

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.21.09:699.8

DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-6-16

В. О. Попов¹
Д. М. Байда²
І. В. Масєвська¹
А. В. Попова³

РАЦІОНАЛЬНА МЕМБРАННА ТЕХНОЛОГІЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ ПЛИТ МОСТОВИХ
КОНСТРУКЦІЙ¹Вінницький національний технічний університет²Державний університет «Житомирська політехніка»³Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця

У статті розглянуті сучасні конструктивні варіанти улаштування гідроізоляційних покриттів проїзної та тротуарної частин балочних мостових споруд з монолітною залізобетонною накладною плитою покриття для забезпечення її непроникності та довговічності. Базуючись на власному практичному досвіді, а також, на дослідженнях відомих вітчизняних та закордонних вчених, проведено комплексний аналіз переваг та недоліків ізоляційних технологій та матеріалів, представлених на сьогодні на ринку України. Розглянуті проблеми і ризики, пов'язані з пошкодженням ізоляційних захисних шарів, що, в кінцевому випадку, виливається у значні витрати на капітальний ремонт несучих конструкцій прогонових будов мостів. Серед множини розглянутих варіантів за інтегральним критерієм собівартості вибрано найбільш раціональний варіант багатшарової ізоляції, який полягає у улаштуванні гідроізоляційної мембрани, отриманої шляхом глибокого просочення поверхневих шарів бетону силкоксановими або метилметакрилатними полімерами, накриттям їх гідроізоляційним шаром з утворенням після твердіння гідроізоляційних компонент бетон-полімерного високоміцного, зносостійкого та непроникного шару, який надійно зчеплюється з асфальтовими покриттями проїзної частини за рахунок додаткового шару зчеплення.

При виконанні наукових досліджень розглянуті конструктивні та технологічні питання улаштування гідроізоляційної мембрани, серед яких слід особливо виділити підготовку бетонної поверхні під нанесення просочувальних матеріалів ізоляції (грунтувальний шар) та локалізацію й усунення початкових дефектів твердої основи. Розглянуті конструктивні аспекти, пов'язані з організацією неперервного ізоляційного шару, разом з ізоляцією тротуарної частини пролітної будови та питання адгезії шарів системи основа-ізоляція-дорожнє покриття. Доведено, що конструктивна нерозривність гідроізоляції, є запорукою її високої довговічності. У роботі підкреслено важливість організації наскрізного контролю якості виконання ізоляційних робіт на всіх виробничих етапах, що забезпечує тривалий плановий гарантійний термін експлуатації вологозахищеної прогонової будови.

Запропоноване конструктивне рішення ізоляції було реалізовано в умовах реального будівельного об'єкта при капітальному ремонті пролітних будов мостової споруди у місті Гайсин через річку Сіб на км 484+370 автомобільної дороги державного значення М-12 Стрий-Тернопіль-Кропивницький-Знам'янка на проїзній і тротуарній частинах за технологією Eliminator, розробленою Британською фірмою Stirling Lloyd. Теоретичні дослідження довговічності ізоляційних робіт підтверджені багаторічною безвідмовною роботою гідромембрани в умовах активної експлуатації.

Ключові слова: міст, просочувальна ізоляція, наплавна ізоляція, гідроізоляційна мембрана, об'ємна гідрофобізація, водонепроникність, морозостійкість, довговічність, метилметакрилати, силкоксан.

Вступ

Ця наукова робота продовжує цикл авторських науково-практичних досліджень, присвячених раціональному проектуванню мостових споруд та їх основних конструктивних елементів, взагалі, а також, способів захисту від агресивних кліматичних та технологічних впливів, зокрема. Наукові дослідження цієї статті доповнюють і уточнюють попередні напрацювання колективу авторів [1-3] присвячені забезпеченню високих фізико-механічних характеристик бетонного каменю пролітних будов залізобетонних конструктивних елементів мостів протягом їх тривалої експлуатації шляхом використання ефективних хімічних просочувальних гідрофобізуючих та ізолюючих матеріалів і добавок.

Відомо, що в Україні, в умовах тривалого воєнного стану, критична транспортна інфраструктура відіграє ключове значення для економіки та обороноздатності країни. Особливо це стосується автомобільних доріг державного значення, як безпечній альтернативі інших традиційних видів сполучення, наприклад, залізничного, морського та авіаційного транспорту, використання яких суттєво обмежено станом на сьогодні. Довоєнні темпи модернізації застарілої автодорожньої системи дозволили б в нашій країні до 2030-2035 року суттєво покращити загальне автотранспортне сполучення, принаймні, між крупними містами країни. Однак загрози воєнного стану внесли свої корективи. Центр уваги бюджетного фінансування перемістився до відновлення доріг прифронтових регіонів шляхом організації більших капіталовкладень, і, як наслідок, більш активних темпів реконструкції. Фінансування ремонтно-відновлювальних робіт доріг тилових територій з початку

2023 року здійснюється на сьогодні за залишковим принципом та є суттєво обмеженим. Однак, велика транзитна перспектива України, як потенційного Європейського дорожнього хаба, поряд з невідворотнім комплексним післявоєнним відновленням економіки, які обов'язково настануть у недалекому майбутньому, вимагають активних наукових і проектних робіт, спрямованих на оптимізацію дорожньої системи вже сьогодні. Це стосується, зокрема, і мостів, – найбільш складних та відповідальних конструктивних компонент автомобільних доріг.

