

УДК 625.745.1

Гаркуша М. В., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

ЗАХИСТ БЕТОННИХ ТА МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНОГО ТА ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТІВ

Анотація

Вступ. Надійний гідроізоляційний захист є однією з умов забезпечення довговічності транспортних та гідротехнічних споруд. Проте серед домінуючих причин руйнування транспортних та гідротехнічних споруд є передчасне руйнування гідроізоляції, яка є одним із найменш довговічних елементів прогнаної будови.

Гідроізоляційна система, що застосовується для захисту бетонних та металевих конструкцій транспортного та гідротехнічного будівництва повинна мати надійність, що представлено у виконанні необхідних функцій в умовах експлуатації протягом заданого часу при збереженні основних характеристик, мати максимально близький до конструкцій, що ізолюються, термін служби.

Гідроізоляційні матеріали мають дві взаємопов'язані характеристики: внутрішньою будовою і якісними показниками. Взаємозв'язок встановлюється при оптимальних структурах, коли стійкі зв'язки в них забезпечують стабільність основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змін матеріалу в конструкціях. Внутрішня будова, або структура, гідроізоляційних матеріалів виражає певний характер зв'язків та порядок зчеплення частинок, з яких вони утворені.

Найбільш досконалими з точки зору забезпечення захисту плити є рідкі композитні мембрани на основі поліуретанових і метилметакрилатних смол. Мембранні покриття утворюють суцільну безшовну конструкцію на поверхнях складної форми, так як їх нанесення проводиться методом розпилення рідини.

Дослідження впливу різних факторів на довговічність гідроізоляційних мембран на основі метилметакрилатної є необхідною складовою для розроблення технології влаштування гідроізоляційних мембран на основі метилметакрилатної смоли на транспортних та гідротехнічних спорудах та встановлення вимог до них.

Проблематика. Встановлено, що існує необхідність в узагальненні існуючих підходів захисту бетонних та металевих конструкцій транспортного та гідротехнічного будівництва та розроблення рекомендацій щодо улаштування гідроізоляційних систем на основі метилметакрилатної смоли.

Мета. Мета наукової роботи полягає у дослідженнях спрямованих на узагальненнях із захисту бетонних та металевих конструкцій транспортного та гідротехнічного будівництва із застосування метилметакрилатів, що улаштовуються у вигляді гідроізоляції споруд.

Результати. На основі проведених досліджень узагальнено існуючі підходи застосування гідроізоляційних систем на основі метилметакрилатної смоли на транспортних та гідротехнічних спорудах та розроблено рекомендацій щодо улаштування гідроізоляційних систем на основі метилметакрилатної смоли.

Висновки. В роботі наведено рекомендації з підготовки поверхні транспортних та гідротехнічних споруд для улаштування гідроізоляційної системи, які доповнюють діючі нормативні документи України, основні технологічні операції та особливості улаштування гідроізоляційної системи.

Ключові слова: автомобільні дороги, автодорожній міст, гідроізоляція, гідроізоляційна мембрана, довговічність, мостове полотно, метилметакрилат, транспортна споруда.

Актуальність роботи

У 1920-х роках в Європі та США, почали використовувати відносно примітивні гідроізоляції на бетонних спорудах транспортного та гідротехнічного будівництва, в тому числі і мостів. З 1940-х років до 1950-х років, з розгортанням масштабного будівництва автомобільних доріг розпочалося масове

застосування різноманітних гідроізоляційних систем, однак виявилося, що застосування ефективних гідроізоляційних систем досить складна справа. У 1960-х роках внаслідок накопичення знань, а також роботи мостового покриття в агресивних середовищах, здебільшого від дії солей, з'явилася концепція водонепроникної системи, з'являються методики дослідження гідроізоляції [1].

Системи гідроізоляції мостів на основі рідкого полімеру (німецька мова — Flüssigkunststoff (FLK)) були впроваджені приблизно одночасно із системами гідроізоляції мостів з використанням полімерно-бітумних гідроізоляційних мембран [2].

Віадук Грюєр (Viaduc de la Gruyère) був побудований між 1974 і 1979 роками (**рис. 1**).



Рисунок 1 — Віадук Грюєр, Швейцарія [3]

Його гідроізоляція була виконана за допомогою рідкого полімеру Efkaprene S3. Полімерно-бітумні гідроізоляційні мембрани вперше були широко використані у 1978 році на віадукі Беккенрід-Ленен (Lehnenviadukt Beckenried) (**рис. 2**).



Рисунок 2 — Віадук Беккенрід-Ленен, Швейцарія [4]

У 1976 році у США в Національній програмі спільних досліджень автомобільних доріг (NCHRP) запропоновано випробування ефективності гідроізоляційного матеріалу [5].

Хоча полімерно-бітумні гідроізоляційні мембрани згодом розширилися та зберегли свої позиції як системи гідроізоляції для мостів (бетонних та металевих елементів), рідко-ін'єкційні полімерні гідроізоляційні системи з того часу стали нішевим рішенням, тимчасово займаючи значну частку ринку.

Спочатку системи на основі розчинених полімерів (Efkarene S3) були в центрі уваги у Швейцарії, а також у Німеччині. Рідкі полімери на основі реактивних речовин були розроблені та використані з початку 1980-х років [2]. Цей розвиток частково був пов'язаний з не зовсім позитивним досвідом використання систем на основі розчинених полімерів (наприклад, утворення бульбашок на покритті віадука Грюер), а частково з досягненнями в хімії поліуретанів, які дозволили розробити «оригінальний» тип поверхневої гідроізоляції. Після розробок 1980-х років було опубліковано та переглянуто в 1995 році ZTV-BEL-B Частина 3/87 [6], перший збір правил у німецькомовних країнах щодо гідроізоляції мостів з рідких полімерів, ZTV-BEL-B Частина 3/95 [7].

Частка ринку гідроізоляції мостів з рідких полімерів у Швейцарії сьогодні переважно становить до 5 %. У Німеччині, де з точки зору Швейцарії очікувалася відносно висока частка ринку, зараз вона становить лише 1 %.

Таким чином, можна зробити висновок, що, незважаючи на значний інтерес, виявлений адміністративними органами та будівельними органами, гідроізоляція мостів та гідротехнічних споруд, що наноситься рідким способом, не мала значного успіху. Окрім частково негативного досвіду використання рідкої гідроізоляції, це також було пов'язано з вищими виробничими витратами на рідку гідроізоляцію порівняно з полімерно-бітумними гідроізоляційними мембранами.



Рисунок 3 — Віадуку Беккенрід-Ленен, Швейцарія [4]

У Великій Британії рідка гідроізоляція також була розроблена та введена в експлуатацію як система гідроізоляції мостів у середині 1970-х років після досліджень щодо придатності систем гідроізоляції мостів, що використовувалися на той час. Однак виробники застосували інший хімічний підхід та розробили рідку гідроізоляцію на основі ПММА (поліметилметакрилату). У Великій Британії, на відміну від материкової Європи, цей початок призвів до домінуючої частки ринку рідких гідроізоляційних систем [2].

1 січня 2005 року набрав чинності стандарт SN 640 450: 2005 «Гідроізоляційні системи та бітумні шари на бетонних мостах» [8]. Цей стандарт дозволяє два еквівалентні типи гідроізоляційних систем: гідроізоляційні системи з гідроізоляційним шаром з полімерно-бітумних герметичних мембран та гідроізоляційні системи з гідроізоляційним шаром з рідкого пластику. Це було продовжено в SN 640 450a: 2009, який набрав чинності 1 січня 2009 року [9].

