

Якість, стандартизація, безпека, екологічність та ергономічність машин і технологій  
Quality, standardization, safety, environmental and ergonomic properties of machines and techniques

УДК 624.19.05

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6904012>

## Пошук ефективних технологій гідроізоляційного захисту тунелів

О.І. Безбабічева<sup>1</sup>, А.В. Більченко<sup>2</sup>, І.А. Черепньов<sup>3</sup><sup>1,2</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків, Україна)<sup>3</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка (м. Харків, Україна)email: <sup>1</sup> most\_kharkov@ukr.net; <sup>2</sup> kmksm@ukr.net; <sup>3</sup> voenpred314@ukr.netORCID: <sup>1</sup> 0000-0002-9006-2373; <sup>2</sup> 0000-0001-5077-6235; <sup>3</sup> 0000-0003-2421-6503

Розглядаються питання виявлення сучасних ефективних технологій та матеріалів для гідроізоляційного захисту несучих конструкцій тунелів та метрополітенів. Ступінь довговічності основних конструктивних елементів і заходів з їх захисту від фізичних, біологічних, хімічних та інших пошкоджень, забезпечення можливості їх заміни повинні бути ув'язані з встановленим терміном служби об'єкту. Для тунелів він складає 120 років. Одним з основних факторів, що забезпечують нормальні умови експлуатації та безпечну роботу підземних споруд, є надійна гідроізоляція у складі комплексного гідроізоляційного захисту. За даними фахівців збитки від корозії бетону і залізобетону підземних споруд є значними і сягають іноді до 40% загальних інвестицій в будівництво таких об'єктів. Ці збитки складаються з вартості матеріалів, витрат на ремонтно-відновлювальні роботи, вартості порушення режиму експлуатації споруди в період ремонту у зв'язку із припиненням руху та з-за обмеженого функціонування. Тому при проектуванні підземного об'єкту транспортного будівництва одним з важливіших етапів, що забезпечують в подальшому надійну експлуатацію та довговічність споруди, є правильне призначення матеріалу та конструктивних рішень гідроізоляції, як при проектуванні нових споруд так і при відновленні споруд, що експлуатуються. Системний підхід до вибору матеріалів для гідроізоляції окремих вузлів, конструкцій і споруди в цілому з урахуванням наявного досвіду застосування різних технологій гідроізоляційного захисту тунелів та метрополітенів, при проектуванні, будівництві та ремонтно-відновлювальних роботах, дозволить підвищити безпеку експлуатації цих споруд та суттєво зменшити витрати на передчасні ремонти.

**Ключові слова:** тунелі, метрополітени, гідроізоляційний захист, безпечна експлуатація, довговічність

**Вступ.** Транспортні тунельні споруди та метрополітени є важливими, стратегічними об'єктами будь-якої країни. Орієнтовно строк служби тунелів та метрополітенів за сучасними нормами України складає 120 років. Ступінь довговічності основних конструктивних елементів і методи захисту цих складних інженерних споруд від фізичних, механічних, хімічних, біологічних, та інших пошкоджень, забезпечення можливості їх заміни після вичерпання ресурсу, повинні бути ув'язаними з встановленим терміном експлуатації об'єктів. При відсутності або відмовах засобів гідроізоляційного, антикорозійного захисту, при пошкодженнях захисного шару гідроізоляції суттєво зменшується довговічність та надійність несучих конструкцій тунельних споруд. Гідроізоляція, во-

довідвід та дренаж відносяться до елементів, що забезпечують довговічність та надійність основних елементів. При цьому, гідроізоляційний захист в тунелях є комплексним рішенням, та в силу системності і складності об'єктів, повинен мати достатню надійність та довговічність. Увагу до забезпечення надійної гідроізоляції в системі комплексного гідроізоляційного захисту необхідно приділяти на всіх етапах життєвого циклу споруд. Якщо довговічність гідроізоляційного захисту знижена, та його елементи мають відмови, з часом можливі негативні наслідки у вигляді непередбачуваної поведінки несучих конструкцій, зокрема аварійні ситуації. Важливим для підвищення довговічності споруд вважається застосування якісних матеріалів, що відповідають вимогам норма-