В результаті практичних авторських досліджень з обстеження десятків залізобетонних мостів Вінницької області авторським колективом було виявлено, що однією з найбільш значущих причин критичних руйнувань їх пролітних будов було порушення цілісності гідроізоляції конструкцій під проїзною частиною та гідроізоляції тротуарів. Ці результати цілком корелюють з висновками спеціалістів ДП ДержДорНДІ та Національного транспортного університету м. Київ Коваля П. М., Онищенко А. М., Бабяка І. П., Мозгового В. В. та ін. [4].

На сьогодні класичним підходом до ізоляції проїзної частини пролітної будови мостової споруди від руйнівного впливу води є улаштування наплавної обклеювальної ізоляції ефективними бітумними та бітумно-полімерними рулонними матеріалами, такими як Supermost (Польща), SikaShield® Ergobit Pro (Швейцарія). Однак численні дослідження за напрямком розроблення раціональних рішень з гідроізоляції прогонових будов мостових споруд вітчизняних та закордонних вчених значно розширили коло можливих інженерних рішень.

З наукових досліджень професора Лучко Й. Й. [4, 5], наприклад, відомо, що доцільним і раціональним для улаштування гідроізоляції підземної частини будівельних конструкцій, в тому числі і мостових споруд, є утворення ґрунтоін'єкційних непроникних структур, які автори пропонують називати ґрунто-мембранним захистом. Крім того, науковцем досліджено структуру змочених водою зразків конструкцій з бетону та виявлено наявність ядра незмочування [6], що свідчить про потребу ізоляції саме поверхневої товщі бетонних виробів, які безпосередньо контактують з водою.

Професор Сердюк В. Р. у своїх наукових роботах, зокрема, [7], пропонує використання ефективної об'ємної гідрофобізації бетонного каменю залізобетонних конструкцій, що, як наслідок, призведе до збільшення ізоляційних властивостей.

Завідувач лабораторії покрівельних і гідроізоляційних робіт ДП "НДІБВ" м. Київ О. І. Гамаш у своїх наукових роботах [8, 9] узагальнив основні помилки і ризики при проектуванні ізоляції бетонних споруд, що завдають значної шкоди герметичності, довговічності і надійності будівельній конструкції. Серед дефектів і пошкоджень Гамаш виділив механічні пошкодження на вже виконаній, але не захищеній гідроізоляції при будівництві об'єкта та відсутність належного кваліфікованого технічного обстеження гідроізоляції.

Науковими співробітниками Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту М. А. Лісневським, В. Т. Гузченко та О. М. Кулаженко) встановлено раціональні способи створення і відновлення гідроізоляції підземних бетонних споруд транспортних тунелів, що зводяться чи експлуатуються в різних геологічних умовах. Для цих потреб науковцями рекомендовано виконання тампонажу порожнин гідроактивними пінополіуретанами, використання ремонтних матеріалів на основі різноманітних мастик [10].

Під проводом професора Більченко А. В. у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті активно ведуться наукові роботи з пошуку раціональних конструкцій гідроізоляції мостів. Науковцями встановлено, що вибір матеріалів для гідроізоляційного захисту пролітних будов мостових споруд є головною частиною комплексного завдання конструювання надійного мостового полотна, яке містить вирішення питань організації водовідведення з проїзної частини та тротуарів, облаштування герметичних деформаційних швів, проектування дренажу, розроблення конструктивного рішення дорожнього одягу та самої гідроізоляції. Тобто, проектування гідроізоляції вимагає комплексного підходу з багатофакторним аналізом всіх конструктивних компонент пролітної будови. Науковцями рекомендується улаштування ізоляції методом напilenня [11].

Закордонні рекомендації, щодо улаштування водотривкої ізоляції прогонових будов мостів узагальнені у стандарті [12]. Розглянуті підходи щодо улаштування і випробування конструкцій ізоляції під проїзною частиною. Представлена у стандарті рекомендована конструкція ізоляції – мембранна, причому мембрана улаштовується не тільки під проїзною частиною, а і під тротуаром врівень, а конструкції тротуарного підвищення не ізолюється (рис. 1).

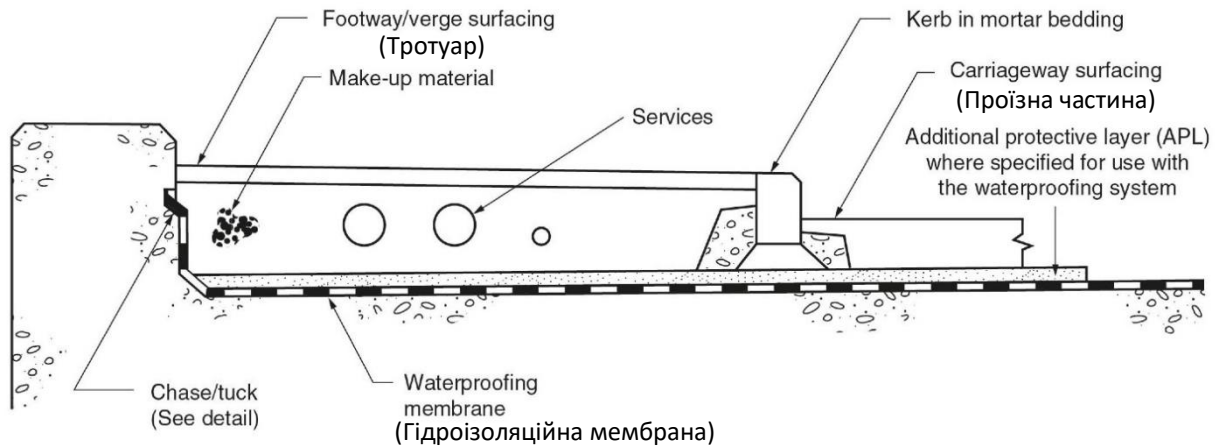


Рисунок 1 – Рекомендована Британськими нормами типова мембранна конструкція гідроізоляції прогонової плити мосту [12]