На відміну від стандарту, Федеральне дорожнє управління Швейцарії (Bundesamt für Strassen ASTRA) не дозволило використання гідроізоляційних систем FLK у своїх правилах «Керівні принципи

щодо конструктивних деталей мостів, розділ 5: Гідроізоляція та дорожні покриття» (з переглядом 2005 року) [10].

У своїх правилах ASTRA зазначає: «Використання гідроізоляційних систем FLK на всю поверхню ставить дуже високі вимоги до матеріалу та застосування». Наразі ущільнювачі FLK використовувати не можна. Після ратифікації Керівних принципів EOTA, ASTRA буде прийняте рішення щодо використання гідроізоляції FLK.

Розділ 5 з того часу не переглядався, і навіть після введення Керівних принципів EOTA, ASTRA продовжує загалом не дозволяти FLK як гідроізоляцію для мостів.

Розробка Посібника EOTA розпочалася у грудні 2000 року, а Посібник набув чинності у липні 2010 року як ETAG 033 [11]. Властивості, необхідні в ETAG 033, були обрані на основі національних потреб, а також технічних вимог, щоб мінімізувати вразливість до ризику гідроізоляційних систем FLK та передбачити термін служби щонайменше 25 років.

З введенням ETAG 033 технічне схвалення гідроізоляційних систем FLK для мостів регулюється однаково по всій Європі. Технічне схвалення, надане однією країною, також дійсне в усіх інших країнах. Однак, чи можна його застосовувати, залежить від того, чи відповідає продукт також національно визначеним вимогам для відповідного об'єкта. У Швейцарії SN 640 450 «Гідроізоляційні системи та бітумні шари на бетонних мостах» було переглянуто та адаптовано до властивостей, визначених ETAG 033 щодо рідких гідроізоляційних систем.

Таким чином, чинний стандарт SN 640 450a: 2009 забезпечує поточну основу для використання рідких гідроізоляційних систем на мостах та гідротехнічних спорудах транспортного будівництва.

Протягом кількох років рідкі гідроізоляційні системи у Швейцарії все частіше базуються на полімерах РММА (поліметилметакрилат) та РUA (полісечовина) замість PU (поліуретан). Як і у випадку з PU, для РММА та РUA мало даних щодо взаємозв'язку між адгезійними властивостями та погодними умовами під час використання рідких гідроізоляційних систем та в часовому інтервалі між рідкими гідроізоляційними системами та укладанням мастикового асфальтобетону [2].

На сьогоднішній день, гідроізоляційні системи на основі метилметакрилатної смоли широко застосовуються на транспортних та гідротехнічних спорудах в Україні та світі (рис. 3 – 8).

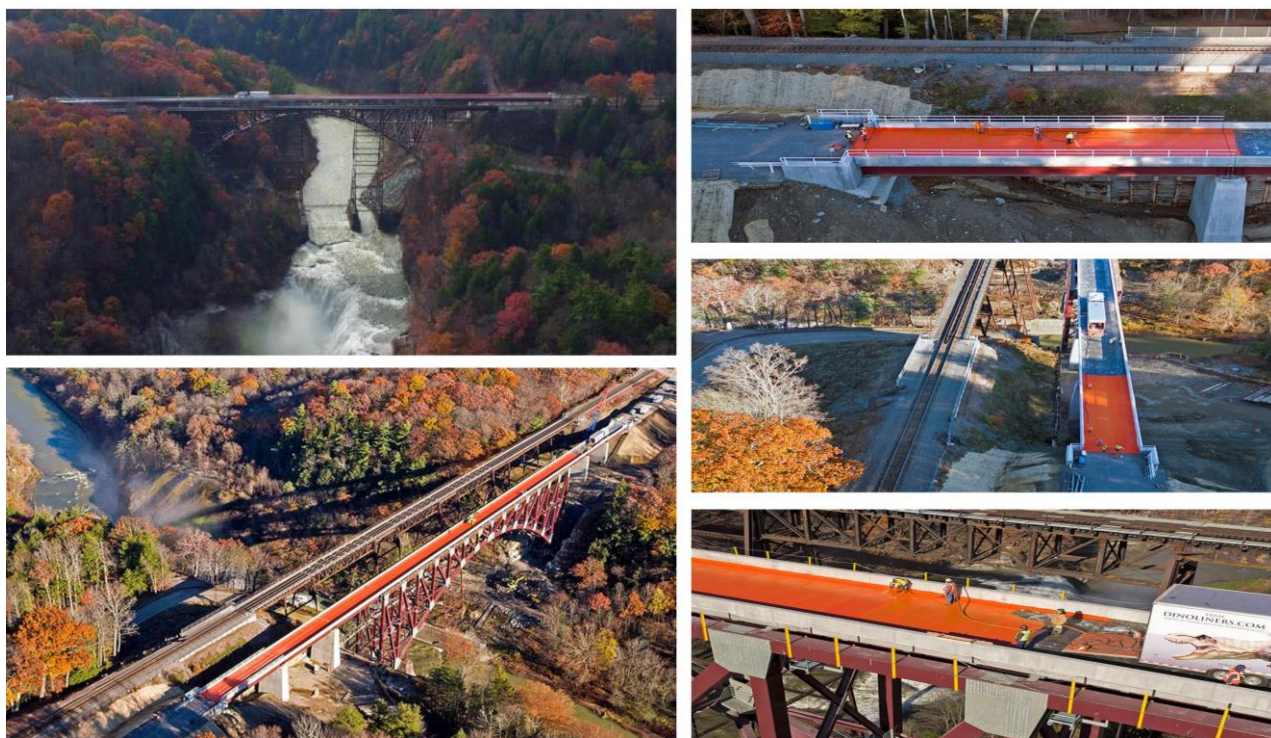


Рисунок 4 — Міст Портаджвіль (Portageville Bridge) м. Портеджвіль, штат Нью-Йорк, США, 2017 р. (побудований 1875 р.) [12]

