в закопаних водопропускних трубах внаслідок корозії всередині та ерозійних пустот у оточуваному ґрунті.

Довговічність сталевих дорожніх водопропускних труб залежить від характеру пропуску води через трубу (постійний режим, тимчасовий), її заповнення. Важливим фактором може бути вплив розчинених газів. Збільшення рівня розчиненого кисню та вуглекислого газу може прискорити корозію. Найбільший важливий ефект вуглекислого газу у воді пов'язаний з його впливом на утворення захисних плівок карбонату кальцію, які часто утворюються на трубах поверхнях яких знаходиться у жорсткій воді. Розчинені солі можуть збільшити довговічність зменшуючи розчинність кисню, але можуть посилити корозію, якщо вони іонізуються та зменшують питомий опір.

Усі метали під час корозії утворюють певний тип продуктів корозії. Незалежно від того чи є вони захисними металевими покриттями, такими як алюміній або цинк, або базова сталь. Зазвичай продукт корозії, такий як оксид, зі значним стабільним накопичення призведе до зниження швидкості корозії.

На практиці продукт корозії утворюється через гальванічний елемент, може осідати в невеликих розривах у покритті та служити для придушення подальшої корозії так само, як плівки продуктів корозії захищають тверді поверхні. Таким чином, утворення окалини на металевих поверхнях є важливим фактором при використанні металів у воді, що здатні пришвидшувати розвиток корозії [14].

Багато державних установ США [7] встановлюють проєктний термін служби (design service life —DSL) для будівництва інфраструктурних проєктів. DSL для проєктів доріг залежить від типу доріг, обсягів трафіку та майбутніх моделей зростання. Залежно від задіяного агентства, що буде, DSL доріг зазвичай коливається від 25 до 100 років.

Розрахунковий термін служби матеріалу (Estimated Material Service Life —EMSL) визначається як роки надійної служби з моменту встановлення до необхідності

відновлення або заміни. EMSL труби залежить від матеріалу труби та умов навколишнього середовища.

В таблиці 1 наведено EMSL CSP з трьома різними системами покриття [22].

Таблиця 1 – EMSL CSP з трьома різними системами покриття

Розрахунковий термін служби матеріалу для CSP			
Матеріал покриття	Розрахунковий термін служби	Умови навколишнього середовища	Максимальний рівень стирання згідно з FHWA
Оцинкована труба	приблизно 50 років	6.0 < pH < 10.0 2000 < r < 10000 Ohm-cm Жорсткість води (> 50 ppm CaCO ₃)	Рівень 2
Алюмінізована тип 2 (ALT2)	не менше ніж 75 років	5,0 < pH < 9,0 r > 1500 Ohm-cm	Рівень 2
Полімерне покриття	не менше ніж 100 років	5,0 < pH < 9,0 r > 1500 Ohm-cm	Рівень 3
	не менше ніж 75 років	4,0 < pH < 9,0 r > 750 Ohm-cm	
	не менше ніж 50 років	3,0 < pH < 12,0 r > 250 Ohm-cm	

Джерело: на підставі [22]

Варто зазначити, що метод оцінки терміну служби відрізняється для оцинкованих, в порівнянні з алюмінізованими CSP типу 2 або CSP з полімерним покриттям. Оцінка всіх трьох покриттів гарантує, що матеріали труб, зазначений для проекту, відповідатиме вимоги терміну служби.

Не обов'язково, щоб EMSL труби відповідав DSL проекту. Наприклад, тротуари, настили мостів та інші частини автомагістралі, як правило, замінюються або відновлюються кілька разів протягом терміну експлуатації цієї дороги. CSP можна відновити за допомогою ковзання, мощення або іншими методами. Зараз багато агенцій США завищують розмір первинної установки труби (діаметр отвору) для подальшої її реабілітації. Більшість установ регулярно перевіряють усі водопропускні труби, незалежно від матеріалу труби, щоб забезпечити своєчасне виявлення проблем.

Вибір матеріалу для водопропускної труби повинен враховувати економіку життєвого циклу, включаючи витрати на початкове встановлення, планову перевірку, технічне обслуговування та можливе відновлення.

Найпоширенішим первинним захистом металевих водопропускних дорожніх труб є: оцинковане, алюмінізоване (тип 2) та полімерне [23 — 25].

