

Oleksii Fenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

Viktor Dariienko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Hennadii Portnov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Design of Restrained Roof Purlins, Taking Into Account the Stiffness of the Profiled deck

The purpose of the study is to analyse internal forces and deformations in the roof purlins restrained by profiled decking, taking into account as many factors as possible that have a significant impact on the cross-sectional utilisation factor in terms of normal stresses, which is an important factor in efficiency and material consumption.

The following assumption was confirmed in this research paper. If a profiled flooring is rigidly attached to the upper flange of a steel purlin in light-roofed frame buildings using self-tapping screws and is interconnected by rivets at the longitudinal joints, it can effectively prevent torsion and lateral bending and be used to counteract the lateral-torsional buckling of the beam. The peculiarities of checking the stability of continuous purlins as part of a roof were investigated and the effectiveness of open cross-sections of hot-rolled profiles was compared on this basis. Practical recommendations for reducing the material consumption of purlin systems by rationally selecting the type of cross-section are given. The conclusion is made on the basis of a geometrically nonlinear analysis of the stress-strain state in accordance with the full theory of beams, taking into account imperfections and stiffness of lateral bracing structures. Preference is given to purlins made of rolled I-beams, which, due to their symmetry, have smaller eccentricities of load application and internal forces by restraint, unlike channels.

The analysis of the stress-strain state based on the full theory of beams and the spatial deformation model, which are in good agreement with each other, allows us to confirm the assumption that when roof purlins are restrained by profiled decking, they can be simplified in the elastic stage only for the main load in the plane of greater stiffness without the use of weights. The pitched component of the load at typical roof pitches of no more than 15° will be largely absorbed by the sheathing itself, and its value is insignificant and can be neglected in comparison with the effect of the prevailing load component in the main bending plane.

purlin, open cross-section, buckling, torsion, restraint

Одержано (Received) 12.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 20.10.2024

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024

УДК 625.7/.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.91-101](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.91-101)

М.В.Гаркуша, доц., канд. техн. наук

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

e-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua

Застосування гідроізоляційних покриттів для захисту від корозії дорожніх водопропускних труб з металевих гофрованих конструкцій

Дорожні водопропускні труби експлуатуються в складних умовах, які спричиняють розвиток корозійного впливу на метал конструкції, а сам метал потребує належного захисту для забезпечення надійності та довговічності споруди в цілому. Щоб забезпечити відповідність вимогам проектного терміну служби, сталеву конструкцію захищають антикорозійним покриттям. В роботі розглянуто різноманітні захисні покриття для підвищення довговічності дорожніх водопропускних від впливу корозії.

гідроізоляція, довговічність, дорожня водопропускна труба, захисні покриття, корозія

© М.В. Гаркуша, 2024

Постановка проблеми. Дорожні водопропускні труби з металевих гофрованих конструкцій (МГК) працюють у складних умовах, які спричиняють передчасний вихід їх з експлуатації, не забезпечуючи проектний термін служби, та можуть спричинити до руйнування всієї конструкції дорожнього одягу. Одним із шляхів підвищення довговічності дорожніх водопропускних споруд з МГК є застосування ефективних захисних покриттів від корозії. Отже, проведення даного дослідження для визначення різновидів захисних покриттів та їх ефективність роботи в різних середовищах є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Покриття, що використовуються на дорожніх водопропускних трубах, можна розділити на дві основні категорії, тобто металеві та бар'єрні. Металеві покриття призначені для створення стійкої до корозії та стирання поверхні та/або для захисту основного металу, діючи як анод у гальванічному елементі (катодний захист). Не всі металеві покриття пропонують жертвний захист основного металу. Наприклад, хромові покриття є катодними у відношенні до сталі, жертвними покриттями є цинк, алюміній або алюміній-цинк на сталі, а також алюмінієве покриття.

Бар'єрні покриття використовуються для запобігання контакту між матеріалом, що захищається, і навколишнім середовищем. Органічні покриття часто ефективно використовуються в поєднанні з тимчасовими покриттями. Бар'єрні покриття, які використовуються на дорожніх водопропускних трубах, включають органічні покриття (асфальтобетонні покриття, бітуми, мастики), епоксидні та тонкоплівкові полімерні покриття. Інші типи покриттів, такі як пасивуючі конверсійні покриття та інгібіторні покриття, не використовуються на дорожніх водопропускних трубах з МГК.

Існує три основні умови навколишнього середовища, які впливають на довговічність дорожніх водопропускних труб з МГК, та які слід враховувати, визначаючи, які матеріали будуть довговічними для застосування, до цих умов відносяться: ґрунтові, водні та антропогенні впливи [1].