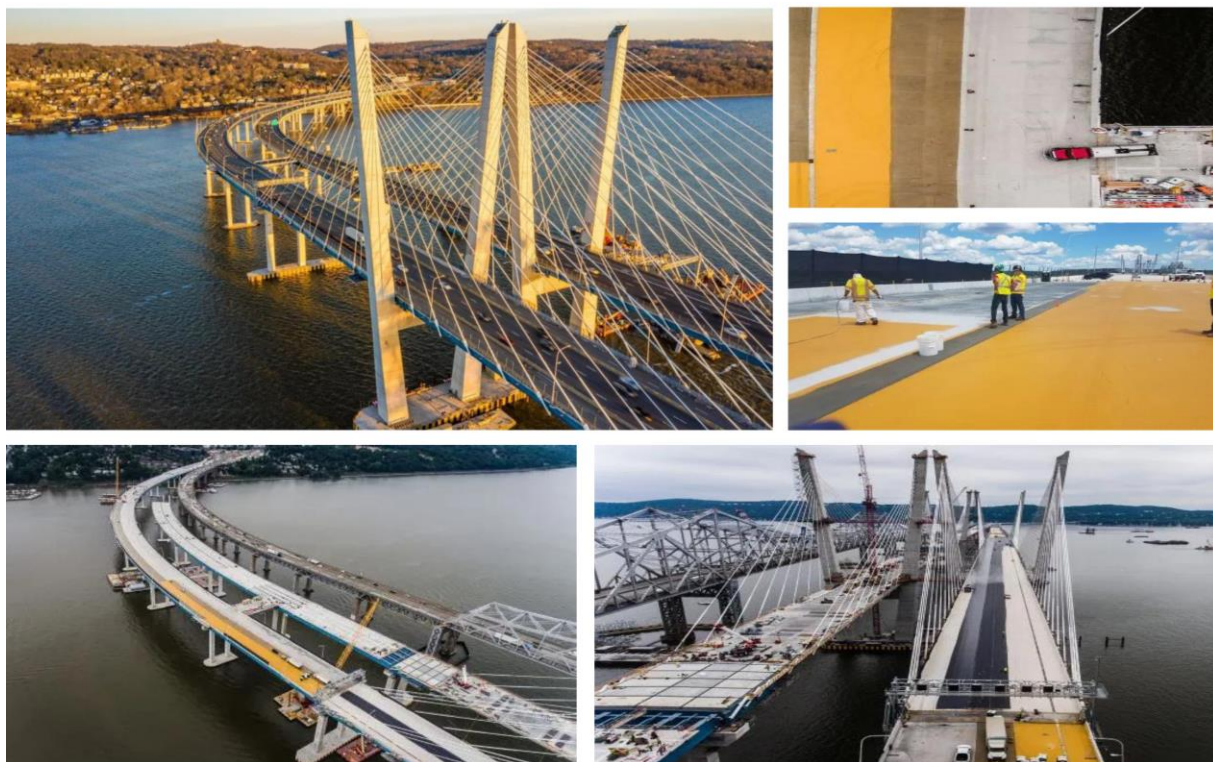


Рисунок 5 — Міст ім. губернатора Маріо М. Куомо (Governor Mario M. Cuomo Bridge) через р. Гудзон, м. Терітаун, штат Нью-Йорк, США, 2018 р. [13]

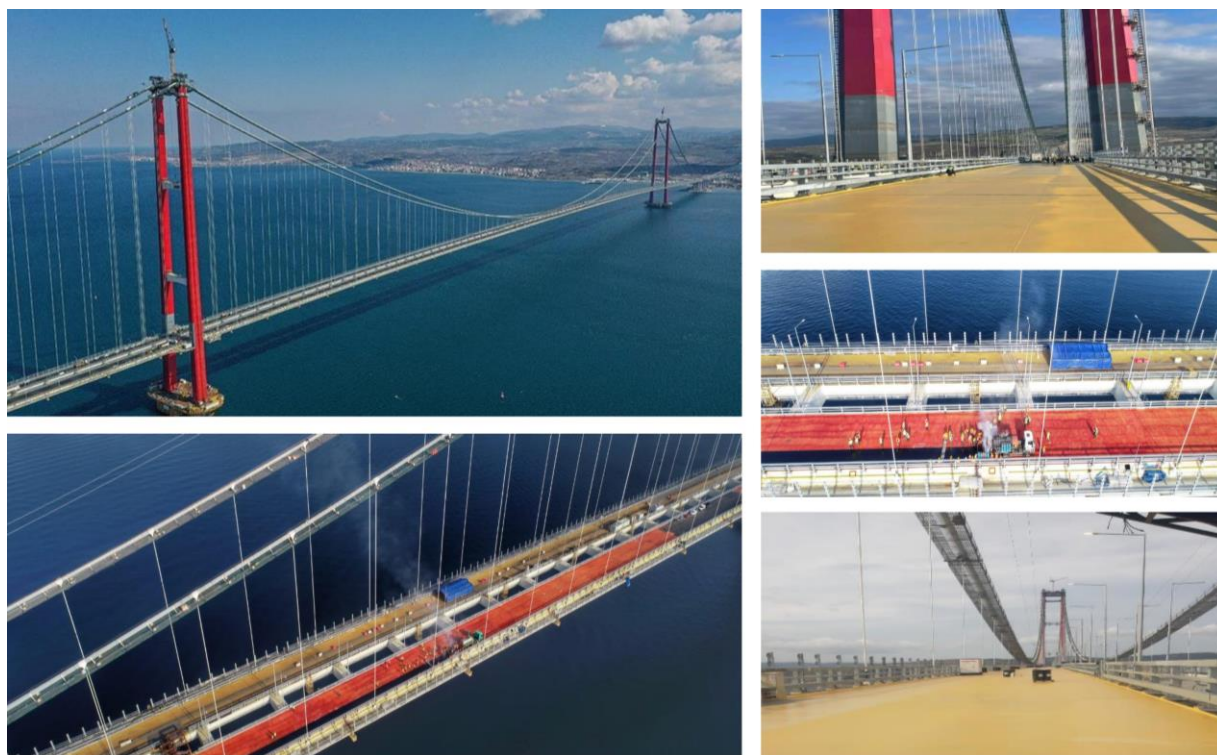


Рисунок 6 — Міст Чанаккале 1915 (1915 Çanakkale bridge) через протоку Дарданели, Туреччина, 2022 р. [14]



Рисунок 7 — Аварійно – відновлювальні роботи на мості на автомобільній дорозі М-06 Київ-Чоп км 831+711 через р. Тису, Закарпатська область, Україна, 2021 р. [1]