Узагальнюючи наведені матеріали можна стверджувати, що результатом відмови гідроізоляційних систем транспортних інженерних споруд, взагалі, та мостів, зокрема, згідно з [4 – 12] є збільшення витрат на експлуатацію конструкцій більше ніж у два рази, скорочення терміну служби споруд в 1,5-2 рази, зменшення прибутку від їх експлуатації, вищий знос і, як наслідок, суттєве збільшення прямих витрат при виконанні капітальних ремонтів. Вітчизняні та закордонні вчені акцентують увагу на необхідності облаштування неперервного ізоляційного килиму для уникнення серйозних проблем на стиках ізоляційних матеріалів у майбутньому. Тому слід продовжувати роботи з оптимізації гідроізоляційних систем мостів, залучаючи закордонний інженерний науково-практичний досвід та сучасні досягнення.

Постановка проблеми

Наукове узагальнення напрацювань вітчизняних і закордонних вчених свідчить, що проблема улаштування надійної гідроізоляції мостових споруд та їх конструктивних частин набула важливого значення для забезпечення їх подальшої безвідмовної довготривалої експлуатації. З одного боку, сучасні методи ізоляції мостових пролітних будов улаштуванням наплавних водоутримуючих шарів, які на сьогодні, у своїй переважній більшості, використовуються для ремонту зношених та зведення нових мостів і шляхопроводів є достатньо дорогими та володіють низкою недоліків, головна з яких – відносно малий термін експлуатації та залежність від якості бетонної основи. На високу вартість, як значущий недолік, накладається воєнний стан в Україні і, відповідно, звуження доступу до традиційних джерел бітумних матеріалів, які є основними компонентами ізоляційних рулонних покриттів та праймерів. Крім того, за такою технологією важко улаштувати неперервну ізоляцію верхніх поверхонь мостової плити, при якій гідроізоляція проїзної частини надійно зв'язана з ізоляцією тротуарів. Неперервності наплавних бітумних матеріалів також перешкоджають закладні деталі кріплень бар'єрного та перильного огорожень, розташовані в межах тротуарної частини. Існує велика проблема просковзування шарів ізоляції по бетону та асфальтового покриття по ізоляції внаслідок впливу гальмівних та інерційних горизонтальних впливів на дорожнє покриття, що, з часом, може призвести до руйнування системи покриття – ізоляція – бетонна основа. З іншого боку, світові досягнення у галузі хімічного синтезу дозволяють здешевити ефективні полімерні просочувальні та покривні ізоляційні композиції з високими ізоляційними та адгезійними характеристиками, та роблять їх доступними для використання у будівництві. Таким чином постає завдання дослідження, яке полягає у розробленні пропозицій щодо використання нових технологій улаштування гідроізоляційних систем комбінуванням просочення поверхні бетону ефективними полімерами (грунтувальний шар), подальшим улаштуванням верхнього ізоляційного непроникного шару та високо адгезійного шару поверх ізоляції для створення рівномірної та надійної системи покриття – ізоляція – бетонна основа.

Основна частина

Одним з можливих і раціональних варіантів улаштування ізоляції є комбінування методів просочення товщі захисного шару бетону кремній органічними (силоксановими) або органічними (метилметакрилатними) полімерами з утворенням після твердіння гідроізоляційної бетон-полімерної конструкції з подальшим улаштуванням основного робочого шару – зносостійкої ізоляційної мембрани. Силоксанове просочення пропонується на сьогодні низкою організацій, включаючи

швейцарську фірму Sika, європейського лідера будівельної хімії, в тому числі й ізоляційних систем. Метилметакрилатними, епоксидними та іншими полімерами пропонують обробляти бетонну основу низка китайських, німецьких, британських та американських компаній.

Пропоноване багатшарове конструктивне рішення ізоляції було реалізовано в умовах реального будівельного об'єкта при реконструкції пролітних будов мостової споруди у місті Гайсин через річку Сіб на км 484+370 автомобільної дороги М-12 Стрий-Тернопіль-Кропивницький-Знам'янка на проїзній і тротуарній частинах.

Рішенням проекту передбачено влаштування ізоляції проїзної частини мосту з гідроізоляційної мембрани Eliminator – комплексної шаруватої системи захисту монолітної плити прогонової будови на основі смол з метилметакрилатів, яка влаштовується методом розпилювання. Шари системи мають високу адгезію до бетону, до інших шарів ізоляції та до дорожнього покриття. Система Eliminator розроблена фірмою Stirling Lloyd (Великобританія), яка має півсторічний досвід розробки, удосконалення і супроводу ізоляційних систем з 1974 року. Ця система була апробована на багатьох всесвітньо відомих мостах і характеризується такими основними перевагами в порівнянні з іншими видами гідроізоляції:

- підвищена довговічність, надійність і мінімальні експлуатаційні витрати;
- короткі строки влаштування (продуктивність до 2000 м² за день) завдяки застосуванню спеціально розробленого обладнання;
- витримує вплив температури до 250 °С в умовах укладання гарячого дорожнього покриття;
- високий рівень адгезії до матеріалів основи, дорожнього покриття та внутрішньої адгезії шарів ізоляції між собою.