Дорожні водопропускні труби з МГК працюють у різноманітних умовах навколишнього середовища залежно від пори року та місця розташування: від пустельних умов до суворих північних територіях, до областей з високою вологістю [2]. Оцинкована сталь підходить для частини цих ґрунтів і вод, але коли електрохімічні або стиральні властивості ґрунту/води перевищують ефективний діапазон оцинкованої сталі, необхідні альтернативні покриття або матеріали [3].

У той час як природне середовище створює свої власні ускладнення, антропогенне навантаження протижелезних солей є значним фактором раннього псування конструкційної сталі (рис.1) [4]. Протижелезні солі, що застосовуються для зменшення зледеніння дорожнього покриття, можуть накопичуватися в дорожніх стоках, снігу і узбіччях доріг, та зрештою потрапити до водних шляхів та/або просочування крізь ґрунт до дорожньої водопропускної труби з МГК. У регіонах з інтенсивним використанням солі для протижелезної обробки накопичення продуктів проти зледеніння може призвести до утворення хлоридів у ґрунті або воді, вміст до концентрацій, вищих за початково враховані [4]. Тому є необхідність застосування додаткових захисних покриттів.



Рисунок 1 – Наслідки впливу корозії на дорожню водопропускну трубу з МГК

Джерело: на підставі [5]

В Україні згідно з ВБН В.2.3-218-198 [6] додатковий захист металевих листів від корозії потрібно призначати на основі даних про корозійну активність (агресивність) ґрунтів основи, насипу та води, що протікає через споруду, а типи додаткового антикорозійного покриття МГК наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Тип додаткового антикорозійного покриття МГК

Загальний показник ступені агресивності ґрунту та води	Тип додаткового антикорозійного покриття поверхні	
	внутрішній	зовнішній
Слабо-агресивна	Бетонний лоток	Ґрунтовка, мастика бітумно-гумова
Середньо-агресивна	Ґрунтовка, мастика бітумно-гумова: асфальтобетонний лоток	Ґрунтовка, мастика бітумно-гумова, бітумно-мінеральна (бітуміноль)

Джерело: на підставі [6]

На сьогоднішній день, наймасовішим захистом від корозії дорожніх водопропускних труб з МГК є використання оцинкування та застосовується в середовищах з помірною корозією. Покриття може служити як методом бар'єрного, так і гальванічного захисту.

Оскільки індустрія вчилася на своїх успіхах і невдачах, були розроблені альтернативні покриття, щоб використовувати дорожні водопропускні труби з МГК в середовищах, де оцинковане покриття не відповідає вимогам експлуатації. Альтернативні рішення для покриття, які використовувалися в минулому або зараз використовуються [2]:

- металеві покриття (оцинковані, алюміновані, алюміновано-оцинковані);
- полімерні покриття;
- епоксидні покриття;
- покриття на основі органічних в'язучих речовин;
- покриття із застосуванням азбесту.

Більшість покриттів мають проблеми з довговічністю в умовах абразивного та екстремального корозійного впливу.

Умови роботи найпоширеніших покриттів наведено на рис. 2.

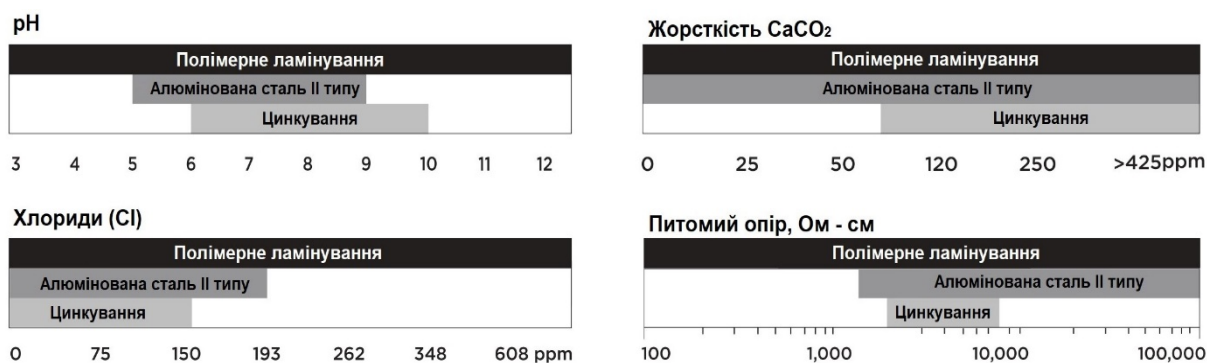


Рисунок 2 – Оптимальний діапазон роботи різних типів покриттів

Джерело: на підставі [7]

Дослідження, проведене Вроцлавським науково-технічним університетом у Польщі, показало, що хоча корозія нижньої частини труби збільшує деформацію у верхній частині труби, вона не послаблює її настільки, щоб спричинити поломку, навіть якщо 48 % нижньої частини труби водопропускна труба піддалася корозії, однак під час засипки це навантаження значно збільшується [8].