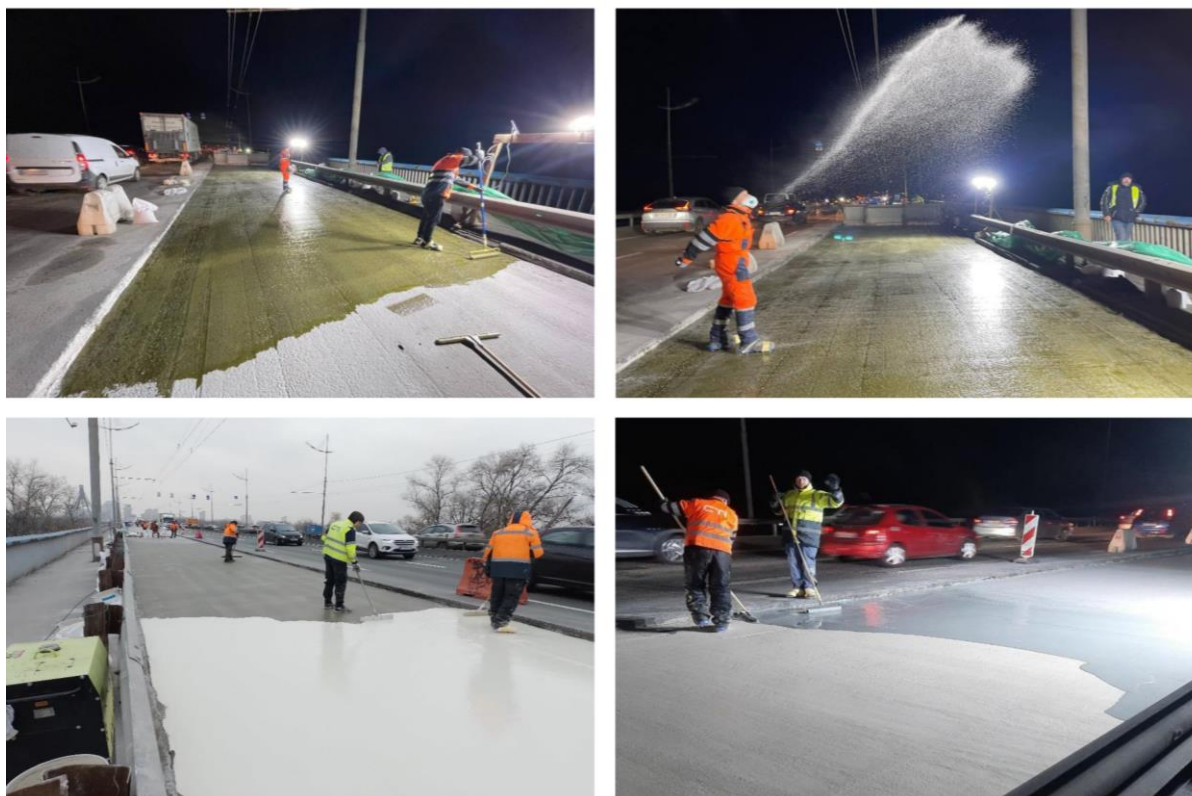


Рисунок 8 — Міст через р. Десенка, м. Київ, Україна, 2022-2023 рр. [1]

Тому, проведення досліджень захисту бетонних та металевих конструкцій транспортного та гідротехнічного будівництва із застосування метилметакрилатів є актуальним та необхідним.

Викладення основного дослідження

Гідроізоляція бетонних та металевих конструкцій транспортного та гідротехнічного будівництва із застосування метилметакрилатів повинна бути безперервною та водонепроникною по всій ізолюваній поверхні, у сполученнях з конструктивними елементами, конструкціях деформаційних швів, еластичною за мінусових температур; теплостійкою в умовах літніх температур, стійкою під час влаштування асфальтобетону або литого асфальтобетону із застосуванням полімерно-бітумних в'язучих, здатною сприймати будь-які типи механічних впливів та навантаг, що виникають під час будівництва та експлуатування споруди [1, 15].

Виконана за проектом гідроізоляція повинна бути:

- водонепроникною по всій поверхні, яку ізолюють, у місцях сполучення з водовідвідними трубками та конструкціями деформаційних швів;
- герметичною у місцях примикань до тротуарів та інших виступаючих елементів;
- міцно зчепленою із ізолюваною поверхнею і зберігати міцність зчеплення за зсуву;
- міцною і зберігати еластичність у часі та інтервалі розрахункових температур;
- монолітною та безперервною, без здуття, бульбашок та хвилястості;
- цілісною та зберігати гідроізоляційні властивості, не ушкоджуватись у разі тривалих впливів постійної та тимчасової навантаги і можливих деформацій цементобетону у разі виникнення на ізолюваній поверхні тріщин з розкриттям, допустимих нормами проектування (розкриттям до 0,3 мм) відповідно до вимог нормативних документів;
- здатною перекривати тріщини;
- хімічно та біологічно стійка та стійка до проникнення хлорид-іонів;
- тепло та морозостійка, вплив теплової навантаги не повинен істотно впливати на показники матеріалу;
- без компонентів, які спричиняють корозію цементобетону та металу.

Гідроізоляцію влаштовують за технологією у вигляді системи, що складається з (двох, без зчпного шару, у випадку застосування гідроізоляції не під асфальтобетонним покриттям транспортної чи гідротехнічної споруди) трьох міцно пов'язаних між собою хімічно однорідних шарів [9, 16, 17]:

- нижній шар — ґрунтовка (праймер), товщина сухої плівки (0,30 – 0,75) мм — антикорозійне полімерне покриття з високою адгезією до поверхні бетону чи металу та до проміжного шару, забезпечує для бетонних поверхонь закриття пор, зміцнення поверхневого шару бетону, адгезію матеріалу до основи, знепилювання, а для металевих поверхонь — антикорозійний захист металевої поверхні від окислення після абразивоструминного очищення та адгезію гідроізоляційного матеріалу до основи. Ґрунтовка може містити зчпний шар з мінерального матеріалу;
- проміжний шар — гідроізоляційна мембрана — одно або багато шарове, високоеластичне водонепроникне безшовне покриття, товщина сухої плівки (2,0 – 3,0) мм, яка забезпечує водонепроникність по всій поверхні, що гідроізолюється;
- поверхневий зчпний шар — зносостійкий, тріщиностійкий, хімічно та атмосферостійкий, у тому числі до дії ультрафіолетових променів, покрив, що забезпечує адгезію матеріалу гідроізоляційної мембрани з ущільненим або литим асфальтобетоном проїзної частини транспортної чи гідротехнічної споруди.

До початку нанесення гідроізоляційної системи виконують такі заходи:

- на ділянці виконання робіт завершують загальнобудівельні роботи;
- забезпечують об'єкт усіма необхідними гідроізоляційними матеріалами;
- перевіряють відповідність похилів поверхні, на яку гідроізоляція наноситься, проектним величинам;
- перевіряють надійність системи водовідведення;
- забезпечують сухість поверхні, на яку гідроізоляція наноситься;
- готують до роботи установку безповітряного розпилення;
- проводять інструктаж на робочому місці;
- запобігають пересуванню працівників та механізмів по нанесених шарах гідроізоляції.

Гідроізоляційна мембрана це проміжний шар, що утворюється в результаті полімеризації двокомпонентного полімеру на основі акрилових мономерів, модифікованих уретаном. Під час додавання каталізатора відбувається повна полімеризація мономерів. Заполімеризований матеріал

являє собою високоеластичний водонепроникний безшовний покрив з високими характеристиками тріщиностійкості.

Гідроізоляційна мембрана не повинна містити компонентів, що викликають корозійне руйнування металу чи бетону.

Показники фізико-технічних властивостей гідроізоляційної мембрани наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Показники фізико-технічних властивостей гідроізоляційної мембрани

Назва показників	Нормативні значення показників
Колір та вид	Після висихання утворює рівне, однорідний покрив білого, сірого чи жовтого кольори
Діапазон температур нанесення, °C	5 — 30
Життєздатність за 20 °C, хв не менше ніж	15
Час полімеризації за 20 °C, хв, не менше ніж	60
Час висихання до ступеня 3, хв:	
30 °C, не менше ніж	30
20 °C, не менше ніж	60
10 °C, не менше ніж	90
5 °C, не менше ніж	180
Щільність, в рідкому стані, г/см ³ , не менше ніж	1,1
Водопоглинання, % за масою, не більше ніж	1,0
Міцність на розрив, МПа, не менше ніж	10,0
Відносне подовження на розтягування (еластичність), %, не менше ніж	100
Теплостійкість, не менше ніж, °C	230
Міцність зчеплення з основою, МПа, не менше ніж	
— бетонна	0,3
— сталева	0,3
Міцність на удар, не менше ніж, см	30
Хімічна стійкість — стійкість до дії кислих, лужних, сольових розчинів і нафтопродуктів	Стійкі
Морозостійкість (за температури 25 °C)	Витримує навантагу
Рекомендована товщина сухої плівки кожного шару в двошаровому покритті, E ₅ згідно з ДСТУ EN 1062-1, мкм, не менше ніж	1 000
Рекомендована товщина сухої плівки в одношаровому покритті, E ₅ згідно з ДСТУ EN 1062-1, мкм, не менше ніж	2 000

Перед початком гідроізоляційних робіт бетонна та сталева основа під гідроізоляцію повинна відповідати вимогам нормативних документів.