Система гідроізоляційної мембрани Eliminator для гідроізоляції плити проїзної частини (рис. 2) включає такі шари:

1) ґрунтувальний шар PAR 1 Primer (витрата 0,30-0,35 кг/м² в залежності від стану поверхні), що забезпечує для бетонних поверхонь закриття пор і технологічних тріщин, адгезію еластомерного шару мембрани до основи, знепилення, глибоке проникнення у захисний шар бетону з наданням йому гідрофобних властивостей;

2) ізоляційний еластомерний шар Eliminator Eco (наноситься в 2 шари з загальною витратою 2,8 кг/м²) середньою товщиною в сухому стані 2,0 мм, який забезпечує водонепроникність по всій ізольованій поверхні;

3) термोकлейкий зчеплюючий шар Bond Coat 3 (витрата 0,6 кг/м²), який активується під час нагрівання і забезпечує адгезію еластомерного шару Eliminator Eco до асфальтобетонного покриття мостового полотна.

Система гідроізоляційного покриття Eliminator для тротуарної частини (рис. 3) містить шари:

1) ґрунтувальний шар PAR 1 Primer (витрати та призначення аналогічні проїзній частині) 0,30-0,35 кг/м² в залежності від стану поверхні);

2) ізоляційний еластомерний шар Eliminator Eco (конструкція аналогічна проїзній частині);

3) верхній антиковзний шар покриття Safetrack® SC (витрата 2,5 кг/м²) з абразивною посипкою базальтовим піском фракції 0,63 – 1,8 мм, який забезпечує створення стійкого до ультрафіолетових променів, до стираності та хімічно агресивних сполук покриття.

Головною перевагою даної ізоляційної системи над класичною наплавною бітумно-полімерною системою є її суцільність, герметичність, непроникність та зсувостійкість.

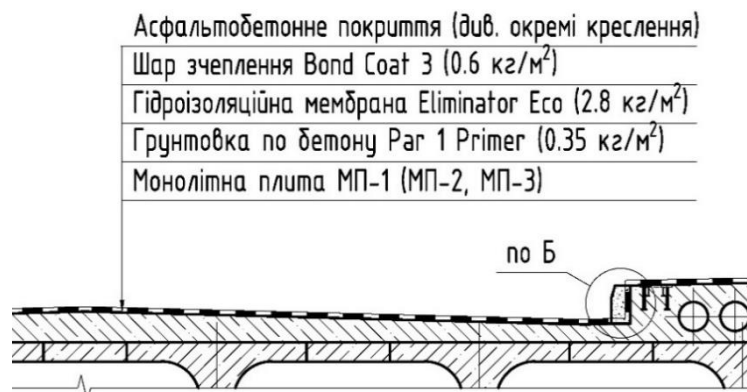


Рисунок 2 – Проектна гідроізоляція прогонових плит мосту у м. Гайсин в межах проїзної частини



Рисунок 3 – Проектна гідроізоляція мосту у м. Гайсин в межах тротуарної частини

Влаштування гідроізоляційної системи Eliminator для мосту через р. Сіб у м. Гайсин виконувалися у відповідності до вимог ДСТУ-Н Б В.2.3-34:2016 [16] за зазначеною нижче технологією, погодженою з виробником ізоляційного покриття.

Рекомендована технологічна послідовність виконання робіт:

Підготовка поверхні (первинний огляд, дефектовка та усунення дефектів твердої поверхні бетонної накладної плити плити).

Нанесення ґрунтувального шару з контролем адгезії до бетонної основи.

Влаштування гідроізоляційної мембрани Eliminator на проїзній і тротуарній частині.

Контроль якості влаштування гідроізоляції проїзної частини та гідроізоляційного покриття тротуарних частин прогонової будови.

В конструкціях гідроізоляції проїзної частини та тротуарного покриття перші два шари є спільними для двох конструкцій. Ці шари забезпечують водонепроникність плити проїзної частини і надалі умовно будуть розглядатися як гідроізоляційна мембрана системи Eliminator.

Важливе значення мають вузли ізоляції торцевих поверхонь тротуарної частини мосту (вузол А), вузли ізоляції закладних металевих деталей, а, також, вузли, поблизу з бордюром каменем, вузол Б, (рис. 4).