Найкращим методом оцінки терміну служби водопропускної труби на запропонованих ділянках є оцінка раніше встановленої труби. Перша значна польова оцінка встановлених водопропускних труб була проведена CALTRANS (California Department of Transportation) на початку 1960-х років. Дані, отримані в ході дослідження CALTRANS 7000 водопропускних труб, були використані для розробки діаграми для оцінки середнього терміну експлуатації оцинкованих труб. Ця цифра передбачає EMSL труби на основі втрати 25 відсотків сталі в трубі. Це дослідження

оцінювало термін служби CSP на основі значень рН і питомого опору. Жорсткість води не вимірювалася в місцях водопропускних труб. Після оцінки CALTRANS багатьох штатів США та провінцій Канади провели подібні дослідження своїх водопропускних труб. Результати були широко поширені з варіаціями через переважання м'якої води, сильний снігопад або, можливо, інтенсивне використання дорожньої солі. Результати регіональних досліджень підкреслюють важливість використання місцевої інформації за її наявності.

Метод прогнозування, розроблений оцінкою CALTRANS, залежав від того, чи перевищував рН 7,3. Там, де рН постійно був меншим за 7,3, кінцевий термін служби контролювався швидкістю корозії труби, причому швидкість корозії залежала від спільного впливу рН і питомого опору. Для ділянок з рН більше 7,3 контрольним фактором була корозія ґрунту. Ці останні місця, як правило, були в напівпустельних і пустельних районах з менш ніж 10 дюймами опадів на рік. У звіті CALTRANS зазначено, що принаймні 70 відсотків труб, як очікується, прослужать довше, ніж зазначено на діаграмі для розрахунку їх довговічності [7].

Автором [29] було запропоновано модель, що описує поширення корозійних пошкоджень. Пошкодження, викликані корозією (переважно точковою), можуть бути представлені за допомогою напівемпіричних моделей, що описуються за допомогою функції, що полягає в пошуку максимальної глибини пошкодження, це можна записати як:

$$u(t) = \beta_0 \delta_0 t^{\eta_0}, \quad (1)$$

$u(t)$ – глибина ураження CSP пропорційно часу (t),

η_0 – середня швидкість корозії CSP (пов'язана з пошкодженнями, викликаними пасивацією),

β_0 і δ_0 – річна швидкість корозії CSP залежно від агресивності води та засипки, відповідно.

Використовуючи рівняння (1) отримуємо миттєву швидкість появи корозійних пошкоджень у вигляді рівняння:

$$v(t) = \frac{d}{dt} u(t) = \beta_0 \delta_0 \eta_0 t^{\eta_0-1}. \quad (2)$$

Тоді як у рівнянні (2) можна помітити, що для значень, що наближаються до нуля, коефіцієнт миттєвого пошкодження є занадто високим ($v(t) \rightarrow \infty$). Однак корозійні пошкодження мають високе кінцеве значення через те, що на початковій фазі сталевий елемент повністю піддається хімічній корозії. У більш тривалий проміжок часу, після появи продуктів корозії, швидкість процесу сповільнюється, оскільки іржа є природним фізичним бар'єром. Це означає, що процес корозії відбувається постійно постійний, якщо тільки не зміниться раптова структура матеріалу або хімічний склад ґрунтового середовища, що може вплинути на кінетику корозійних процесів.

Методи відновлення. Чотири найпоширеніші способи модернізації металевих водопропускних труб: ковзання (метод гільзування), затвердіння на місці (торкретування, метод «гнучкої труби»), наплення вкладишів і розрив труб. Серед представлених методів, як показано на рис.2, ковзання є найбільш часто використовуваним методом для комплексної модернізації металевих водопропускних труб [30].



Рисунок 2—Відновлення дорожньої водопропускної труби ковзанням
Джерело: на підставі [30]

Торкретування використовується як футерівка для труб з 1990-х років Торкретбетон наноситься за допомогою роботизованої установки. Його широко використовували для реконструкції водопропускних труб із гофрованих сталевих труб [31].

Відновлення дорожньої водопропускної труби, можливе із застосуванням гнучкого матеріалу труби, насиченого термореактивним полімером [32].

Гнучка труба розширюється за допомогою стисненого повітря. Термореактивна смола може тверднути при температурі навколишнього середовища або при високій температурі щоб частина труби з'єдналася з головною трубою. Як правило, гнучким матеріалом для труб використовується скловолокно армоване термореактивною смолою. Подано детальний огляд техніки. Застосування даного методу потребує очищення труб від корозіїповністю, що ускладнює та здорожчує застосування даної технології.