Виклад основного матеріалу.

Застосування оцинкованого покриття. Оцинковане покриття дорожніх водопропускних труб з МГК є найпоширенішим видом покриття. Оцинкування сталевих водопропускних труб вперше було використано в 1907 році для підвищення корозійної стійкості гофрованих сталевих труб. Незважаючи на те, що даний тип покриття широко використовується, цей тип водопропускної труби не слід встановлювати в сильно кислотних середовищах або абразивних ділянках [9].

В роботі [10] стверджується, що обмеження мають бути в діапазоні рН від 6 до 10 і мінімальним питомим опором 3000 Ом·см для максимального терміну служби. В дослідженні [9] стверджується, що цинкове покриття в ґрунті з рН 10 було повністю роз'їденою, але гофрована сталева труба не піддавалася корозії. Дослідження служби оцинкована сталевий водопропускної труби після 8 років, яка була встановлена в ґрунті, що складається з мулу та глини в, була загалом у хорошому стані з помірною іржею та легкими ямками. Було відзначено, що стирання від дрібного гравію викликає занепокоєння, щодо якості покриття [16].

В роботі зазначено, що залізобетон набагато кращий, якщо врахувати середній термін служби його ґрунті [11].

Довідник із сталевих дренажних і дорожніх виробів показує, що інверт (нижня внутрішня частина труби, яка піддається впливу стоків) є частиною труби, яка найбільш сприйнятлива до корозії. Інвертна корозія відбувається швидко, коли значення рН нижче 4,5, але рН ґрунту або води від 6 до 9,5 є загальновизнаним діапазоном для дорожніх водопропускних труб з МГК [9]. Стічні води впливають на швидкість корозії, зменшуючи товщину захисного шару. Розчинені солі у стічних водах можуть посилювати або зменшувати швидкість корозії. Солі, які іонізуються на трубі, зменшують питомий опір, тим самим збільшуючи швидкість корозії. З іншого боку, розчинені солі можуть знизити розчинність кисню, що зменшує корозійну активність стоків [12].

В роботі [13] зазначено, що було проведено дослідження водопропускних труб з оцинкованої сталі без додаткового покриття шляхом удару. Дослідження проводилося за рахунок механічних ударів по трубі киркою та оцінкою кількості втрати металу. Початкові дослідження алюмінієвих водопропускних труб показали, що якщо втрачається будь-який метал, то втрата металу відбуватиметься рівномірно в тій самій географічній зоні, що й оцинкована сталь. Хоча втрати металу на оцинкованій сталі не виявилися критичними. Було помічено й інші спостереження, що якщо дві водопропускні труби розташовувати поруч у руслі потоку, одна завжди несе більшу частину води. Інше доречне спостереження полягало в тому, що показники втрати металу, як правило, були вищими в південній частині штату, це може бути пов'язано з кількістю дощів, які випали лише в цьому році, і структурні пластинчасті водопропускні труби, як правило, мають нижчі показники втрати металу, ніж збірні труби, хоча відмінності невеликі, це варто враховувати. Такі спостереження є доречними під час розгляду питання про те, як слід розміщувати та робити водопропускні труби, щоб уникнути вищої швидкості корозії.

Металеві гофровані конструкції з оцинкованим покриттям добре працюють у неабразивній, жорсткій та неагресивній ґрунтовій воді, тоді як полімерні покриття добре працюють у цих умовах, а також у насиченій сіллю м'якій воді та помірно абразивному середовищі. Дослідження, проведені на початку 2000-х Хенслі та Перрі [14], підтверджує це шляхом проведення перевірок кількох водопропускних труб у різних середовищах. Дослідження зафіксувало умови навколишнього середовища та спостережувану продуктивність у порівняльному дослідженні.

Результати дослідження показують, що в місцях, де переважає вапняк (карбонат кальцію), процес корозії сповільнюється через утворений захисний шар, тоді як у місцях, де переважають солі, спостерігається швидке погіршення [15]. Дослідження показали, що збереження водопропускних труб сухими, особливо на кислих ґрунтах, означає тривалий термін служби [15].

У багатьох державах по-різному розглядаються конкретні випадки визначення факторів корозії. Даний тип покриттів розрахований терміном експлуатації не менше ніж 50 років.