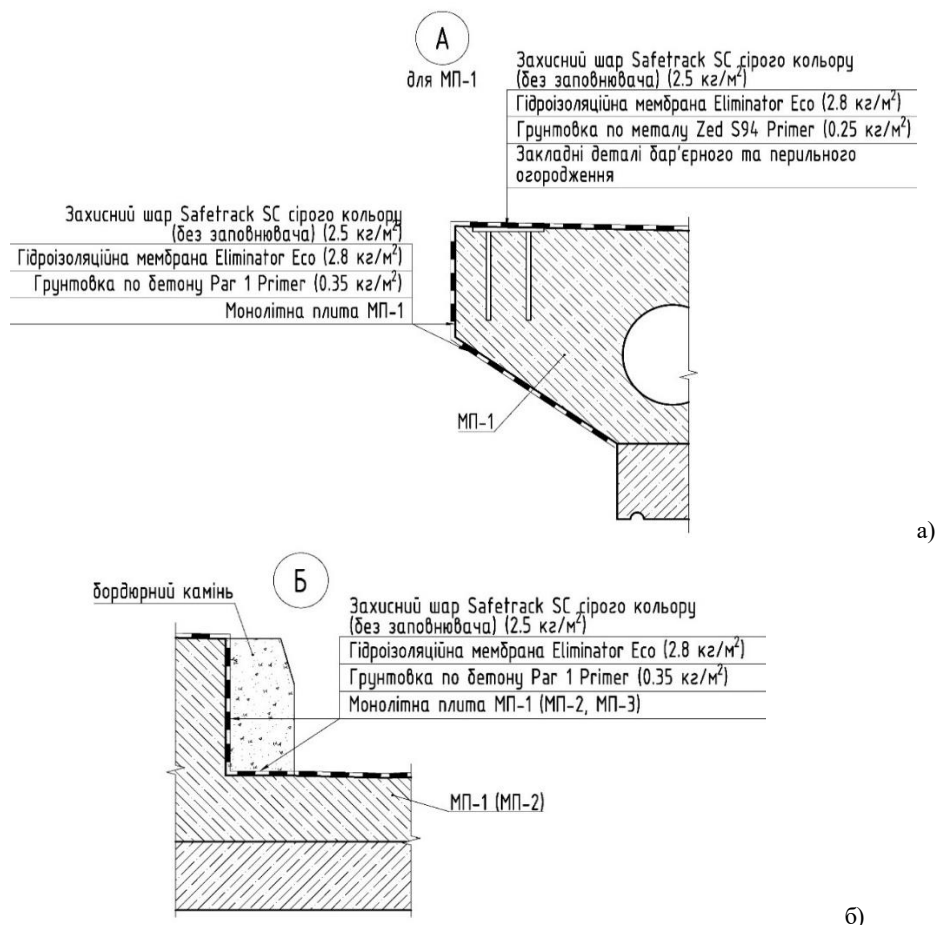


Рисунок 4 – Проектні рішення типових вузлів ізоляції: а -торцевої частини прогонових плит та закладних, б – примикань тротуарної та проїзної ізоляції в зоні бордюрного каменя

При підготовці бетонної основи до нанесення ізоляційних матеріалів поверхня повинна бути оглянута на предмет виявлення дефектних місць бетону, раковин та тріщин, бруду, масляних плям, нерівностей. Для виявлення дефектних ділянок бетонної поверхні необхідно провести її простукування важким молотком. На ділянках невидимого відшарування бетону, де спостерігається глухий звук при простукуванні, необхідно відремонтувати високомарочними дрібнодисперсними цементобетонними ремонтними сумішами (рис. 5). Забруднені поверхні бетону повинні бути знежирені етилацетатом від залишків бітуму, мастил та інших нафтопродуктів. Всі нерівності бетону, гострі кути, виступи висотою більш як 3 мм повинні бути зашліфовані та вирівняні методом фрезерування.

Важливим етапом підготовки поверхні є піскоструминне очищення бетонної поверхні кварцовим піском для видалення залишків цементного молока, відкриття пор в бетоні та надання його поверхням шорсткості. Після чого слід виконати знепилення всієї поверхні плити (рис. 6).



Рисунок 5 – Дефектні ділянки бетонної основи прогонової плити мосту через р. Сіб у м. Гайсин підготовлені під улаштування ізоляції шляхом ремонту згідно з рекомендаціями



Рисунок 6 – Піскоструминне очищення та знепилення поверхонь під ізоляцію

Поверхня під ізоляцію перед влаштуванням гідроізоляційного шару повинна бути висušена. При цьому, вологість бетону плити повинна бути не більше 4 %. Вологість бетону плити рекомендується визначати вологоміром або за допомогою вологоміра-щільноміра (рис. 7).

Нанесення шарів ізоляції здійснюється напілюванням полімерних матеріалів під тиском робітниками у захисних костюмах та респіраторях з дотриманням положень з техніки безпеки (див. рис. 8). Після твердіння ізоляційного шару здійснюється нанесення адгезійного шару до асфальту (рис. 9). Аналогічні роботи здійснюються і на тротуарній частині. Крім цього, адгезійний шар тротуару покривається антислизьким шаром покриття Safetrack® (рис. 10).



Рисунок 7 – Нанесення ґрунтувального шару PAR 1 Primer



Рисунок 8 – Нанесення водотривкого шару гідроізоляційної мембрани Eliminator



Рисунок 9 – Нанесення термоклеючого зчеплюючого шару Bond Coat 3 на проїзну частину монолітної плити



Рисунок 10 – Нанесення верхнього антислизького шару покриття Safetrack® SC на гідроізоляційну мембрану тротуарної частини мосту

Під час контролю якості ізоляційних робіт на будівельному майданчику слід виконувати:

- перевірку технологічної та виконавчої документації у виконавця робіт і її відповідності розробленим у цій статті рекомендаціям;
- контроль якості виконання підготовки бетонних поверхонь для влаштування гідроізоляції, включаючи, вимірювання вологості основи (рис. 11);
- контроль якості влаштування ґрунтувального шару та перевірка його адгезії (зчеплення) до бетонної основи (рис. 12);
- контроль якості влаштування шарів гідроізоляційної мембрани та гідроізоляційного покриття тротуарних частин мосту;
- контроль якості адгезійного шару з експериментальним вимірюванням адгезії ізоляції до шарів дорожнього покриття;
- контроль природніх умов та умов твердіння просочувальних метилметакрилатів, дотримання температурного та вологісного режимів, тимчасовий захист до нанесення дорожнього покриття від ультрафіолетового сонячного випромінювання;
- контроль температурного режиму укладання асфальту для уникнення пошкодження верхніх шарів ізоляції;
- контроль якості, включаючи визначення неперервності та вимірювання шорсткості, верхнього антислизького шару покриття Safetrack® SC на гідроізоляційній мембрані тротуарної частини мосту.