Висновок. Водопропускальні труби на автомобільних дорогах володіють значним запасом міцності, але у процесі експлуатації виникає ряд дефектів які потребують ремонтних заходів, при відсутності систематичних оглядів та своєчасного ремонту можуть відбутися раптові серйозні порушення, на ліквідацію яких потрібні значні витрати. Подібні підходи з визначення впливу корозії металу на довговічність дорожніх водопропускних труб, як в США та ЄС в Україні відсутні. На даний час відсутні методичні рекомендації з відновлення дорожніх водопропускальних труб з металевих гофрованих конструкцій.

Список літератури

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз проблем забезпечення надійності та довговічності гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб в умовах експлуатації. *Дороги і мости*. 2022. Вип. 25. С. 190–202. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.190>
2. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз технічного стану гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб від впливу корозії. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництва*. 2022. Вип. 111. С. 164–173. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-111-164-173
3. West, A.; Williams, K.; Villeneuve, D.; Carroll, P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada.
4. Гаркуша М.В. Вплив пошкоджених гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб на навколишнє середовище. *Водопостачання та водовідведення*:

- проекування, будова, експлуатація, моніторинг*: зб. тез V Міжн. наук.-техн. конф., 11-13 жовтня 2023 року, Нац. унів. «Львівська політехніка», м. Львів. С. 82 — 83.
5. Jay N. Meegoda, Thomas M. Juliano and Chi Tang (2009). Culvert Information Management System – *Demonstration Project New Jersey Institute of Technology Newark, NJ 07102*. P. 51
 6. BMROSS. City of Ottawa Ottawa Road 174 at Jeanne D’Arc Pipe Collapse Root Cause Analysis Report. 2012. P.37
 7. NCSIPA Corrugated Steel Pipe Design Manual (2008). National Corrugated Steel Pipe Association 14070 Proton Road Suite 100 LB 9 Dallas, TX 75244. P 637.
 8. Corrugated Steel Pipe Institute. (2009). Handbook of steel drainage & highway construction products. (2nd Canadian ed.). Canada: American Iron and Steel Institute.
 9. Spangler, M. G. (1941). The structural design of flexible pipe culverts. Iowa Engineering Experiment Station. Bulletin 153
 10. Beaton, J., & Stratfull, R. (1962). Field Test for Estimating Service Life of Corrugated Metal Pipe Culverts. Highway Research Board Proceedings, Vol. 41.
 11. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2007). Highway drainage guidelines. (4th ed.). Washington, D.C.
 12. Gabriel, L. H., Moran, E. T. (1998) Service Life of Drainage Pipe. Transportation Research Board, Washington, D.C.
 13. Chaker, V. (1990). Corrosion testing in soils—Past, present, and future. In Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume (pp. 95-111): ASTM International.
 14. Modern Sewer Design (1995) American Iron and Steel Institute; 3rd edition. P. 306.
 15. Maher, M., Hebel, G., & Fuggle, A. (2015). Service Life of Culverts. Transportation Research Board, Washington, D.C. Retrieved from <http://www.trb.org/Main/Blurbs/172633.aspx>
 16. Beben, D. (2014). Backfill corrosivity around corrugated steel plate culverts. Journal of Performance of Constructed Facilities, 29(6).
 17. Chaker, V. (1990). Corrosion testing in soils—Past, present, and future. In Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume (pp. 95-111): ASTM International.
 18. California Department of Transportation (Caltrans), Caltrans Supplement to FHWA Culvert Repair Practices Manual, Design Information Bulletin No. 83-03, Caltrans, Sacramento, 2013.
 19. California Department of Transportation, Division of Construction (CalTrans). (1978). Method for Estimating the Service Life of Steel Culverts: California Test 643. Sacramento, CA.
 20. Bradford, S. A. (2000). The practical handbook of corrosion control in soils.
 21. Hepfner, J. J. (2001). Statewide corrosivity study on corrugated steel culvert pipe.
 22. Corrugated Pipe Durability Guidelines, FHWA Technical Advisory T 5040,12, October 1979, Federal Highway Administration, Washington, D.C. 20590, 9 pp.
 23. West, A.; Williams, K.; Villeneuve, D.; Carroll, P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada.
 24. Corrugated Steel Pipe Institute. Canadian Performance Guideline for Structural Plate Corrugated Steel Pipe and Deep Corrugated Structural Plate Structures. Technical Bulletin. Issue Thirteen: October 24, 2011. Cambridge, Ontario.
 25. Ault, P. White Paper: Performance Guideline for Buried Steel Structures. Elzly Technology Corporation, 2012. Ocean City, New Jersey.
 26. AASHTO M 218 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized), for Corrugated Steel Pipe.
 27. AASHTO M 274 Standard Specification for Steel Sheet, Aluminum-Coated (Type 2), for Corrugated Steel Pipe.
 28. Berry, I. Uniquely Engineered Coating for Storm Sewers and Culverts. Warner Custom Coating. Presentation, 2012. Guelph, Ontario.
 29. Alamilla JL, Espinosa-Medina MA, Sosa E (2009) Modelling steel corrosion damage in soil environment. Corros Sci 51:2628–2638.
 30. Chennareddy, Rahulreddy. Retrofit of Corroded Metal Culverts Using GFRP Slip-Liner, The University of New Mexico, 2019.
 31. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2015. Service Life of Culverts. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22140>
 32. Program, N.C.H.R., Culvert Rehabilitation to Maximize Service Life while Minimizing Direct Costs and Traffic Disruption. Vol. Project Number 14-19. 2010, Transportation Research Board: Government Printing Office.