тивних документів, а також новим конструктивним та технологічним рішенням. Довговічність транспортних споруд визначається мірою досконалості застосованих технічних і технологічних рішень, якістю виробництва робіт, якістю матеріалів і конструкцій, а також рівнем якості експлуатації [1-7]. Таким чином, важливим та актуальним стає пошук та ефективне застосування довговічних та надійних сучасних ізоляційних матеріалів і технологій гідроізоляційного захисту при проектуванні, при реконструкції, під час експлуатації та при капітальному ремонті підземних транспортних споруд.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Результати більш ніж десятирічного моніторингу стану елементів підземних споруд показують, що практично для всіх підземних споруд за різних причин відбуваються пошкодження та часткові руйнування гідроізоляційного захисту вже на ранніх стадіях експлуатації [1,2,4,7]. Є дані про те, що майже 95% підземних та заглиблених споруд мають відмови гідроізоляції, які призводять до прикореного зносу залізобетонних конструкцій [8]. Як показує практика будівництва та експлуатації споруд такого типу, найбільш розповсюдженим дефектом є обводнення конструкцій. Протікання, течі відбуваються скрізь сполучення конструктивних елементів, скрізь стики обробок тунелів; в місцях дефектів бетону конструкцій та вузлів кріплення закладних деталей та ін. За даними [9] процеси корозійних пошкоджень конструкцій підземних споруд обумовлені спільним фізико-хімічним впливом двох основних факторів: фронту карбонізації бетону (після пошкоджень та руйнувань захисного шару), що діє зсередини споруди, а також фронту хлоридної агресії з зовнішньої сторони (після відмови гідроізоляційної мембрани). При цьому домінуючим є хлоридна агресія, середня інтенсивність дії якої в 5 разів перевищує інтенсивність впливу від карбонізації. Оскільки більшість обробок тунелів та метрополітенів виготовляють з бетону або залізобетону, на розвиток процесів корозії впливають фактори зовнішнього середовища (атмосферні, вплив ґрунтової води, властивості породи, зміни температури, блукаючі струми та ін.) [1-4,12,13]. Також впливовою є інша група факторів – особливості структури матеріалу та складових (цементу, води, наповнювачів, домішок). За даними деяких фахівців збитки від корозії бетону і залізобетону для підземних споруд дуже великі і доходять до 40% загальних інвестицій в будівництво таких об'єктів [1,2]. Підземні транспортні споруди до яких відносяться метрополітени та тунелі поділяються на види за протяжністю, глибиною закладення, розташуванням та засобами зведення [6,8]. У відповідності до цього, різними були і є засоби гідроізоляції та матеріали для гідроізоляційного захисту [3,6,8-12]. Гідроізоляційні засоби захисту

при цьому мають певні особливості як для ділянок перегінних тунелів, так і для станцій. Водонепроникність бетону суттєво обмежує область його застосування у підземних конструкціях: при гідростатичному напорі підземних вод більше ніж 0,1 МПа конструкції без додаткових засобів не рекомендовано застосовувати. З середини 20 сторіччя в тунелебудуванні впроваджені збірні залізобетонні оздоблення з водонепроникного бетону з гідроізолюючими прокладками в стиках, що забезпечило герметизацію тунелю при гідростатичних напорах 0,25 МПа і навіть вище [10]. При зведенні бетонних обробок у сильно обводнених ґрунтах з великим гідростатичним тиском конструкції ізолюється також суцільними водонепроникними мембранами з гнучких рулонних матеріалів, які наклеюють до внутрішньої сторони оброблення. Такий рулонний матеріал наклеювали протягом років в три – п'ять шарів і застосовували при гідростатичному тиску до 30 Па. Але, застосування таких технологій і матеріалів, протягом років не проявило себе як надійний захист обробок тунелів від води і агресивних середовищ [11]. Щоб забезпечити водонепроникність окремих частин підземних конструкцій з монолітного бетону, які з'єднують відповідальні елементи підземних споруд, на багатьох об'єктах застосовується гідроізоляція із сталевих або чавунних листів товщиною 10-12 мм, зварених між собою [10-13]. Листи встановлюються з внутрішньої сторони тунельної оправи; при будівництві вони зазвичай виконують роль опалубки. Пошкодження сталевих гідроізоляцій за даними [12] можуть бути легко усунуті під час експлуатації. Гідроізоляція збірних обробок із залізобетонних блоків виконується в основному тими ж засобами, що і в чавунних обробках, але ефективність її значно нижче, що пояснюється тріщинами в тілі блоків. У гідрозахисті збірних обробок особливу важливість набуває нагнітання за оболонку розчинів. Є досвід застосування розчину бентонітової глини [2,7,11,14] і різних сумішей, від вдалого вибору яких залежить ефективність гідроізоляції оброблення. В якості прикладу вдалого використання органіномінеральної композиції на основі бентоніту є досвід ліквідації течей і водопроявлень при будівництві метро в Мінську [7]. Застосовують як перспективний тип ізоляції також і водонепроникний «зон» з поліетиленових панелей. Між панелями та гірською масою вводять торкрет а також застосовуються анкерні болти. Наступний етап - покриття панелей торкретом для подвійного захисту. Розповсюдженість в транспортному будівництві та метробудуванні за останні роки набули бітумно-полімерні рулонні матеріали, що наплавляються. Ці технології частіше застосовують для відкритих способів робіт при використанні матеріалів типу «Teranap 431 TP»,

«Siplast», «Ультранап» з урахуванням кліматичних особливостей району будівництва. Для транспортних тунелів, що споруджуються відкритим способом також використовуються полімерні мембрани на основі ПВХ, за ново-австрійським способом [4]. Все більше застосування знаходять технології з використанням рулонних синтетичних матеріалів: товсті поліетиленові і поліхлорвінілові плівки, бутил-каучукові полотна із високою розтяжністю (до 100 -200 %), що підвищує надійність гідроізоляції при виникненні в бетоні усадочних тріщин та значних деформацій. Товщина гідроізоляційного покриття, що застосовується для транспортних тунелів і метрополітенів, безпосередньо залежить від глибини закладання споруди (гідростатичного тиску ґрунтових вод) та наявності напірних підземних вод (гідродинамічного тиску). З досвіду застосування ПВХ - мембран європейських країн встановлено, що при гідростатичному тиску ґрунтових вод до 0,2 МПа для гідроізоляції тунелів рекомендується використовувати мембрану товщиною не менше 2 мм, при гідростатичному тиску більш 0,2 МПа товщина мембрани повинна бути не менше 3 мм. Для ефективної роботи гідроізоляційної системи із застосуванням ПВХ мембрани при відсутності адгезії до конструкції, що ізолюється та при низькій ремонтпридатності передбачена система відновлення водонепроникності конструкцій шляхом нагнітання ін'єкційних складів у локалізовані гидрошпонками ділянки між мембраною і ізолюючою конструкцією з використанням контрольно-ін'єкційних штуцерів і трубок. При цьому найбільший ефект дає використання системних матеріалів однієї фірми [15].