Алюмінірована сталь II типу. Дорожні водопропускні труби з МГК, що покриті алюмініованою сталлю типу 2 стійкі до корозії, та мають міцну і довговічну захисну функцію. Виготовляються зі сталеві рулонів, що покриті гарячим зануренням рівномірної товщини з обох сторін. Здатні експлуатуватися в м'якій воді, кислих та солоних умовах в порівнянні з оцинкованою сталлю [7].

Даний тип покриттів розрахований терміном експлуатації до 75 років, труби з даним покриттям можуть бути за терміном експлуатування альтернативою залізобетонним трубам.

Застосування полімерного покриття. Найпоширенішими видами покриття є полімерний ламінований захист та термопластична полімерна система. Полімерне ламіноване захисне покриття — це верхнє покриття з етиленакрилової кислоти (ЕАА — Ethylene Acrylic Acid), яке термічно ламінований поверх оцинкованого шару з обох сторін дорожньої водопропускної труби з МГК, прикріплюючись як хімічним, так і фізично. Номінальна товщина покриття 250 мкм, хімічний склад 87,74 % вуглецю та 12,26 % кисню [16]. Внаслідок особливостей процесу нанесення, полімерні ламіновані конструкції були обмежені неглибокими гофрама та тонкими заготовками з максимальним діаметром 3600 мм. Покриття труб з полімерним ламінатом дозволило використовувати їх у більш агресивних умовах навколишнього середовища та збільшити максимальну швидкість потоку через конструкцію до 4,5 м/с [17].

Полімерний ламінат не використовується в середовищах зі значними коливаннями температури протягом дуже коротких періодів часу; швидкий, екстремальний термічний цикл не є провідним середовищем для полімерної ламінованої сталі. Найстаріші полімерні ламіновані конструкції були встановлені у США, Вісконсіні в 1974 році. У Канаді встановлення почалося лише в 1970-х роках у Нью-Брансвіку та Онтаріо. Хоча полімерні ламіновані конструкції існували й раніше, Альберта була першою канадською провінцією, яка офіційно схвалила полімерні ламіновані покриття у 2002 році. У відповідь на це схвалення полімерні ламіновані покриття використовувалися в регіонах з високим вмістом луку та на швидкісних автомагістралях, де часто використовувалися протиожеледні солі. Онтаріо була другою провінцією, яка схвалила полімерні ламіновані покриття. У 2005 році полімерний ламінат використовувався на кількох проєктах автомагістралей, де переоблицьовували існуючі водопропускні труби.

Аналіз умов експлуатування призвів до розробки вказівок щодо розрахункового терміну служби, які окреслюють розрахунковий термін служби полімерних покриттів у різних умовах ґрунту та води.

Термопластична полімерна система складається ґрунтової, збагаченої цинком, що містить щонайменше 60 % цинку, і верхнього покриття з кополімеру ЕАА, що містить мінімум 85 % ЕАА.

Сталеві пластини без покриття спочатку набувають шорсткості, очищаються за допомогою восьмиступеневої попередньої обробки, а потім наносять покриття. Замість ламінування сополімер розпилюється у вигляді порошку, який притягується до металевих пластин електростатичним струмом. Порошок затверджується в печі з контрольованою температурою перед проходженням через охолоджуючий тунель. Мінімальна товщина системи покриття становить 250 мкм. Однак типова товщина системи є набагато більшою із середнім показником 400 мкм.

Завдяки процесу нанесення порошкового розпилення та термічної активації система з полімерним покриттям доступна для всіх гофрованих сталевих листів, а також для спеціальних супутніх елементів, таких як сталь опори і опорні канали. Процес нанесення також дозволяє покрити краї пластини та отвори для болтів і захистити їх від розшарування країв у несприятливих умовах.

Першу встановлену конструкцію було зведено поблизу Кінгстона, Онтаріо, Канада у 2005 році. Конструкція була підземним переходом для Міністерства транспорту Онтаріо (МТО) і була покрита лише зовнішньою стороною (сторона ґрунту).

Плита з термопластичним полімерним покриттям набуває визнання в Канаді, поширена в Європі та США.

Сучасні термопластичні системи (рис. 3) дають можливість підвищити термін експлуатування до 75 — 100 років [7].



Рисунок 3 – Застосування термопластичних пластин

Джерело: на підставі [7]

Під час піскоструминних випробувань полімерне покриття товщиною 12 мм дорівнювало асфальтобетонному покриттю товщиною 50 мм за стійкістю до стирання [9].