References

1. Onyshchenko, A.M., Harkusha, M.V. & Klymenko, M.I. (2022). Analiz problem zabezpechennya nadiynosti ta dovhovichnosti hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodopropusknykh trub v umovakh ekspluatatsiyi. *Dorohy i mosty, Issue 25*, 190–202. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.190> [in Ukrainian].
2. Onyshchenko, A. M., Harkusha, M. V. & Klymenko, M. I. (2022). Analiz tekhnichnoho stanu hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodopropusknykh trub vid vplyvu koroziyi. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, Issue 111*, 164–173. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-111-164-173 [in Ukrainian].
3. West, A.; Williams, K.; Villeneuve, D. & Carroll, P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada [in English].
4. Harkusha, M.V. (2023). Vplyv poshkodzhenykh hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodopropusknykh trub na navkolyshnye seredovyshe [Impact of damaged hydraulic structures of transport construction from road culverts on the environment]. Water supply and drainage: design, construction, operation, monitoring: *V Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsia (11-13 zhovtnya 2023 roku L'viv) – V International scientific and technical conference (pp.82–83)*, L'viv [in Ukrainian]
5. Jay N. Meegoda, Thomas M. Juliano & Chi Tang (2009). Culvert Information Management System – Demonstration Project New Jersey Institute of Technology Newark, NJ 07102. P. 51 [in English].
6. BMROSS (2012). City of Ottawa Ottawa Road 174 at Jeanne D'Arc Pipe Collapse Root Cause Analysis Report. P.37 [in English].
7. NCSIPA. Corrugated Steel Pipe Design Manual (2008). National Corrugated Steel Pipe Association 14070 Proton Road Suite 100 LB 9 Dallas, TX 75244. P 637 [in English].
8. Corrugated Steel Pipe Institute. (2009). Handbook of steel drainage & highway construction products. (2nd Canadian ed.). Canada: American Iron and Steel Institute [in English].
9. Spangler, M. G. (1941). The structural design of flexible pipe culverts. Iowa Engineering Experiment Station. Bulletin 153 [in English].
10. Beaton, J., & Stratfull, R. (1962). Field Test for Estimating Service Life of Corrugated Metal Pipe Culverts. *Highway Research Board Proceedings, Vol. 41* [in English].
11. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2007). Highway drainage guidelines. (4th ed.). Washington, D.C [in English].
12. Gabriel, L. H., Moran, E. T. (1998) Service Life of Drainage Pipe. Transportation Research Board, Washington, D.C [in English].
13. Chaker, V. (1990). Corrosion testing in soils – Past, present, and future. In *Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume* (pp. 95-111): ASTM International [in English].
14. Modern Sewer Design (1995). American Iron and Steel Institute; 3rd edition. P. 306 [in English].
15. Maher, M., Hebler, G., & Fuggle, A. (2015). Service Life of Culverts. Transportation Research Board, Washington, D.C. Retrieved from <http://www.trb.org/Main/Blurbs/172633.aspx> [in English].
16. Beben, D. (2014). Backfill corrosivity around corrugated steel plate culverts. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(6) [in English].
17. Chaker, V. (1990). Corrosion testing in soils—Past, present, and future. In *Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniversary Volume* (pp. 95-111): ASTM International [in English].
18. California Department of Transportation (Caltrans), Caltrans Supplement to FHWA Culvert Repair Practices Manual, Design Information Bulletin No. 83-03, Caltrans, Sacramento, 2013 [in English].
19. California Department of Transportation, Division of Construction (CalTrans). (1978). Method for Estimating the Service Life of Steel Culverts: California Test 643. Sacramento, CA [in English].
20. Bradford, S. A. (2000). The practical handbook of corrosion control in soils [in English].
21. Hepfner, J. J. (2001). Statewide corrosivity study on corrugated steel culvert pipe [in English].
22. Corrugated Pipe Durability Guidelines, FHWA Technical Advisory T 5040,12, October 1979, Federal Highway Administration, Washington, D.C. 20590, 9 pp [in English].
23. West, A.; Williams, K.; Villeneuve, D.; Carroll, P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada [in English].
24. Corrugated Steel Pipe Institute. Canadian Performance Guideline for Structural Plate Corrugated Steel Pipe and Deep Corrugated Structural Plate Structures. Technical Bulletin. Issue Thirteen: October 24, 2011. Cambridge, Ontario [in English].
25. Ault, P. (2012). White Paper: Performance Guideline for Buried Steel Structures. Elzly Technology Corporation, Ocean City, New Jersey [in English].