При будівництві тунелів гірським способом, улаштування гідроізоляції часто засновується на прийнятті еластичних матеріалів, що розпилюються та листових мембран. Мембрана входить до складу конструкції монолітної залізобетонної обробки. Листова або рулонна мембрана зазвичай монтується до чорнового кріплення і потім закривається бетоном постійного оброблення. Сучасні листові мембрани характеризуються довговічністю, стійкістю до агресивних середовищ, здатні витримувати високий гідростатичний тиск. До переваг листових мембран можна віднести те, що вимоги до підготовки поверхні перед монтажем мінімальні. Можливий монтаж мембрани поверх активних, в тому числі ті напірних течій. Слабким місцем такого способу є те, що працездатність листової мембрани досягається лише при високій якості герметизації швів і елементів кріплення в процесі монтажу; крім того, листова мембрана піддається механічним пошкодженням при наступних роботах аж до заливки шару бетону, що покриває мембрану. Порівняно з листовими матеріалами, мембрани, що наносять розпилю-

ванням, мають переваги. Вони дозволяють обійтися без стиків, не поступають за стійкістю до агресивних середовищ, забезпечують надійну адгезію до поверхні навіть при її складних геометричних формах. Завдяки рівномірній адгезії досягається надійна герметизація в місцях установки закладних елементів, не відбувається масштабного поширення розповсюдження води по контакту мембрани з основою. Внаслідок цього значно знижується вірогідність виникнення протікання при локальному пошкодженні мембрани [9]. Відмічається висока еластичність деяких типів розпилювальних мембран. Так, бітумно-латексні емульсії холодного розпилення володіють здатністю до розтягування без розриву до 1000%, що дає можливість забезпечити герметичність при тріщиноутворенні конструкції [11,16]. До недоліків бітумно-латексних розпилювальних мембран відносять високі вимоги до підготовки поверхні, а також неможливість нанесення матеріалу на активні течії. В останні роки для захисту несучих конструкцій в тунелях і метрополітенах створюють різновиди безшовних технологій. З'явилися ще більш досконалі технології напилення полімерного гідроізоляційного покриття, які гарантують високу якість гідроізоляції примикань будь-якої складності та скорочення строків виробництва робіт. Наприклад, на основі полісечовини [17], яка наноситься на бетонну поверхню за допомогою розпилювального пістолета, в змішувальну камеру якого під високим тиском подаються два компоненти. Кожен з них попередньо підігривається в окремих ємностях до температури близько 70 оС, і в результаті швидкої реакції утворюється міцна еластична полімерна плівка. Низька в'язкість і високий тиск покращують міцність зчеплення полісечовини з бетонною поверхнею. Недоліком є те, що компоненти перед нанесенням необхідно підігривати. В Англії розроблені склади на основі метилметакрилатів, які не потребують додаткового підігріву. При нормальних умовах затвердження відбувається протягом години, і в результаті утворюється міцна еластична мембрана. Технологія нанесення гідроізоляції на основі метилметакрилатів аналогічна технологіям нанесення полісечовини. Покриття складається з двох шарів контрастного кольору. Мембрани «UREA SPRAY 400» з 2005 р. використовувалися на різних об'єктах в Бельгії, Італії, Іспанії, Франції, Німеччині, Австрії, Англії, Норвегії. Гідроізоляція на основі метилметакрилатної смоли (MMA) складається з рідких компонентів А і В і каталізатора у вигляді порошку (BPO). Гідроізоляційне покриття наноситься методом безповітряного розпилення під тиском при роздільній безперервній подачі компонентів А і В у співвідношенні 1:1. При цьому утворюється полімерна плівка з характеристиками, що дозво-

ляють експлуатувати гідроізоляцію через 40-60 хвилин після нанесення. Застосування комплексного гідроізоляційного захисту тунелів за допомогою матеріалів, технологій та технічного супроводження подібних технологій та матеріалів відомого концерну SIKA описано в багатьох джерелах, зокрема, у [18, 19]. З метою підвищення надійності гідроізоляційної системи SIKA у робочі та деформаційні шви несучих конструкцій встановлюють внутрішні фірмові гідроізоляційні шпони Sika та з зовнішньої сторони приклеюють гідроізоляційні стрічки Sika. При цьому, вартість матеріалів та послуг від SIKA є значними.

Як показав аналіз джерел, на даний час проблему забезпечення надійної водонепроникності залізобетонних обробок прагнуть вирішувати одночасно в таких напрямках: створення водонепроникного тіла блоків і надійної гідроізоляції швів між блоками (первинний захист). Вважається, що підвищення якості матеріалів для гідроізоляції може також суттєво вплинути на довговічність гідрозахисту.

У 2010 році на Міжнародній конференції з тунелебудування було відзначено, що питання гідроізоляції та герметизації стиків для залізобетонного оброблення, є актуальними. Технології та матеріали постійно удосконалюються, іде пошук нових видів.