Рисунок 11 – Контроль вологості поверхні бетонної основи перед нанесенням ґрунтувального шару



Рисунок 12 – Вимірювання адгезіометром PosiTest AT-M зчеплення ґрунтувального шару до бетонної основи

На будівельному об'єкті через річку Сіб у м. Гайсин роботи з контролю якості були виконані авторами статті в рамках авторського нагляду спільно із технічними спеціалістами офіційного дистриб'ютора в Україні виробника гідроізоляційних матеріалів GCP Applied Technologies (Stirling Lloyd), ТОВ «Гідромембрана» (див. рис. 5-10).

Досвід багаторічної безвідмовної експлуатації гідроізоляційної мембрани Eliminator на мостовій споруді через р. Сіб у м. Гайсин, відремонтованої у 2020 році за рекомендаціями, оприлюдненими у

цій науковій роботі, свідчить про ефективність і раціональність прийнятих у проекті рішень. Крім того, фактичні вартісні показники улаштування і експлуатації запропонованої гідроізоляційної системи були більш привабливими у порівнянні з пропозиціями конкуруючих фірм.

Висновки

Проведені наукові дослідження дозволили обґрунтувати принципову можливість і раціональність використання технології багатошарових гідроізоляційних систем у вигляді водотривких мембран на основі просочень захисного шару бетону залізобетонних прогонових плит мостів силосановими чи метилметакрилатними полімерами у комбінації водотривкими напилувальними шарами та високоадгезійними прошарками, які забезпечують надійне зчеплення системи: дорожнє покриття-гідроізоляція-бетонна основа. Наведені запропоновані авторським колективом конструктивні рішення ізоляції та технологічні послідовності виконання робіт на проїзній та тротуарній частині мостів. Доведено, що запропоновані комбіновані гідроізоляційні системи мостів володіють високою довговічністю у порівнянні з класичними рулонними наплавними ізоляціями. Зазначені характеристики надійності досягаються тільки за умови дотримання високої технологічної дисципліни виконання ізоляційних робіт на наскрізного контролю якості. На прикладі мосту через річку Сіб у місті Гайсин Вінницької області, де було практично реалізовано пропозиції авторського колективу, щодо улаштування комбінованої ізоляційної системи Eliminator закордонного виробництва, досягнуті високі фактичні технічні показники ізоляції, що підтверджується її безвідмовною роботою з 2020 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov VOLODYMYR, Voitshivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. Попов В.О. Метод реконструкції балочних мостів без зупинки їх експлуатації улаштуванням нової збірно-монолітної пролітної будови / В.О. Попов, І.В. Маєвська, А.В. Попова, М.Я. Жилівський // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2021-2. С. 5 – 15. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35576>; <https://dorndi.org.ua/ua/metod-rekonstrukciyi-balochnih-mostiv-bez-zupinki-yih-ekspluatatsiyi-ulashtuvanniam-novoyi-zbirno-monolitnoyi-prolitnoyi-budovi>
3. Попов В.О. Несуча здатність залізобетонних мостових балок за похилими перерізами / В.О. Попов, Д.М. Байда, О.В. Войцехівський, В.В. Котенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2024-1. С. 6 – 13. DOI: 2311-1429-2024-1-6-13
4. Коваль П. М. Дослідження властивостей гідроізоляційних матеріалів для плит мостів на експериментальному об'єкті / П. М. Коваль, І. П. Бабак, В. В. Мозговий, А. М. Онищенко // Дороги і мости : зб. наук. праць / Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор, Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна). – Київ, 2009. – Вип. 11. – С. 146-156. Режим доступу: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/NE_22.pdf
5. Лучко Й. Й. Щодо методики влаштування мембранної гідроізоляції ін'єкційними методами підземних споруд / Й. Й. Лучко, Б.Л. Назаревич, В.В. Чечін // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури, № 75, Одеса, Україна: ОДАБА, 2019. с. 141–150. DOI: 10.31650/2415-377X-2019
6. Лучко Й. Й. Методи захисту від корозії залізобетонних конструкцій і споруд. Монографія / Й. Й. Лучко, Б. З. Парнета, Б. Л. Назаревич; за ред. д.т.н., проф. Й. Й. Лучка // МОН України; Дніпропетров. національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Львів: Каменяр, 2016. – 415 с.
7. Лучко Й. Й. Дослідження технології ін'єкційної гідроізоляції підземних споруд / Й. Й. Лучко, Б. З. Парнета, А. Я. Пенцак // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса.: ОДАБА, 2018. – Вип. 71. – С. 113-119. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-76-52-62
8. Сердюк В.Р. Об'ємна гідрофобізація важких бетонів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 2. – С. 40 – 43.
9. Гамаш О.І. Основні ризики при проектуванні і виконанні гідроізоляції підземних частин будинків і споруд / О.І. Гамаш // К., Будівельне виробництво. №65. 2019. С. 19 – 22.
10. Гамаш О.І. Основні помилки при проектуванні і виконанні гідроізоляції підземних частин будинків і споруд / О.І. Гамаш // К., Будівельне виробництво. №69. 2020. С. 12 – 15. DOI:10.36750/2524-2555.69.12-15
11. Лісневський М. А. Проектування гідроізоляції при будівництві і експлуатації тунелів / М. А. Лісневський, В. Т. Гузченко, О. М. Кулаженко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2015. № 8. С. 42–47. DOI: 10.15802/bttrp2015/90756.
12. Більченко А. В. Вплив технології виготовлення монолітної плити на фізико-механічні характеристики покриття / А. В. Більченко, О. Г. Кіслов // Вісник ХНАДУ, вип. 93, 2021. С.67 - 73 – DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.67
13. CD 358. National standard of Great Britain. Design Manual for Roads and Bridges. Highway structures & bridges design. Waterproofing and surfacing of concrete bridge decks. <https://www.standardsforhighways.co.uk> on 03-Mar-2025, CD 358 Version 2.4.0, published: 31-Mar-2022. 63 p.
14. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінбуд України, 2009. – 37 с. – (Державні будівельні норми України).
15. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. [Чинний від 2010-04-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с. – (Національний стандарт України).
16. ДСТУ 8904:2019. Настанова з улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів. [Чинний від 2020-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2020 – 18 с. (Національний стандарт України).