Поверхня повинна бути сухою, не містити мастильних матеріалів, жиру, частинок, які відшаровуються, цементного молока, пухких матеріалів, бруду, не мати ознак вторинної корозії.

Під час очищення поверхні треба контролювати температуру, вологість та точку роси перед початком кожної зміни та двічі на зміну. Температура навколишнього середовища контролюється на відстані не більше ніж 2 м від поверхні, що очищається. Температура сталевих поверхні, за якою можуть виконуватися абразивоструминні роботи, повинна бути на 3 °C вище за точку роси.

Пил, що утворився під час абразивоструминного очищення, повинен бути видалений з поверхні відразу після абразивоструминного очищення за допомогою стисненого повітря за допомогою компресора. Кількість та розмір частинок не повинні перевищувати розрахункову величину згідно з ДСТУ ISO 8502-3 (тест на пиловміст) [19].

Після відповідної підготовки поверхні з неї повинні бути видалені продукти очищення.

Після того як основа буде очищена треба звести до мінімуму переміщення по ній працівників та техніки, щоб уникнути забруднення. У тих випадках, коли на очищених ділянках використовуються транспортні механізми, треба робити перевірки на наявність витоків палива або мастил. Компресори з витоками потрібно замінити. Якщо це не представляється можливим, витoki на полотні треба локалізувати. Якщо компресори будуть використовуватися для живлення повітряної трубки для обдування поверхні на будь-якій стадії виконання робіт, вони компресори повинні бути оснащені мастило-водяним фільтром.

Роботи з влаштування гідроізоляції розпочинають після одержання висновка генпідрядника на відповідність поверхні транспортної чи гідротехнічної споруди вимогам відповідних стандартів.

До початку виконання робіт рекомендується виконати підтвердження сумісності обраних технологічних процесів на тестових поверхнях в репрезентативних ділянках.

Перед тим, як почати нанесення гідроізоляції, підрядник повинен перевірити адгезію гідроізоляції з основою вибірково нанесенням невеликих ділянок даної гідроізоляції, включаючи нанесення ґрунтовки, що дозволяє встановити адгезійну міцність на відрив. Треба виконати щонайменше п'ять випробувань на кожні 500 м². На менших за площею мостах треба отримати не менше шести результатів випробувань.

Вибірковий контроль повинен включати усі варіанти якості підготовки поверхні.

Час висихання рідких гідроізоляцій визначають згідно з ДСТУ ISO 9117-1 [20].

Міцність зчеплення під час розтягу на відрив на поверхні цементобетонної основи визначають згідно з ДСТУ EN 1542 [21].

На бетонних та металевих основах на яких буде здійснюватися автомобільний рух, рекомендовано, щоб мінімальна міцність на відрив складала не менше ніж 2,1 МПа.

На бетонних та металевих основах на яких буде здійснюватися пішохідний рух, рекомендовано, щоб міцність на відрив складала не менше ніж 1,5 МПа.

Усі результати треба відображати в журналі обліку матеріалів і контролю якості. Також треба зареєструвати характер пошкодження.

Під час улаштування гідроізоляційної мембрани методом безповітряного розпилення рекомендовано влаштовувати два шари з метою досягнення товщини сухої плівки покриття кожного шару не менше ніж 1,0 мм або один шар з товщиною сухої плівки не менше ніж 2,0 мм.

Витрата матеріалу може змінюватись в залежності від текстури основи, але зазвичай складає (1,8 — 1,9) кг/м² для кожного шару під час нанесення у два шари та (3,6 — 3,8) кг/м² за нанесення в один шар, що відповідає товщині мокрого шару покриття (1,2 — 1,3) мм та (2,4 — 2,6) мм відповідно.

Гідроізоляційна мембрана складається з двох компонентів: компонента А, компонента В та порошкового каталізатора, що поставляється в строго дозований кількості, готовий для приготування суміші за місцем. Безпосередньо перед використанням обидва компоненти А і В треба ретельно перемішати за допомогою електричного міксера (150 — 300) об/хв з спіралеподібною насадкою.

У компоненти треба додати порошкового каталізатора в співвідношенні рекомендованим виробником і ретельно вимішати суміш механічним міксером не менше ніж 5 хв до повного розчинення в компоненті В.

З моменту додавання каталізатора компонент переходить у нестійкий стан. Щоб уникнути його передчасного застигання, отриманий розчин треба використовувати у межах його життєздатності.

Час життєздатності компонента В з доданим до нього порошковим каталізатором для кожної конкретної температури треба вважати максимальним часом між внесенням каталізатора у компонент В і часом закінчення нанесення гідроізоляційної мембрани.

Рекомендовано наносити гідроізоляційну мембрану ручним способом (валиком, щіткою) під час ремонтування окремих ділянок.

У такому разі рівна кількість компонентів А і В змішується в окремій ємності та ретельно перемішується. Отримане суміш наносить з допомогою шпателя.

Забороняється додавати порошковий каталізатор у компонент А, оскільки його додавання викликає реакцію, що тягне за собою негайну полімеризацію компонента А та перехід його в гелеподібний стан.

Не дозволяється використовувати розчинник для розведення матеріалів.

Витрату матеріалу потрібно постійно контролювати. Загальну вагу використаного матеріалу в порівнянні з покритою сумарною площею реєструють у журналі виконання робіт.

Треба використовувати маскувальну стрічку, захисні листи або інші доступні засоби для обмеження зон розпилення.

Гідроізоляційну мембрану наносять в один або два шари. Перший шар мембрани фарбують жовтим або сірим пігментом, а другий шар — білим чи сірим.

Перший шар мембрани наносять не раніше, ніж після закінчення мінімального часу висихання ґрунтовки.

Ґрунтовка має обмеження за максимальним часом до нанесення першого шару гідроізоляційної мембрани, що становить 96 год.

Якщо поверхня ґрунтовки волога через опади, то перед нанесенням мембрани поверхню потрібно висушити. Сушіння виконують струменем стиснутого повітря від компресора. Показником відсутності вологи на поверхні є відсутність вологих плям під час протирання за допомогою промокального паперу. Для сушіння поверхні, покритої ґрунтовкою, треба уникати відкритого вогню чи гарячого повітря.

Компонент А та компонент В у пропорції повинні розпилюватися з використанням обладнання з безповітряним розпиленням, яке дозує компонент А та компонент В пропорції 1:1, і змішує їх спільно в системі подачі компонентів. Не дозволено змішувати компонент А та компонент В у ємностях до проходження через розпилювальний апарат, крім випадків ремонтування дефектів ручним способом за допомогою шпателя, коли компоненти змішуються в невеликій кількості в окремій тарі.

Тиск на виході з насоса має бути таким, щоб забезпечувати задовільний смолокип розпилення, але не надто високий, щоб не допустити сповзання або хвилястість матеріалу.

Максимальний тиск на виході має бути від 7,0 МПа до 11,5 МПа. Розпилення має бути безперервним. У разі затримок під час розпилення потрібно промити систему розчинником (ацетон), щоб уникнути гелеутворення у шлангах або насосі, що може призвести до його поломки.