Огляд джерел за тематикою засобів гідроізоляції тунелів та метрополітенів показує, що поки що більша частина підземних споруд, зокрема тунелів мають передчасні відмови елементів гідроізоляційного захисту, що призводить до непередбачених затратних ремонтів.

Процеси улаштування гідроізоляції та комплексного надійного гідрозахисту схильні до різного роду ризиків. Чисельні недоліки можуть бути результатом неякісного проектування, будівництва, недосконалої конструкції, або виникають в результаті непередбачених впливів в місцях, де проходить тунель. Іншою поширеною причиною є той факт, що у багатьох тунелів матеріали окремих елементів вичерпали свою призначену тривалість життя і тому будівельні матеріали самі по собі є фізично застарілими. Тому, докладні описи різних типів конкретних недоліків і способів їх усунення, виконання оцінок аварій та руйнувань, аналіз та оцінка ризиків, є необхідними для удосконалення тунелебудування, для розробки нових ефективних конструктивних рішень при проектуванні та реконструкції споруд [20].

**Мета роботи.** Дослідити технології ефективного гідроізоляційного захисту тунелів та метрополітенів, виконати пошук напрямів створення надійного гідроізоляційного захисту для забезпечення в подальшому нормальних умов експлуатації та довговічності тунельних споруд.

**Результати досліджень.** Аналітичний огляд технологій, засобів та матеріалів для гідро-

ізоляції тунельних споруд показує, що немає чіткого визначення для поняття *гідроізоляція*, яке може трактуватися при відсутності нормативного тлумачення двояко. Іноді йдеться про окремий шар гідроізоляції, зокрема, коли розглядаються: робота матеріала в конструкції комплексного гідроізоляційного захисту; або при укладанні регламентів на влаштування такого шару матеріалу; або при лабораторних випробуваннях матеріалу; або при оцінюванні стану шару гідроізоляції під час обстежень. Гідроізоляція також може розцінюватися як комплекс заходів для захисту тунелів та метрополітенів від шкідливої дії води з метою забезпечення їх водонепроникності (протифільтраційна гідроізоляція) і довговічності матеріалу споруд при фізичних та хімічних агресивних впливах зовнішнього середовища (протикорозійна гідроізоляція).

Існуючі методи гідроізоляційного захисту бетонних і залізобетонних споруд і конструкцій за принциповим призначенням можна розділити на дві групи: первинні і вторинні. Заходи з первинного захисту стосуються оптимізації складу самого бетону і розробки відповідних конструктивних рішень, що враховують характер навантаження і агресивність середовища, а також тривалість їх дії. Заходи з вторинного захисту полягають в створенні на поверхні конструкції надійного гідроізоляційного покриття. В той же час, функціональні призначення гідроізоляційних і захисних матеріалів, нанесених на бетонні конструкції, доповнюють одне одного. Так, гідроізоляційні покриття на органічній або неорганічній основі одночасно виконують свою основну функцію – гідроізольовують елементи споруди, і при цьому працюють в якості антикорозійного захисту бетону від основних руйнуючих факторів, таких як вилуговування, карбонізація, хлоридна, сульфатна і біологічна корозія.

Сучасні гідроізоляційні матеріали дуже різноманітні. Це пов'язано не тільки з великим числом їх виробників (як вітчизняних, так і зарубіжних), але і з індивідуальним і комплексним підходом до кожної проблеми, пов'язаної з гідроізоляцією.

Позитивним є досвід великих компаній світового рівня створювати так звані «системні матеріали». Ідея системних матеріалів передбачає не тільки рішення проблеми гідроізоляції, але і її запобігання, тобто профілактику можливої появи проблеми. Згідно з цією ідеєю матеріали поділяються на матеріали прямої і непрямой дії. Матеріали прямої дії усувають, наприклад, течію, що виникла в результаті утворення тріщини в стіні. Матеріали ж непрямой дії покращують якість самого тіла стіни, надають йому підвищену тріщиностійкість, і тим самим запобігають появі самої тріщини, або зводять до мінімуму шкоду від протікання води.

У даний час проблема забезпечення водонепроникності залізобетонних обробок вирішується в двох напрямках: створення водонепроникного тіла блоків і надійної гідроізоляції швів між блоками. Руйнування бетону під дією фізичних факторів здійснюється внаслідок змін заморожування-відтавання вологи, що знаходиться у бетоні, дії масел, емульсій, інших нафтопродуктів, кристалізації солі при зволоженні бетону мінералізованими водами та подальшого випаровування а також внаслідок механічних пошкоджень. Інфільтрація води є основною причиною більшої погіршень конструкцій та елементів тунелів і може відбуватися у всіх типів тунелів. Навіть у заглибленому тунелі, який розроблений, як водонепроникний, може статися виток води через недостатній зв'язок всіх складових процесу спільного проектування, через неякісне будівництво, а також через погіршення водонепроникних властивостей матеріалів під дією хімічних або біологічних агентів у воді тощо. Іноді змінюється рівень ґрунтових вод, який може суттєво піднятися внаслідок навколишнього наземного будівництва. Спостерігається відмова елементів гідроізоляційної системи, що призводить до непередбачених витрат внаслідок водонепроникнення крізь пошкоджені ділянки. Зменшити витрати на ремонт споруд можливо, якщо підвищити якість проектування, будівництва, розробити комплексну стратегію гідроізоляційного захисту конструкцій від впливів оточуючого середовища. Рациональним можна вважати комплексний підхід в розробці засобів гідроізоляції як складової частини загального захисту тунелів від обводнення. При цьому принциповими є два напрями робіт, які потрібно здійснювати одночасно. Один з напрямів – обмеження доступу вологи до елементів тунелю (поверхневий водовідвід та глибинний дренаж). Другий напрям – забезпечення водонепроникності обробки шляхом її гідроізоляції та улаштування тампонажу в ґрунтовому просторі за обробкою.