Дослідження в США показали, що труби з полімерним покриттям можуть використовуватися на об'єктах з високою швидкістю корозії та помірним потоком стирання [12]. Було зауважено, що зовнішня сторона труби має бути покрита полімером у регіонах з кислим ґрунтом, щоб запобігти корозії з боку ґрунту [18].

Для аналізу використано три полімерних покриття. Додатковий термін служби становить приблизно 7,9 і 30 років для покриттів на основі кам'яновугільної смоли (Nexon), полівінілхлориду (ПВХ) пластизолу (Beth-Cu-Loy) і плівки з етилену акрилової кислоти (DAF 625), відповідно [19]. Було зазначено, що стирання може зменшити термін служби, та проявляється протягом перших 2 років [19].

Застосування епоксидних покриттів. Оскільки дорожні водопропускні труби з епоксидним покриттям складаються лише зі сталевих труб, а не з оцинкованих сталевих труб, водопропускні труби з епоксидним покриттям не мають тривалого терміну служби [19]. В більшості випадків перші прояви корозії pojawiaються строком експлуатації 5 років [19]. Об'єкти в США, які перебувають під великим навантаженням, показали пошкодження покриття та виникнення корозії протягом перших 5 — 8 років експлуатації [19]. Однак в штаті Кентуккі (США) в місцях з високою кислотністю (рН від 3,5 до 5,5) вони експлуатувалося понад 13 років без слідів стирання чи корозії [12].

Застосування покриттів на основі органічних в'язучих речовин. Найпоширенішим захисними покриттями на основі органічних в'язучих речовин є гаряче нанесення бітумінозного матеріалу. Цей тип покриття часто покриває всю внутрішню та зовнішню частину водопропускної труби та забезпечує захист від корозії. Бітумне покриття також використовується для алюмінієвих труб, нержавіючої сталі та бетонних труб [12].

Вперше використані в 1925 році оцинковані сталеві труби з бітумним покриттям мають додатковий термін служби від 25 до 30 років порівняно з оцинкованою сталлю без покриття [19]. Звіт Флориди показує, що водопропускні труби з бітумним покриттям мають подовжений термін служби 28 років [12]. Перегляд існуючого дослідження в Нью-Йорку вказує на додаткові 25 років терміну служби. У звіті штату Мен прогнозований термін служби гофрованих металевих труб з бітумним покриттям збільшується на 40 років [12].

Бітумні покриття забезпечують більший захист від корозії з боку ґрунту, ніж від внутрішньої корозії труби [16, 17]. Довідник AISI щодо сталевих дренажних і дорожніх виробів передбачає (на основі досліджень у Каліфорнії), що можна додати додаткові 25 років служби, якщо домінуючим фактором є корозія з боку ґрунту. В США, штаті Арізона використовують бітумні покриття на металевих трубах, коли питомий опір ґрунту становить менше 2100 Ом·см. В США, штаті Оклахома використовують бітумні покриття на металевих водопропускних трубах, щоб забезпечити 50-річний термін служби [12].

Типова мінімальна товщина нанесення бітумного шару становить 1,3 мм (0,05 дюйма). Це нанесення забезпечує хороший захист від корозії з боку ґрунту, але дуже слабкий захист від стирання, і там, де швидкість потоку перевищує 2 м/с (6,5 футів/с).

Окрім обмеженої стійкості до стирання, більшість асфальтобетонних покриттів зазнають пошкоджень, коли водопропускна труба піддається впливу сонячного світла.

Ультрафіолетові промені та екстремальні температури часто призводять до розвитку тріщин, які оголюють голий метал і, зрештою, порушити зчеплення покриття.

Покриття на основі органічних в'язучих речовин можуть бути легкозаймистими. Там, де є високий ризик пожежі, слід розглянути бетонні торцеві стіни або інші ізоляційні матеріали. Особливу увагу слід приділяти під час транспортування та встановлення, щоб гарантувати, що покриття не пошкоджено та не відстане.

Типовий додатковий термін служби від використання покриття на основі органічних в'язучих речовин становить 10 років в середині труби [20] та до 30 років зовні труби.

В дослідженнях проведених в Нью-Йорк стверджується, що бітумні покриття значно збільшують термін служби оцинкованої сталі [12].

У своїх таблицях довговічності металевих труб Огайо DOT [21] передбачає 15-річний додатковий термін служби для бітумного покриття для водопропускних труб діаметром 54 дюйми і більше та 25 років для водопропускних труб діаметром 48 дюймів і менше.