Товщину гідроізоляційної мембрани, за необхідності, збільшують за згодою інженера-інспектора щодо фарбування. Установлену товщину потрібно постійно перевіряти під час нанесення і зберігати до краю гідроізоляційної мембрани.

Не дозволяється витончувати до нульової товщини край гідроізоляційної мембрани.

Треба наносити її до краю, зберігаючи задану товщину.

Після висихання першого шару гідроізоляційної мембрани треба візуально перевірити щодо виявлення можливих дефектів. Виявлені дефекти ремонтують згідно з додатком Б та наносять другий шар після до їх повного затвердіння.

Другий шар гідроізоляційної мембрани виконують до закінчення часу життєздатності.

Час повного висихання мембрани, до закінчення якого не дозволено переміщення по її поверхні людей та пересувних засобів, складає час, вказаний у **табл. 1** плюс 30 хв.

За нанесення мембрани у два шари рекомендується наносити другий шар не пізніше 48 год після нанесення першого шару мембрани, але у випадках непередбачених обставин, дозволено збільшення цього часу до 120 год з попередньою перевіркою поверхні на предмет забруднення.

У випадках, якщо поверхня першого шару волога через опади, перед нанесенням другого шару гідроізоляційної мембрани поверхню потрібно висушити струменем стисненого повітря від компресора.

Показником відсутності вологи на поверхні є відсутність вологих плям під час протирання за допомогою промокального паперу. Для сушіння поверхні мембрани треба уникати відкритого вогню.

Другий шар гідроізоляційної мембрани повинен бути нанесений на затверділий перший шар без будь-якої підготовки, крім видалення вологи та сміття, наприклад, пилу, піску тощо. Видалення сміття треба проводити струменем стиснутого повітря від компресора.

Після нанесення та затвердіння другого шару гідроізоляційної мембрани його треба перевірити візуально та у разі виявлення будь-яких дефектів їх ремонтують згідно з додатком Б. Усунення дефектів у другому шарі потрібно виконувати так, як і в першому шарі.

Після нанесення другого шару мембрани, щоб уникнути його псування, не дозволено переміщення по його поверхні людей та пересувних засобів раніше мінімального часу висихання мембрани, зазначеного у **табл. 1** плюс 30 хв.

У разі нанесення гідроізоляційної мембрани в один шар завтовшки 2,0 мм і більше контроль суцільності поверхні здійснюється за допомогою електроіскрового дефектоскопа. Під час проходження металевої щітки дефектоскопа над місцем проколу мембрани відбувається пробій струму основи моста і лунає звуковий сигнал. Це місце локалізують і виконують ремонткування. Так ремонтують усі пошкодження суцільності гідроізоляційної мембрани, у тім числі і ті, що не визначені візуально.

Якщо раніше нанесена гідроізоляційна мембрана не забруднена на ділянці стику, що перекривається, немає необхідності в додатковій підготовці поверхні. У разі забруднення, на цій ділянці роблять зачистку місця перекриття на 100 мм просоченим розчинником (ацетоном) наждачним папером.

У місцях стику нової гідроізоляційної мембрани з раніше нанесеною, добового віку та більше, новий шар повинен перекривати існуючий не менше ніж на 50 мм, внаслідок чого утворюється сходинка, що не впливає на характеристики мембрани та її властивості.

До заходів з ремонтування шарів гідроізоляційної системи відносяться заходи з ремонтування ґрунтовки та гідроізоляційної мембрани [15].

Дефектами ґрунтовки є:

- ділянки, де ґрунтовка не висохла протягом часу [15], треба повністю стерти сухим ганчір'ям неполімеризовані ділянки ґрунтовки до її повного видалення, після чого відремонтувати ці ділянки; типові причини вищеописаного дефекту: потрапляння води та інших сторонніх речовин на основу та в ємність з ґрунтовкою, неправильна підготовка ґрунтовки до нанесення;

- ділянки, на яких порушено суцільність покриття, є здуття або жолоблення шару ґрунтовки внаслідок попадання забруднювачів (у в тому числі вологи) безпосередньо перед або під час нанесення ґрунтовки, а також ділянки з механічними пошкодженнями ґрунтовки треба відремонтувати;

- ділянки, на яких за контрольного перевіряння методом паралельних насічок згідно з ДСТУ ISO 2409 [22] показник адгезії становив понад 1 бал. Треба визначити розміри дефектної ділянки та провести на ній ремонткування ґрунтовки.

Ремонткування дефектів шару ґрунтовки проводиться таким чином: виконують очищення поверхні за допомогою наждачного паперу, просоченого ацетоном. Дочекатися висихання ацетону і очистити сухим ганчір'ям дефектне місце. Нанести шар ґрунтовки на зачищене місце, захистити відремонтовану поверхню будь-яким доступним способом (накрити відремонтоване місце, не допускаючи контакту з ґрунтовкою) та дочекатися повного висихання матеріалу.

Дефектами гідроізоляційної мембрани є:

- ділянки з кратерами від падіння крапель води, каміння та інших сторонніх предметів на мембрану, що знаходиться в рідкому стані, на яких спостерігається зменшення шару мембрани. Ці місця потрібно висушити, знежирити та нанести мембрану до досягнення потрібної товщини шару вручну за допомогою шпателя;

- ділянки з механічними пошкодженнями гідроізоляційної мембрани, що відбулися після полімеризації мембрани, на яких помічається зменшення шару мембрани чи її прокол;

- ділянки, на яких за контрольного перевіряння показник адгезії до металевої основи моста становив менше ніж 0,3 МПа або до цементобетонної основи моста менше ніж 0,3 МПа, треба визначити розміри дефектного ділянки, за допомогою ножа вирізати за контуром дефектне місце і зняти шар мембрани;

- ділянки, на яких за контрольного перевіряння товщина шару склала менше ніж 2,0 мм, треба переконатися, що мембрана чиста, не містить вологи та сторонніх предметів. На ці ділянки треба нанести мембрану до досягнення необхідної товщини вручну за допомогою шпателя.

Дефектами не є:

- часткова або повна зміна кольору (тону) ґрунтовки та мембрани;

- напливи та потовщення мембрани на горизонтальних, похилих, вертикальних поверхнях та місцях ремонтування внаслідок нерівномірності її нанесення.

Оцінку захисних властивостей покриття проводять згідно з ДСТУ ISO 4628-1 [23] та кількість дефектів не повинна перевищувати вимоги нормативних документів.

Ремонтування дефектів гідроізоляційної мембрани проводиться таким чином:

— ділянки з кратерами від падіння крапель води, каміння та інших сторонніх предметів на мембрану треба висушити, знежирити та нанести мембрану до досягнення потрібної товщини вручну за допомогою шпателя. Для цього взяти рівну кількість компонента А та компонента В з доданням до нього каталізатором і змішати їх у відкритій ємності в пропорції 1:1. Далі нанести змішані компоненти за допомогою шпателя на дефектне місце. Захистити відремонтовану поверхню будь-яким доступним способом (накрити відремонтоване місце, не допускаючи зіткнення з мембраною) та дочекатися повного висихання матеріалу;

— ділянки, на яких за контрольного перевіряння товщина шару склала менше ніж 2 мм, потрібно очистити від забруднень та за погодження з інспектором, нанести мембрану з використанням обладнання для безповітряного розпилення або вручну за допомогою шпателя, довівши товщину її шару до необхідного значення;

— ділянки з механічними пошкодженнями мембрани, що відбулися після полімеризації мембрани та ділянки, на яких за контрольного перевіряння показник адгезії становив менше необхідного [15], треба видалити за допомогою різального або абразивоструйного інструменту.