Підвищення якості матеріалів для гідроізоляції може також суттєво вплинути на її власну довговічність. Нові матеріали від деяких фірм мають декларований термін служби в 50 років, але поки що досвід роботи таких матеріалів в конструкціях тунелів невеликий за часом і потрібно мати дані обстежень та моніторингу, щоб підтвердити або спростувати такі прогнози. Для достовірної оцінки роботи тих чи інших матеріалів та технологій таким чином, потрібно розробляти та застосовувати сучасні технології та засоби моніторингу стану стиків, цілісності матеріалів.

З урахуванням директивних (нормативних) термінів служби тунелів та метрополітенів 100-120 років, а також з урахуванням важливості гідроізоляції в підвищенні надійності конструкцій тунелів, залишається дедалі актуальною задача

покращення якості гідроізоляційного захисту. Одним із необхідних етапів цієї роботи є розробка та формулювання основних вимог до гідроізоляційних матеріалів, які застосовують при будівництві та ремонтах зазначених споруд. Настанова з забезпечення надійності та безпеки у будівництві [21] вказує, що для досягнення необхідної довговічності конструкції має братися до уваги таке:

- призначене або передбачене використання конструкції;
- обов'язкові розрахункові критерії;
- очікувані умови навколишнього середовища;
- склад, властивості та характеристики матеріалів та виробів;
- властивості ґрунтів;
- вибір конструктивної схеми;
- форма елементів і виготовлення детальних креслень конструкції;
- рівень кваліфікації виконання робіт та рівень контролю;
- відповідні захисні заходи;
- передбачене поточне обслуговування протягом проектного терміну служби

Таким чином, якщо ми хочемо підвищити термін служби елементів гідроізоляційного захисту, необхідно звернути увагу на властивості та характеристики матеріалів, конструктивні схеми, розрахункові критерії у відповідності до очікуваних умов навколишнього середовища, ґрунтових умов.

В той же час, вже є загально сформовані напрями захисту, що характеризуються позитивно і при подальшому удосконаленні окремих деталей та вузлів, можуть призвести до скорочення міжремонтних термінів та до зменшення ризиків.

При спорудженні транспортних тунелів та метрополітенів (перегінних тунелів, станцій метро) відкритим способом у котлованах і закритим (гірничим) способом гідроізоляція конструкцій (обробок) тунелів забезпечується шляхом виконання замкнутого по всьому контуру захисного гідроізоляційного покриття. Найгіршими є умови з високим гідростатичним тиском (до 30-60 м водяного стовпа) та при наявності агресивних ґрунтових вод. Для таких умов одним з ефективних рішень є застосування замкнутої схеми захисту з обробкою з водонепроникного бетону з покриттям його гідроізоляційною мембраною товщиною 3мм типу SIKAPLAN (концерну Sika), LOGICROOF T-PL і LOGICROOF T-SL («ТехноНИКОЛЬ»). Приклади об'єктів, на яких гідроізоляція виконана за допомогою тунельних ПВХ мембран: Тунелі Gotthard і Islisberger tunnel в Швейцарії, автодорожній тунель №6 в м Сочі, тунель NBS-Koln-Rhein Main в Німеччині (в умовах гідростатичного тиску 60 м), автодорожній тунель в Сочі. В умовах гідростатичного тиску рекомендоване застосування двошарової (активної) гідроізоляційної системи, яка

виконується завжди в два шари ПВХ- мембранами. Активна гідроізоляційна система є найбільш надійним рішенням гідроізоляції підземних споруд, що дозволяє оптимально контролювати герметичність покриття і відновлювати його в разі пошкодження в процесі будівництва, та подальшої експлуатації об'єкта. Шари зварюються між собою у вигляді замкнутого сектора площею до 100 м<sup>2</sup>. Між шарами гідроізоляційного покриття укладається сепараційна прокладка, що дозволяє контролювати герметичність сектора і, в разі необхідності, відновляти його герметичність ін'єкційними методами. У кожен сектор встановлюються пакери, до яких приєднуються контрольно - ін'єкційні трубки, в свою чергу з'єднані з монтажними коробами, встановленими у внутрішніх приміщеннях споруди.

При закритому способі робіт в умовах відсутності гідростатичного тиску здійснюють дренаж, видалення ґрунтових вод. При застосуванні зонтичної еластичної або жорсткої гідроізоляції для надійного захисту застосовується торкрет-бетон і водонепроникний бетон.

Найбільше поширення та кращі рекомендації в багатьох країнах отримали гідроізоляційні мембрани на основі ПВХ (PVC), поліетилену високого тиску (HDPE) і високоеластичного поліетилену (VFPE), термопластичних поліолефінів зі спеціальними добавками (ТПО), а також етиленпропилен-диенових каучуків (EPDM). Більше 40-ти років випускаються і експлуатуються біУтумнополімерні матеріали двох видів - модифіковані атактичним поліпропіленом (АПП) і стирол - бутадієн-стиролом (СБС).