Дослідження, проведене в Алабамі, прийшло до висновку, що оцинкована труба з бітумним покриттям має принаймні 25 років служби в корозійних середовищах. Згідно зі звітом у Флориді, бітумні покриття збільшують термін служби оцинкованої сталі ще на 10 років. Звіти показують, що для об'єктів Кентуккі з кислим ґрунтом рН 3,5 можна очікувати, що використання оцинкованої сталі з бітумним покриттям збільшить термін служби від 3 до 6 років. Водопропускні труби з оцинкованої сталі без покриття на цих дуже агресивних ділянках раніше мали термін служби один місяць. Дослідження, проведені в штаті Мен, показують, що труби з бітумним покриттям мають гарний термін служби в ґрунтах із резистивами понад 2400 Ом·см [12].

Дослідження в проведені в США в штатах Теннесі, Меріленді та Канзасі показали обмежене збільшення терміну служби. Основними причинами були відсутність адгезії та швидка корозія після впливу стирання на бітумне покриття. Канзас повністю припинив використання бітумних покриттів через відсутність адгезії до водопропускної труби. Вони стверджують, що руйнування покриття могло бути спричинене постійною зміною рівня вологості глинистого ґрунту всередині водопропускної труби [15].

Великим недоліком даного типу покриття є горючість під час можливого горіння трави, а також погіршення якості води, пов'язаної з впливом бітуму на навколишнє середовище, тому деякі регуляторні органи в різних країнах наклали обмеження на використання покриттів на основі органічних в'язучих речовин.

Краї бітумного покриття, які знаходяться вгорі всередині труби, є найменш стійкими до корозійно-абразивного впливу стоків. Слід звернути особливу увагу на захист цієї ділянки водопропускної труби [12]. Подальші проблеми можуть виникнути на кінцях водопропускної труби, де покриття може утворювати великі тріщини через сонячне світло та екстремальні температури [12].

Порівнюючи бітумні покриття з полімерними, полімерні покриття не забезпечували належної роботи, коли були присутні гострі камені та високі швидкості стоків [12].

Покриття із застосуванням азбесту. Дані покриття застосовуються в комбінації органічних в'язучих речовин та азбестових волокон. Просочені азбестом бітумне покриття, вперше використовувалося в 1936 році, були ефективними в середовищах з високою корозійно-абразивною дією. Азбестові волокна допомагають посилити адгезію бітумних покриттів, але самі по собі не будуть стійкими до стирання, однак швидкість стирання зменшилася через додаткову адгезію [12].

Дослідження, проведені в США, показали успішне застосування просочених азбестом бітумних покриттів у зменшенні ефекту стирання порівняно з простими металевими трубами з бітумним покриттям. Причиною є хороша адгезія бітумного покриття, просоченого азбестом [12]. У кислому, лужному або солонуватому водному середовищі металеві труби з бітумним покриттям, просочені азбестом, забезпечують більший термін служби, ніж металеві труби з ґрунтовим бітумним покриттям [9].

Оцинкована сталь, як правило, показала кращі характеристики, ніж звичайна асфальтобетонна оцинкована сталь. Найбільшим негативним показником даного покриття є розтріскування та стирання. Даний вид покриттів не застосовується внаслідок шкідливих властивостей азбесту для здоров'я людей.

В якості заміни бітумного покриття, просоченого азбестом, було запропоновано покриття з армованого волокна. Проведені лабораторні випробування бітумних покриттів із застосуванням арамідного волокна не показало належних результатів [19].

Висновок. Дорожні водопропускні труби експлуатуються в складних умовах, які спричиняють розвиток корозійного впливу на метал конструкції, а сам метал потребує належного захисту для забезпечення надійності та довговічності споруди в цілому. На даний час в Україні відсутні випробування альтернативних захисних покриттів цинкуванню, а покриття з алюмінованою сталлю взагалі не використовуються. Тому, є необхідність проведення експериментальних досліджень з розробкою рекомендацій, щодо застосування перспективних видів захисту дорожніх водопропускних труб з металевих гофрованих конструкцій.