26. AASHTO M 218 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized), for Corrugated Steel Pipe [in English].
27. AASHTO M 274 Standard Specification for Steel Sheet, Aluminum-Coated (Type 2), for Corrugated Steel Pipe [in English].
28. Berry, I. (2012). Uniquely Engineered Coating for Storm Sewers and Culverts. Warner Custom Coating. Presentation, Guelph, Ontario [in English].
29. Alamilla JL, Espinosa-Medina MA, Sosa E (2009). Modelling steel corrosion damage in soil environment. *Corros Sci* 51:2628–2638 [in English].
30. Chennareddy, Rahulreddy. Retrofit of Corroded Metal Culverts Using GFRP Slip-Liner, The University of New Mexico, 2019 [in English].
31. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2015). *Service Life of Culverts*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22140>[in English].
32. Program, N.C.H.R., Culvert Rehabilitation to Maximize Service Life while Minimizing Direct Costs and Traffic Disruption. Vol. Project Number 14-19. 2010, Transportation Research Board: Government Printing Office[in English].

Mykola Harkusha, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National Transport University, Kyiv, Ukraine

The Impact of Corrosion on the Technical Condition of Road Culverts and Modern Methods of Their Repair

There were about 130,000 pieces of hydraulic engineering structures of transport construction from road culverts on the highways of Ukraine, which is more than 90% of the total number of transport structures on the roads. This is explained, first of all, by the more cost-effective use of pipes compared to small bridges, the arrangement of the subgrade without break ups, the increase in safety, speed and comfort of movement. With the increase in the number of hydraulic engineering structures of transport construction from road culverts on roads, the issue of ensuring the reliability and durability of their work during operation is of particular importance, as there is a large number of deformations, as well as cases of complete destruction of pipes under embankments of both existing automobile roads and roads under construction. World experience indicates that corrosion damage is an extremely important problem and requires an appropriate response at a very early stage of development.

The problem of the existing causes and consequences of corrosion on the road culvert is understudied. With the influence of negative factors on the road culverts, they go from an operational state to a limited-operational state. As a result of a failure, they go from a limited-operational state to a limited (emergency) state. The failure criteria of road culverts are parameters that determine the performance of the building as a whole, as well as its individual elements: protective coating, material pipes, structural features. These parameters or a set of them are established in regulatory and technical or design documentation. Approaches to influencing factors on the durability of road culverts in Ukraine have not been established, in contrast to norms in the EU or the USA. In addition, repair methods are not established in the Ukrainian norms of repair methods. Therefore, the purpose of the work is to conduct an analysis of the impact of corrosion on the technical condition of road culverts and modern methods of their repair.

The article examines the impact of corrosion on the technical condition of road culverts, gives a brief description of the most common causes of corrosion of road culverts and modern methods of their repair. One of the methods of increasing the durability of road culverts is the use of modern materials and technologies for their manufacture.

automobile road, hydraulic structures, durability, road culvert, corrosion, transport structure

Одержано (Received) 02.10.2023

Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2023

Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023