Нанесення гідроізоляції напилюванням на торкрет-бетон, було успішно застосовано в період 2007-2015 р на великих спорудах, таких як *Тунель de Viret*, Лозана, у 2007г, *Тунель Gevingas*, Норвегія, у 2011г, *Тунель Grossrail*, GB, у 2014г, *Тунель de Cobet*, Швейцарія, у 2014 г. Захист тунелю з торкрет-бетону в якості постійного і довгострокового міцного елемента, армованого волокном з добавками, що підвищують водонепроникність в поєднанні з двошаровою мембраною, був оцінений як цікавий для подальшого удосконалення і використання.

Технології гідроізоляції тунелів постійно удосконалюються, розробляється нове обладнання і матеріали. Гірничо-геологічні умови будівництва кожної підземної споруди індивідуальні, різняться режими їх експлуатації та вимоги і лише індивідуальний підхід до гідроізоляції кожного об'єкту, заснований на багатому практичному досвіді може забезпечити високу якість і багаторічну надійність виконаних робіт.

#### **Висновки.**

1. Одним з основних факторів, що забезпечують нормальні та тривалі умови експлуатації підземних споруд, є надійний гідроізоляційний захист. У

багатьох підземних споруд через відсутність системного підходу до проектування, улаштування та експлуатації гідроізоляційної системи відбуваються її відмови на ранніх стадіях експлуатації.

2. У відповідності до засобів будівництва тунелів, особливостей гідрогеологічних умов місцевостей, прийнятих у тій чи іншій країні норм будівництва, існують певні розбіжності технологій улаштування гідроізоляційного захисту.

3. Як показує аналіз науково-технічних джерел інформації, пошук ефективних засобів та матеріалів для довговічної гідроізоляції триває. Однак, вже є загально сформовані напрями захисту, що характеризуються позитивно і при подальшому удосконаленні окремих деталей та вузлів, можуть призвести до скорочення міжремонтних термінів та до зменшення ризиків.

4. Інновацією, яка дозволила істотно скоротити витрати при укладанні матеріалу, є рішення, що дозволяє об'єднати в одному матеріалі дві, раніше роздільні функції: гідроізоляція і дренаж. Такі матеріали комплексної дії є практично завжди технологіями «ноу-хау» окремих фірм, «системними матеріалами».

5. В даний час проблема забезпечення водонепроникності залізобетонних обробок вирішується в двох напрямках: створення водонепроникного тіла блоків і надійної гідроізоляції швів між блоками.

6. Як ефективна технологія гідроізоляційного захисту сучасних великих тунелів визнана технологія нанесення торкрет-бетону в якості постійного і довгострокового міцного елемента, армованого волокном з добавками, що підвищують водонепроникність в поєднанні з двошаровою мембраною, яка напилюється.

7. Надійною, але складною визнається «активна гідроізоляційна система», з улаштуванням по всьому контуру тунелю двох шарів мембран, з вставкою спеціального шару між ними для контролю герметичності та з системою попередньо встановлених по секторах пакерів з ін'єкційними трубками для відновлення захисту ін'єкційними технологіями.

8. В останні роки для захисту несучих конструкцій в тунелях і метрополітенах створюють різновиди безшовних технологій. З'явилися ще більш досконалі технології напилення полімерного гідроізоляційного покриття, які гарантують високу якість гідроізоляції примикань будь-якої складності та скорочення строків виробництва робіт.

9. При виборі матеріалів та технологій потрібен індивідуальний підхід до гідроізоляції кожного об'єкту, з урахуванням майбутніх фактичних умов роботи матеріалів в конструкції комплексного гідроізоляційного захисту.

10. Перспективним слід вважати системне удосконалення технологій гідроізоляції при взає-

модії фахівців та науковців на всіх етапах існування споруд (проекування, будівництво, експлуатація та моніторинг роботи гідроізоляційних технологій протягом років).