Список літератури

1. Гаркуша М. В. Вплив корозії на технічний стан дорожніх водопропускних труб та сучасні методи їх ремонту. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2023. Вип. 8(39), ч. I. С. 57 – 66. 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)
2. West A., Williams K., Villeneuve D., Carroll P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada.
3. Corrugated Steel Pipe Institute (2011). Canadian Performance Guideline for Structural Plate Corrugated Steel Pipe and Deep Corrugated Structural Plate Structures. Technical Bulletin. Cambridge, Ontario.
4. Lax S., Peterson E.W. (2009). Characterization of chloride transport in the unsaturated zone near salted road. *Environ Geol.* Vol. 58, pp. 1041-1049.
5. Компанія Infrasteel. URL: <https://infrasteel.com/> (дата звернення: 04.10.2024).
6. ВБН В.2.3-218-198:2007 Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. [Чинний від 2007-02-01]. Київ, 2007. 51 с. (Інформація та документація).
7. Компанія Armtec. URL: <https://armtec.com/> (дата звернення: 04.10.2024).
8. Kunecki B., Janusz L., Korusiewicz L. (2017). The effect of corrosion and time on the behaviour of a steel culvert. [10.1201/9781315166605-98](https://doi.org/10.1201/9781315166605-98)
9. National Cooperative Highway Research Board (1978). Durability of Drainage Pipe, Transportation Research Board.
10. Tennessee Department of Transportation (1987). Roadway Design Guidelines.
11. Missouri Highway and Transportation Department (1990). Life Expectancy Determination of Zinc-Coated Corrugated Steel and Reinforced Concrete Pipe Used in Missouri.
12. Bradley R. Boyd J. L. Gattis II, William A. Myers, R. P. Selvam (1999). Guidelines for Selections of Pipe Culverts. TRC9601.
13. Peter J. B., James P. E. (1984). Metal-Loss Rates of the Coated Steel and Aluminum Culverts in New York Transportation Research Record, <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1984/1001/1001-009.pdf>
14. Hensley S., Perry P. (2006). Long-Term Durability Study: Long-Span Structures. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1736, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 62 – 70.
15. Hayes C. (1971). A study of the Durability of Corrugated Steel in Oklahoma, Oklahoma Department of Highways.

16. Warner Custom Coating Testing (2012). Comparative Test Results: Coatings Used in the Corrugated Steel Pipe Industry, Guelph, Ontario.
17. Corrugated Steel Pipe Institute (2012). Performance Guideline for Corrugated Steel Pipe Culverts (300mm to 3,600mm Diameter). Technical Bulletin. Cambridge, Ontario.
18. Koscenlly J. A. (1992). Polymer Coated and Paved Culverts in Southeastern Oklahoma, Oklahoma Department of Transportation.
19. Potter John C., et al. (1991). Durability of Special Coatings for Corrugated Steel Pipe, Report No. FHWA-FLP-91 -006, Federal Highway Administration.
20. Moore, I.D., F. Hu. (1996). Linear Viscoelastic Modelling of Profiled High Density Polyethylene Pipe. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 23, 395-407.
21. Ohio Department of Transportation (2014). Location and Design Manual, Vol. 2: Drainage Design. Columbus

References

1. Harkusha, M. V. (2023). Vplyv koroziyi na tekhnichnyy stan dorozhnykh vodopropusknykh trub ta suchasni metody yikh remontu. *Tsentral'noukrayins'kyi naukovyy visnyk. Tekhnichni nauky. Kropyvnyts'kyi, TSNTU*. Issue. 8(39), Part. I. P. 57 – 66. 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) [in Ukrainian].
2. West, A., Williams, K., Villeneuve, D., & Carroll, P. (2012). Added Longevity with Thermoplastic Polymer Coated Structural Steel Plate. Atlantic Industries, Canada [in English].
3. Corrugated Steel Pipe Institute (2011). Canadian Performance Guideline for Structural Plate Corrugated Steel Pipe and Deep Corrugated Structural Plate Structures. Technical Bulletin. Cambridge, Ontario [in English].
4. Lax, S., & Peterson, E.W. (2009). Characterization of chloride transport in the unsaturated zone near salted road. *Environ Geol*. Vol. 58, pp. 1041-1049 [in English].
5. Kompaniya Infrasteel. Retrieved from <https://infrasteel.com/> [in English].
6. VBN V.2.3-218-198:2007 Proektuvannya ta budivnytstvo sporu iz metalevykh hofrovanykh konstruksiy na avtomobil'nykh dorohakh zahal'noho korystuvannya. [Chynnyy vid 2007-02-01]. Kyiv, 2007. 51 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [in English].
7. Kompaniya Armtec. *armtec.com*. Retrieved from <https://armtec.com/> [in English].
8. Kunecki B., Janusz L., & Korusiewicz L. (2017). The effect of corrosion and time on the behaviour of a steel culvert. [10.1201/9781315166605-98](https://doi.org/10.1201/9781315166605-98) [in English].
9. National Cooperative Highway Research Board. (1978). Durability of Drainage Pipe, Transportation Research Board [in English].
10. Tennessee Department of Transportation. (1987). Roadway Design Guidelines [in English].
11. Missouri Highway and Transportation Department (1990). Life Expectancy Determination of Zinc-Coated Corrugated Steel and Reinforced Concrete Pipe Used in Missouri [in English].
12. Bradley, R., Boyd, J., Gattis L., William, II, Myers, A. & Selvam, R. P. (1999). Guidelines for Selections of Pipe Culverts. TRC9601 [in English].
13. Peter, J. B., & James, P. E. (1984). Metal-Loss Rates of thecoated Steet And Aluminum Culverts in New York Transportaion Research Record, Retrieved from <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1984/1001/1001-009.pdf> [in English].
14. Hensley, S., & Perry, P. (2006). Long-Term Durability Study: Long-Span Structures. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1736, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 62 – 70 [in English].
15. Hayes, C. (1971). A study of the Durability of Corrugated Steel in Oklahoma, Oklahoma Department of Highways [in English].
16. Warner Custom Coating Testing (2012). Comparative Test Results: Coatings Used in the Corrugated Steel Pipe Industry, Guelph, Ontario [in English].
17. Corrugated Steel Pipe Institute (2012). Performance Guideline for Corrugated Steel Pipe Culverts (300mm to 3,600mm Diameter). Technical Bulletin. Cambridge, Ontario [in English].
18. Koscenlly, J. A. (1992). Polymer Coated and Paved Culverts in Southeastern Oklahoma, Oklahoma Department of Transportation [in English].
19. Potter John C., et al. (1991). Durability of Special Coatings for Corrugated Steel Pipe, Report No. FHWA-FLP-91 -006, Federal Highway Administration [in English].
20. Moore, I.D., F. Hu. (1996). Linear Viscoelastic Modelling of Profiled High Density Polyethylene Pipe. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 23. P. 395-407 [in English].
21. Ohio Department of Transportation (2014). Location and Design Manual, Volume 2: Drainage Design. Columbus [in English].