17. Типова операційно-технологічна карта на виконання робіт з підготовки бетонної поверхні та нанесення гідроізоляційної мембрани «Eliminator» на проїзну та тротуарну частини під укладання асфальтобетону. ТОВ «Гідромембрана». 2020. – 32 с.

REFERENCES

1. Popov VOLODYMYR, Voitsehivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. Popov V.O. Metod rekonstruktsiyi balochnykh mostiv bez zupynky yikh ekspluatatsiyi ulashtuvanniam novoyi zbirno-monolitnoyi prolitnoyi budovy / V.O. Popov, I.V. Mayevs'ka, A.V. Popova, M.YA. Zhylovs'kyy // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2021-2. S. 5 – 15. Rezhyim dostupu: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35576>; <https://dorndi.org.ua/ua/metod-rekonstruktsiyi-balochnih-mostiv-bez-zupinky-yih-ekspluatatsiyi-ulashtuvanniam-novoyi-zbirno-monolitnoyi-prolitnoyi-budovi>
3. Popov V.O. Nesucha zdattist' zalizobetonnykh mostovykh balok za pokhylymy pererizamy / V.O. Popov, D.M. Bayda, O.V. Voytsekhivs'kyy, V.V. Kotenko // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2024-1. S. 6 – 13. DOI: [2311-1429-2024-1-6-13](https://doi.org/10.2311-1429-2024-1-6-13)
4. Koval' P. M. Doslidzhennya vlastyvostey hidroizolyatsiynykh materialiv dlya plyt mostiv na eksperymental'nomu ob'ekti / P. M. Koval', I. P. Babyak, V. V. Moz-hovyy, A. M. Onyshchenko // Dorohy i mosty : zb. nauk. prats' / Derzhavna sluzhba avtomobil'nykh dorih Ukrainy (Ukravtodor, Derzhavnyy dorozhniy naukovo-doslidnyy instytut imeni M. P. Shul'hina). – Kyiv, 2009. – Vyp. 11. – S. 146-156. Rezhyim dostupu: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/NE_22.pdf
5. Luchko Y.Y. Regarding the method of installation of membrane waterproofing by injection methods of underground structures / Y. AND. Luchko, B.L. Nazarevich, V.V. Chechen // Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture, No. 75, Odesa, Ukraine: ODABA, 2019. p. 141–150. DOI: [10.31650/2415-377X-2019](https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019)
6. Luchko Y. Y. Metody zakhystu vid koroziyi zalizobetonnykh konstruktsiy i sporud / Y. Y. Luchko, B. Z. Parneta, B. L. Nazarevych; za red. d.t.n., prof. Y. Y. Luchko // MON Ukrainy; Dnipropetrov. natsional'nyy universytet zaliznychnoho transportu im. akad. V. Lazaryana. – L'viv: Kamenyar, 2016. – 415 s.
7. Luchko Y. Y. Doslidzhennya tekhnolohiyi in'yektsiynoyi hidroizolyatsiyi pidzemnykh sporud / Y. Y. Luchko, B. Z. Parneta, A. YA. Pentsak // Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa.: ODABA, 2018. – Vyp. 71. – S. 113-119. DOI: [10.31650/2415-377X-2019-76-52-62](https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-76-52-62)
8. Serdyuk V.R. Ob'yemna hidrofobizatsiya vazhkykh betoniv / V.R. Serdyuk, M.S. Lemeshev // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. – 2009. – № 2. – S. 40 – 43.
9. Hamash O.I. Osnovni ryzyky pry proektuvanni i vykonanni hidroizolyatsiyi pidzemnykh chastyn budynkiv i sporud / O.I. Hamash // K., Budivel'ne vyrobnytstvo. №65. 2019. S. 19 – 22.
10. Hamash O.I. Osnovni pomylky pry proektuvanni i vykonanni hidroizolyatsiyi pidzemnykh chastyn budynkiv i sporud / O.I. Hamash // K., Budivel'ne vyrobnytstvo. №69. 2020. S. 12 – 15. DOI: [10.36750/2524-2555.69.12-15](https://doi.org/10.36750/2524-2555.69.12-15)
11. Lisnevs'kyy M. A. Proektuvannya hidroizolyatsiyi pry budivnytstvi i ekspluatatsiyi tuneliv / M. A. Lisnevs'kyy, V. T. Huzchenko, O. M. Kulazhenko // Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka. 2015. № 8. S. 42–47. DOI: [10.15802/bttrp2015/90756](https://doi.org/10.15802/bttrp2015/90756)
12. Bil'chenko A. V. Vplyv tekhnolohiyi vyhotovlennya monolitnoyi plyty na fizyko-mekhanichni kharakterystyky pokryttya / A. V. Bil'chenko, O. H. Kislov // Visnyk KHNADU, vyp. 93, 2021. S. 67 – 73 – DOI: [10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.67](https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.67)
13. CD 358. National standard of Great Britain. Design Manual for Roads and Bridges. Highway structures & bridges design. Waterproofing and surfacing of concrete bridge decks. <https://www.standardsforhighways.co.uk> on 03-Mar-2025, CD 358 Version 2.4.0, published: 31-Mar-2022. 63 p.
14. DBN V.1.2-14-2009. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel', sporud, budivel'nykh konstruktsiy ta osnov. K.: Minbud Ukrainy, 2009. – 37 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).
15. DSTU-N B V.2.7-175:2008. Nastanova shchodo zastosuvannya khimichnykh dobavok u betonakh i budivel'nykh rozchynakh. [Chynnyy vid 2010-04-01]. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. – 18 s. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).
16. DSTU 8904:2019. Nastanova z ulashtuvannya hidroizolyatsiyi proyiznoyi chastyny avtodorozhnykh mostiv. [Chynnyy vid 2020-10-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2020 – 18 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy).
17. Типова операційно-технологічна карта на виконання робіт з підготовки бетонної поверхні та нанесення гідроізоляційної мембрани «Eliminator» на проїзну та тротуарну частини під укладання асфальтобетону. ТОВ «Гідромембрана». 2020. – 32 с.