### Література

1. Богачев Г.Г. Обзор современных материалов для обеспечения гидроизоляции подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. Горная книга. 2007. №9. С. 55-60.
2. Шилин А. А. Обоснование стратегии эксплуатации и разработка конформативных технологий ремонта конструкций подземных сооружений: автореф. дисс. доктора техн. наук: спец. 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)». Москва, 2002. 47с.
3. Луфски Карл. Гидроизоляция строительных сооружений. – Москва. Стройиздат, 1982. 207 с.
4. Иванова Н.М. Эффективные гидроизоляционные материалы для транспортных тоннелей и подземных сооружений // «Технологии мира». 2012. № 09(47). С.17-21.
5. Гончаров А.С. Обоснование и разработка технологии ремонта и гидроизоляции подземных сооружений, обеспечивающей их долговечность: автореф. дис. на соискание науч. степени канд техн. наук: спец. 05.15.04 «Строительство шахт и подземных сооружений». Москва, 1999. 138с.
6. Фролов Ю.С., Гурский В.А., Молчанов В.С. Содержание и реконструкция тоннелей, 2011. 300с.
7. Панченко А.И. Причины появления и способы ликвидации водопроявлений в подземных сооружениях//Инженерные сооружения. 2014. №2(4). С. 86-91.
8. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: учеб. пособ. / Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б. Тверь: Русская торговая марка, 2003. 399с.
9. Дианов В.М., Савич А.В., Пашин К.С., & Графкин С.А. (2012). Опыт работ по гидроизоляции подземных сооружений. Записки Горного института, 199, 145-150.
10. Проектирование и расчет обделок тоннелей, сооружаемых щитовым способом: учеб. пособ. / Фролов Ю.С., Иванес Т.В., Коньков А.Н. СПб.: ПГУПС, 2004. 87с.
11. Попченко С. Н., Старицкий М. Г. Асфальтовые гидроизоляции бетонных и железобетонных сооружений Л.: Госэнергоиздат, 1962. 252 с.
12. Калинин В.П. Метрополитены . Москва. Транспорт, 1988 . 280с.
13. Костинский В.А. Гидроизоляция транспортных сооружений. url: <http://gpsm.narod.ru/Publications/Gidroizol.htm>
14. Waterproofing systems on Blanka complex of tunnels. Vladimir Petřílka, Pavel Šourek.//Tunel. 20.ročník. 2011. s.45-54.
15. Жуков А.Д. Системы гидроизоляции транспортных тоннелей (часть 1). url: <http://vsedlya.stroiki.ru/ru/naruzhnaya-gidroizolyatsiya-drenazh/sistemyi-gidroizolyatsii-chast-1/>
16. Lakušić, S. Waterproofing pedestrian underpasses using tunnel PVC membrane and the Wervidek/Servipak system.S. Lakušić, Ž. Vojnić., M.Šimun: SLOVENSKI KONGRES O CESTAH IN PROMETU, Portorož, 25. – 27. Oktobra 2006. – 11s.
17. Хоружая Н.В. Мастика на основе комплексного органо-минерального вяжущего для гидроизоляции транспортных сооружений: автореф. дис.на соискание науч. степени канд техн. наук: спец.05.23.05 «Строительные материалы и изделия ».Белгород , 2011. 24с.
18. С. Jeremy Hung, James Monsees, Nasri Munfah, John Wisniewski// December 2009 Report No. FHWA-NHI-09-010, National Highway Institute U.S. Department of Transportation, Washington, D.C 20590. – December 2009. -702 p.
19. Сінякін, А. Г., & Панченко, О. В. (2012). Сучасні системи, матеріали та технології Sika для виконання різноманітних гідроізоляційних робіт. Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка, (45), 125.
20. Безбабічева, О.І., та Овчинников, І.А. (2017). Фактори ризику при виборі ефективних технологій та матеріалів для гідроізоляційного захисту елементів тунелів та метрополітенів. Наукові вісті Далівського університету, (12). url: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2017\\_12\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_12_3)
21. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 EN 1990:2002. Система надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій[Чинний від 2009-07-01] . Вид. офіц. Київ, 2009. 87с. (Національний стандарт України).

### References

1. Bogachev G.G. Obzor sovremennykh materialov dlya obespecheniya gidroizolyatsii podzemnykh sooruzhenii [Review of modern materials for waterproofing of underground structures].Gorny i informatsionno-analiticheskii byulleten. Gornaya kniga. [Mining information-analytical Bulletin. Mountain book.], 2007, no.9, pp. 55-60.
2. Shilin A.A. Obosnovanie strategii ekspluatatsii i razrabotka konformativnykh tekhnologii remonta konstruksii podzemnykh sooruzhenii. Avtoref. diss. doktora tekhn. nauk [Substantiation of the operational strategy and the development of conformative technologies for the repair of structures of underground structures. Dr.Sci. (Philosophy) Thesis]. Moscow, 2002. 47p
3. Lufski Karl. Gidroizolyatsiya stroitel'nykh sooruzhenii. Moskva. Stroizdat, 1982. 207 s.
4. Ivanova N.M. Effektivnye gidroizolyatsionnye materialy dlya transportnykh tonnelei i podzemnykh. «Tekhnologii mira». 2012. № 09(47). S.17-21.