Mykola Harkusha, Assoc. Prof., PhD tech.sci.
National Transport University, Kyiv, Ukraine

Application of Waterproofing Coatings for Corrosion Protection of Road Culverts Made of Corrugated Metal Structures

Road culverts made of corrugated metal structures were initially used as small pipes in both length and diameter. Today, road culverts made of corrugated metal structures are used with a span of 40 m and are a composite soil-steel system and are widely used in the field of transport construction. Road culverts made of corrugated metal structures are economical, aesthetically attractive, have the advantage of quick construction with minimal maintenance in the future, the estimated service life is usually from 50 to 100 years.

Constantly operating in wet conditions, road culverts made of corrugated metal structures are subject to corrosion and abrasion due to environmental influences. Corrosion occurs in several places, for example, on the surface in contact with the soil, on the inside of the pipe where flowing water is present, or on the surface exposed to air. This is due to aggressive substances in the air, water or soil backfill material, such as salts, metals or other aggressive chemicals. Corrosion is the main cause of the destruction of metal structures. The rate of degradation of materials depends on environmental conditions. The expected service time of road culverts is determined by the durability of the material and the durability of the structure. The durability of the material refers to the ability of the pipe to resist wear due to the natural processes of corrosion, abrasion and erosion. When designing road culverts made of corrugated metal structures, it is important to understand the environmental conditions throughout its service time in order to assess the suitability of the material. To ensure compliance with the design service time requirements, the steel structure is protected with an anti-corrosion coating.

The paper considers various protective coatings to increase the durability of road culverts from corrosion.

waterproofing, durability, road culvert, protective coatings, corrosion

Одержано (Received) 23.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 26.10.2024

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024

УДК 621.867.84

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.101-110](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.101-110)

В.В. Яцун, проф., канд. техн. наук, **І.О. Скриннік**, доц., канд. техн. наук,

О.В. Горпинченко, доц., канд. екон. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: yatsun@i.ua

Дослідження механіки руху сипкого кускового матеріалу на розгінній ділянці пневмотранспортного трубопроводу вібраційно-пневмотранспортної машини циклічної дії

Приведені основні результати досліджень з розробки та впровадження в виробництво новітніх технічних засобів та технологій у галузі геотехнологій, систем трубопровідного вібропневмотранспорту, герметичності порожнистих виробіток. Наукова новизна та практична значимість робіт полягає в можливості значно підвищити ефективність технологічних процесів за рахунок використання отриманих результатів. У статті досліджуються характеристики руху частинки кускового матеріалу на початковій ділянці транспортного трубопроводу вібраційно-пневмотранспортної машини циклічної дії (ВПМЦ).
ділянка польоту частинок, рух поодинокі частинки, транспортний трубопровід

© В.В. Яцун, І.О. Скриннік, О.В. Горпинченко, 2024