Попов Володимир Олексійович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: v.a.popov.vntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-2379-7764.

Байда Денис Миколайович – к.т.н., доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т., Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва. Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, email: denisbayda@gmail.com, ORCID 0009-0004-0004-377X.

Маєвська Ірина Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5999-6824.

Попова Аліна Володимирівна – магістрантка. Факультет хімії, біології та біотехнологій, Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, Україна e-mail: alina.popova260702@gmail.com ORCID 0000-0003-3576-5823.

V. Popov¹
D. Baida²
I. Majewska¹
A. Popova³

RATIONAL TECHNOLOGY OF WATERPROOFING SYSTEM OF REINFORCED CONCRETE SLABS OF BRIDGE SPAN STRUCTURES

¹Vinnitsia National Technical University

²State University «Zhytomyr Polytechnic»

³Vasyl' Stus Donetsk National University, Ukraine

In the paper have been considered modern design options of arranging waterproofing coatings for the carriageway and sidewalk parts of girder bridge structures with a monolithic reinforced concrete overlay slab to ensure its impermeability and durability. Have been conducted a comprehensive analysis of the advantages and disadvantages of waterproofing technologies and materials currently available on the Ukrainian market based on our own practical experience, as well as on the research of well-known domestic and foreign scientist. Have been considered the problems and risks associated with damage to protective isolation layers, which ultimately results in significant costs for major repairs of the supporting structures of bridge spans. Among the many alternative options, the most rational option of multilayer insulation was selected according to the integral cost criterion, which occurred in the settings of the waterproofing membrane, obtained by deep impregnation of the surface layers of concrete with siloxane or methyl methacrylate polymers, covering them with a waterproofing layer with the formation, after hardening of the waterproofing components, of a concrete-polymer high-strength, wear-resistant and impermeable layer, which reliably adheres to the asphalt pavement of the roadway due to an additional adhesion layer.

Have been considered conducting scientific research, structural and technological issues of installing a waterproofing membrane, among which the preparation of the concrete surface for applying impregnating isolation materials (primer layer) and the localization and elimination of initial defects of the solid base should be especially highlighted. Have been considered the design aspects related to the organization of a continuous insulating layer, together with the isolation of the pavement part of the span structure and the issue of adhesion of the layers of the base-isolation-road surface system. Have been proven that the structural integrity of waterproofing is the key to its high durability. The work emphasizes the importance of organizing end-to-end quality control of isolation work at all production stages, which ensures a long planned warranty period of operation of the moisture-proof span structure.

The offered structural isolation solution have been implemented in the conditions of a real construction site during the overhaul of the spans of the bridge structure in the city of Gaisyn across the Sib River at km 484+370 of the national highway M-12 Stryi-Ternopil-Kropyvnytskyi-Znamyanka on the roadway and sidewalk parts using Eliminator technology, developed by the British company Stirling Lloyd. Theoretical studies of the durability of waterproofing works have been confirmed by many years of trouble-free operation of the hydromembrane under conditions of active operation

Key words: bridge, impregnating waterproofing, floating waterproofing, waterproofing membrane, volumetric hydrophobization, waterproofing, frost resistance, durability, methyl methacrylates, siloxane

Popov Vladimir – Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, email: v.a.popov.vntu@gmail.com ORCID 0000-0003-2379-7764.

Baida Denys – Ph.D., Docent of department of Mining Technologies and Construction named after Prof. Bakka M.T., Faculty of Mining, Nature Management and Construction, State University «Zhytomyr Polytechnic», Zhytomyr city, email: denisbayda@gmail.com. ORCID 0009-0004-0004-377X.

Majewska Irina – Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, Ukraine e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5999-6824.

Popova Alina – graduate student, Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnitsia city, Ukraine, e-mail: alina.popova260702@gmail.com ORCID 0000-0003-3576-5823.