Далі провести очищення поверхні від залишків ґрунтовки та мембрани за допомогою наждакового паперу, просоченого ацетоном, та здійснити ремонтування шару ґрунтовки. Після цього здійснити ремонтування мембрани та, за погодженням з інспектором, нанести мембрану з використанням обладнання для безповітряного розпилення чи вручну.

Висновки

На цей час існуючі нормативні документи України не в повній мірі регламентують застосування сучасних видів гідроізоляційних систем, які мають широке застосування на транспортних і гідротехнічних спорудах у світі. Одним з найпоширеніших видів гідроізоляційного матеріалу на сучасних складних транспортних спорудах є застосування водонепроникної двокомпонентної гідроізоляційної мембрани на основі метилметакрилатної смоли. Однак, існуючі нормативні документи значною мірою не враховують технологічні особливості застосування цього виду матеріалу, що призводить до погіршення умов експлуатації дорожнього одягу та транспортної споруди в цілому.

Тому, залишається актуальним питання дослідження ефективності та умов роботи за різних температур і режимів експлуатування гідроізоляційної мембрани на основі метилметакрилатної смоли на транспортних і гідротехнічних спорудах.

Список літератури

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Федоренко О. В., Гаркуша І. Ю. Застосування гідроізоляційних систем на основі метилметакрилатної смоли на транспортних спорудах. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2024. № 25. С. 74–86. URL: <http://bttip.diiit.edu.ua/article/view/303313/295395>.
2. Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP2 - Flüssigkunststoff-Abdichtungen, Erfassen der Verbundproblematik, 2015, 1505, VSS 2006/509. P 128.
3. Компанія SCHMIDT+PARTNER. URL: <https://schmidtundpartner.ch/projekt/n12-viaduc-du-lac-de-la-gruyere> (дата звернення: 01.09.2025).
4. Компанія Bänziger Partner AG. URL: <https://www.bp-ing.ch/projekte-sammlung/lehnenbruecke-beckenried> (дата звернення: 01.09.2025).
5. Zhou Lu, Zhang Dan, Li Xiaogang, Gao Zhiwei, Chen Qian & Wang Chaohui (2022). Overview: Application of Resin Waterproof Adhesive Materials in Bridge Deck Pavement in China. *Advances in Civil Engineering*. 2022. Article ID 2320374. P. 15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2320374>.
6. Bundesministerium für Verkehr. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Herstellen von Brückenbelägen – Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff ZTV-BELB. Teil 3. 1987.
7. Bundesministerium für Verkehr. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Herstellen von Brückenbelägen – Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff ZTV-BELB. Teil 3. 1995.
8. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS. Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken, SN 640450. 2005.

9. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS. Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken, SN 640450a. 2009.
10. Richtlinien für Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 5: Abdichtungen und Beläge (Stand Revision 2005).
11. European Organisation for Technical Assessment EOTA. Leitlinie für die Europäische technische Zulassung für Bausätze für flüssig aufzubringende Brückenabdichtungen, ETAG 033, 2010.
12. Компанія Bridge preservation. URL: <https://bridgepreservation.com/norfolk-southern-opens-new-portageville-bridge-trains/> (дата звернення: 01.09.2025).
13. Компанія The Sherwin-Williams Company. URL: <https://industrial.sherwin-williams.com/na/us/en/protective-marine/media-center/case-studies/new-york-cuomo-bridge-steel-coating.html> (дата звернення: 01.09.2025).
14. Компанія BTMBOYA. URL: <https://btmboya.com.tr/Btmboya-projects/1915-canakkale-bridge/> (дата звернення: 01.09.2025).
15. Р В.2.3-37641918-934:2023 Рекомендації з улаштування гідроізоляційних систем на основі метилметакрилатної смоли на транспортних спорудах. Київ, 2023. 58 с. (Інформація та документація).
16. NACE No. 6/SSPC-SP 13-2018, Surface Preparation of Concrete
17. SIA 162/1:1989 Betonbauten Materialprüfung
18. ДСТУ EN 1062-1:2012 Фарби та лаки. Лакофарбові матеріали та системи покриттів для зовнішніх мінеральних і бетонних поверхонь. Частина 1. Класифікація (EN 1062-1:2004, IDT). Київ. 2012. 16 с. (Інформація та документація).
19. ДСТУ EN ISO 8502-3:2022 Готування сталевих поверхонь перед нанесенням фарб і подібної продукції. Випробування для оцінювання чистоти поверхні. Частина 3. Оцінювання наявності пилу на підготовленій для фарбування сталевій поверхні (метод липкої стрічки) (EN ISO 8502-3:2017, IDT; ISO 8502-3:2017, IDT). Київ, 2022. 15 с. (Інформація та документація).
20. ДСТУ EN ISO 9117-1:2022 Фарби та лаки. Контроль висихання. Частина 1. Визначення стану та часу повного висихання (EN ISO 9117-1:2009, IDT; ISO 9117-1:2009, IDT). Київ. 2022. 10 с. (Інформація та документація).
21. ДСТУ EN 1542:2022 Вироби та системи для захисту та ремонту бетонних конструкцій. Методи випробувань. Вимірювання міцності з'єднання відриванням (EN 1542:1999, IDT). Київ. 2022. 12 с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ EN ISO 2409:2022 Фарби та лаки. Випробування методом решітчастих надрізів (EN ISO 2409:2020, IDT; ISO 2409:2020, IDT). Київ. 2022. 20 с. (Інформація та документація).
23. ДСТУ EN ISO 4628-1:2022 Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 1. Основні принципи та система оцінювання (EN ISO 4628-1:2016, IDT; ISO 4628-1:2016, IDT). Київ, 2022. 25 с. (Інформація та документація).

References

1. Onyshchenko A. M., Harkusha M. V., Fedorenko O. V., Harkusha I. YU. Zastosuvannya hidroizolyatsiynykh system na osnovi metylmetakrylatnoyi smoly na transportnykh sporudakh. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka*, Dnipro. 2024. Vyp. 25. P. 74–86. URL: <http://btrp.diit.edu.ua/article/view/303313/295395> [in Ukrainian].
2. Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP2 - Flüssigkunststoff-Abdichtungen., Erfassen der Verbundproblematik, 2015, 1505, VSS 2006/509. P 128 [in German].
3. Kompaniya SCHMIDT+PARTNER. URL: <https://schmidtundpartner.ch/projekt/n12-viaduc-du-lac-de-la-gruyere> (data zvernennya: 01.09.2025) [in German].
4. Kompaniya Bänziger Partner AG. URL: <https://www.bp-ing.ch/projekte-sammlung/lehnenbruecke-beckenried> (data zvernennya: 01.09.2025) [in German].
5. Zhou Lu, Zhang Dan, Li Xiaogang, Gao Zhiwei, Chen Qian & Wang Chaohui (2022). Overview: Application of Resin Waterproof Adhesive Materials in Bridge Deck Pavement in China. *Advances in Civil Engineering.*, 2022, Article ID 2320374. P. 15. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/2320374> [in English].

6. Bundesministerium für Verkehr. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Herstellen von Brückenbelägen – Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff ZTV-BELB. Teil 3. 1987 [in German].
7. Bundesministerium für Verkehr. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Herstellen von Brückenbelägen – Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff ZTV-BELB. Teil 3. 1995 [in German].
8. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS. Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken, SN 640450. 2005 [in German].
9. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS. Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken, SN 640450a. 2009 [in German].
10. Richtlinien für Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 5: Abdichtungen und Beläge (Stand Revision 2005) [in German].
11. European Organisation for Technical Assessment EOTA. Leitlinie für die Europäische technische Zulassung für Bausätze für flüssig aufzubringende Brückenabdichtungen, ETAG 033. 2010 [in German].
12. Kompaniya Bridge preservation. URL: <https://bridgepreservation.com/norfolk-southern-opens-new-portageville-bridge-trains/> (data zvernennya: 01.09.2025) [in English].
13. Kompaniya The Sherwin-Williams Company. URL: <https://industrial.sherwin-williams.com/nas/en/protective-marine/media-center/case-studies/new-york-cuomo-bridge-steel-coating.html> (data zvernennya: 01.09.2025) [in English].
14. Kompaniya BTMBOYA. URL: <https://btmboya.com.tr/Btmboya-projects/1915-canakkale-bridge/> (data zvernennya: 01.09.2025) [in English].
15. R V.2.3-37641918-934:2023 Rekomendatsiyi z ulashtuvannya hidroizolyatsiynykh system na osnovi metylmetakrylatnoyi smoly na transportnykh sporudakh [R B.2.3-37641918-934:2023 Recommendations for the installation of waterproofing systems based on methyl methacrylate resin on transport structures]. Kyiv, 2023. 58 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
16. NACE No. 6/SSPC-SP 13-2018, Surface Preparation of Concrete [in English].
17. SIA 162/1:1989 Betonbauten Materialprüfung [in English].
18. DSTU EN 1062-1:2012 Farby ta laki. Lakofarbovi materialy ta systemy pokryttiv dlya zovnishnikh mineral'nykh i betonnykh poverkhon'. Chastyna 1. Klasyfikatsiya (EN 1062-1:2004, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 1062-1:2012) Paints and varnishes. Paints and varnishes and coating systems for external mineral and concrete surfaces. Part 1. Classification]. Kyiv, 2012. 16 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
19. DSTU EN ISO 8502-3:2022 Hotuvannya stalevykh poverkhon' pered nanesenniam farb i podibnoyi produktsiyi. Vyprobuvannya dlya otsynyuvannya chystoty poverkhni. Chastyna 3. Otsynyuvannya nayavnosti pylu na pidhotovleniy dlya farbuвання stalevykh poverkhni (metod lypkoyi strichky) [State Standard of Ukraine (DSTU EN ISO 8502-3:2022) Preparation of steel substrates before application of paints and related products. Tests for the assessment of surface cleanliness. Part 3. Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (adhesive tape method). Kyiv, 2022. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
20. DSTU EN ISO 9117-1:2022 Farby ta laki. Kontrol' vysykhannya. Chastyna 1. Vyznachennya stanu ta chasu povnoho vysykhannya (EN ISO 9117-1:2009, IDT; ISO 9117-1:2009, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN ISO 9117-1:2022) Paints and varnishes. Drying control. Part 1. Determination of the state and time of complete drying. Kyiv, 2022. 10 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
21. DSTU EN 1542:2022 Vyroby ta systemy dlya zakhystu ta remontu betonnykh konstruktsiy. Metody vyprobuvan'. Vymiryuvannya mitsnosti z'yednannya vidryvannyam (EN 1542:1999, IDT). Kyiv, 2022. 12 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 1542:2022 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off. Kyiv, 2022. 12 p. (Information and documentation) [in English].
22. DSTU EN ISO 2409:2022 Farby ta laki. Vyprobuvannya metodom reshchastykh nadriziv (EN ISO 2409:2020, IDT; ISO 2409:2020, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN ISO 2409:2022 Paints and varnishes. Tests using the lattice notch method. Kyiv, 2022. 20 p. (Information and documentation) [in English].

23. DSTU EN ISO 4628-1:2022 Farby ta laky. Otsinyuvannya ruynuvan' lakofarbovykh pokryttiv. Vyznachennya kil'kosti, rozmiriv defektiv ta intensyvnosti odnoridnykh zmin zovnishn'oho vyhlyadu. Chastyna 1. Osnovni pryntsypy ta systema otsinyuvannya (EN ISO 4628-1:2016, IDT; ISO 4628-1:2016, IDT). [State Standard of Ukraine (DSTU EN ISO 4628-1:2022 Paints and varnishes. Assessment of damage to paint and varnish coatings. Determination of the number, size of defects and intensity of uniform changes in appearance. Part 1. Basic principles and assessment system. Kyiv, 2022. 25 p. (Information and documentation) [in English].

Mykola Harkusha, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

PROTECTION OF CONCRETE AND METAL STRUCTURES OF TRANSPORT AND HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION USING METHYL METHACRYLATES

Abstract

Introduction. Reliable waterproofing protection is one of the conditions for ensuring the durability of transport and hydraulic structures. However, among the dominant causes of the destruction of transport and hydraulic structures is the premature destruction of waterproofing, which is one of the least durable elements of the span structure.

A waterproofing system used to protect concrete and metal structures of transport and hydraulic construction must have reliability, which is represented by the performance of the necessary functions under operating conditions for a given time while maintaining the main characteristics, and have a service life as close as possible to the structures being insulated.

Waterproofing materials have two interrelated characteristics: internal structure and quality indicators. The relationship is established with optimal structures, when stable bonds in them ensure the stability of the main properties during various external and internal changes in the material in the structures. The internal structure, or structure, of waterproofing materials expresses a certain nature of the bonds and the order of adhesion of the particles from which they are formed.

The most advanced in terms of ensuring the protection of the slab are liquid composite membranes based on polyurethane and methyl methacrylate resins. Membrane coatings form a continuous seamless structure on surfaces of complex shape, since their application is carried out by the method of liquid spraying.

Research into the influence of various factors on the durability of waterproofing membranes based on methyl methacrylate is a crucial component for developing a technology for installing waterproofing membranes based on methyl methacrylate resin on transport and hydraulic structures and establishing requirements for them.

Problems. It has been established that there is a need to generalize existing approaches to protecting concrete and metal structures in transport and hydraulic engineering construction and to develop recommendations for the installation of waterproofing systems based on methyl methacrylate resin.

Objectives. The purpose of the scientific work is to conduct research aimed at generalizing the protection of concrete and metal structures of transport and hydraulic engineering using methyl methacrylates, which are arranged in the form of waterproofing of structures.

Results. Based on the conducted research, existing approaches to the use of waterproofing systems based on methyl methacrylate resin on transport and hydraulic structures were summarized and recommendations were developed for the installation of waterproofing systems based on methyl methacrylate resin.

Conclusions. The paper provides recommendations for preparing the surface of transport and hydraulic structures for installing a waterproofing system, which complement the current regulatory documents of Ukraine, the main technological operations and features of installing a waterproofing system.

Keywords: highways, highway bridge, waterproofing, waterproofing membrane, durability, bridge deck, methyl methacrylate, transport structure.