5. Goncharov A.S. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii remonta i gidroizolyatsii podzemnykh sooruzhenii, obespechivayushcheikh dolgovечnost. Avtoref.diss. kand. tekhn. nauk.[Substantiation and development of technology of repair and waterproofing of underground structures, ensuring their durability. Ph.D. (Philosophy) Thesis]. Moscow, 1999.138 p.
6. Frolov Yu.S., Gurskii V.A., Molchanov V.S. Soderzhanie i rekonstruktsiya tonnelei, 2011. 300s.
7. Panchenko A.I. Prichiny poyavleniya i sposoby likvidatsii vodoproyavlenii v podzemnykh sooruzheniyakh.Inzhenernye sooruzheniya. 2014. №2(4). S. 86-91.
8. Gidroizolyatsiya podzemnykh i zaglublennykh sooruzhenii pri stroitel'stve i remonte: ucheb. posob. Shilin A.A., Zaitsev M.V., Zolotarev I.A., Lyapidevskaya O.B. Tver': Russkaya trgovaya marka, 2003. 399s.
9. Dianov V.M., Savich A.V., Pashin K.S., Grafkin S.A. (2012). Opyt rabot po gidroizolyatsii podzemnykh sooruzhenii. Zapiski Gornogo instituta, 199, 145-150.
10. Proektirovanie i raschet obdelok tonnelei, sooruzhaemykh shchitovym sposobom: ucheb. posob. Frolov Yu.S., Ivanov T.V., Kon'kov A.N. SPb.: PGUPS, 2004. 87s.
11. Popchenko S. N., Staritskii M. G. Asfal'tovye gidroizolyatsii betonnykh i zhelezobetonnykh sooruzhenii L.: Gosenergoizdat,1962. 252 s.
12. Kalinichev V.P. Metropoliteny . Moskva. Transport, 1988 . 280s.
13. Kostinskii V.A. Gidroizolyatsiya transportnykh sooruzhenii. url: <http://gpsm.narod.ru/Publications/Gidroizol.htm>
14. Vladimir Petržilka, Pavel Šourek. Waterproofing systems on Blanka complex of tunnels. Tunel. 20.ročník. 2011. s. 45-54.
15. Zhukov A.D. Sistemy gidroizolyatsii transportnykh tonnelei (chast' 1). url: <http://vsedlyastroiki.ru/ru/naruzhnaya-gidroizolyatsiya-drenazh/sistemyi-gidroizolyatsii-chast-1/>
16. Lakušis, S. Waterproofing pedestrian underpasses using tunnel PVC membrane and the Wervidek/Servipak system.S. Lakušis, Ž. Vojnis., M.Šimun: SLOVENSKI KONGRES O CESTAH IN PROMETU, Portorož, 25. – 27. Oktobra 2006. – 11s.
17. Khoruzhaya N.V. Mastika na osnove kompleksnogo organo-mineral'nogo vyazhushchego dlya gidroizolyatsii transportnykh sooruzhenii: avtoref. dis.na soiskanie nauch. stepeni kand tekhn. nauk: spets.05.23.05 «Stroitel'nye materialy i izdeliya ».Belgorod , 2011. 24s.
18. C. Jeremy Hung, James Monsees, Nasri Munfah, John Wisniewski.December 2009 Report No. FHWA-NHI-09-010, National Highway Institute U.S. Department of Transportation, Washington, D.C 20590. – December 2009. -702 p.
19. Sinyakin, A. G., & Panchenko, O. V. (2012). Suchasni sistemi, materialy ta tekhnologii Sika dlya vikonannya riznomanitnikh gidroizolyatsiinikh robit. Budivel'ni materialy, virobi ta sanitarna tekhnika, (45), 125.
20. Bezbabicheva, O. I., & Ovchinnikov, I. A. (2017). Faktori riziku pri vibori effektivnikh tekhnologii ta materialiv dlya gidroizolyatsiinogo zakhistu elementiv tuneliv ta metropoliteniv. Naukovi visti Dalivs'kogo universitetu, (12). url: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2017\\_12\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_12_3)
21. DSTU-N B V.1.2-13:2008 EN 1990:2002. Sistema nadiinosti ta bezpeki u budivnitstvi. Nastanova. Osnovi proektuvannya konstruktсии [Chinnii vid 2009-07-01] . Vid. ofits. Kiiv, 2009. 87s. (Natsional'nii standart Ukraïni).

## Аннотация

### Поиск эффективных технологий гидроизоляционной защиты тоннелей

О.И. Безбабічева, А.В. Бильченко, И.А. Черепнёв

Рассматриваются вопросы выявления современных эффективных технологий и материалов для гидроизоляционной защиты несущих конструкций тоннелей и метрополитенов. Степень долговечности основных конструктивных элементов и методов их защиты от физических, биологических, химических и других повреждений, обеспечение возможности их замены должны соответствовать установленному сроку службы объекта. Для тоннелей этот срок составляет 120 лет. Одним з основных факторов, обеспечивающих нормальные условия эксплуатации и безопасную работу подземных сооружений, является надежная гидроизоляция в составе комплексной гидрозащиты. По данным специалистов, ущерб от коррозии бетона и железобетона подземных сооружений значительны и достигают иногда 40% общих вложений в строительство таких объектов. Убытки включают стоимость материалов, затраты на ремонтно-восстановительные работы, стоимостные составляющие нарушения режима эксплуатации объекта в период ремонта в связи с ограничением движения и функционирования сооружения. Поэтому при проектировании подземного объекта транспортного строительства одним з важнейших этапов, обеспечивающих в дальнейшем надёжную эксплуатацию и долговечность сооружения является правильное назначение материалов и конструктивных решений гидроизоляции как при проектировании



новых сооружений, так и при восстановлении эксплуатируемых сооружений. Системный подход к выбору материалов для гидроизоляции отдельных узлов, конструкций и сооружения в целом с учетом имеющегося опыта использования различных технологий гидроизоляционной защиты тоннелей и метрополитенов, позволит увеличить безопасность эксплуатации этих сооружений и существенно снизить затраты на преждевременные ремонты.

**Ключевые слова:** *тоннели, метрополитены, гидроизоляционная защита, безопасная эксплуатация, долговечность*

**Abstract****Search for effective technologies of tunnel waterproofing****O.I. Bezbabicheva, A.V. Bilchenko, I.A. Cherepnirov**

The issues of identifying modern effective technologies and materials for waterproofing of load-bearing structures of tunnels and subways are considered. The extent of durability of the main structural elements and methods of their protection from physical, biological, chemical and other damages, the possibility of their replacement must comply with the established service life of the facility. For tunnels, this period is 120 years. Reliable hydraulic insulation as part of a comprehensive waterproofing is one of the main factors contributing to the normal conditions of operation and safe operation of underground structures. According to experts, the damage from concrete and reinforced concrete corrosion in underground structures is significant, and sometimes reaches 40% of the total investment in the construction of such facilities. Losses include the cost of materials, the cost of repair and restoration work, the cost components of the disruption of the operation of the facility during the period of repair in connection with the restriction of traffic and operation of the structure. Therefore, when designing an underground transport construction facility, one of the most important stages providing further reliable operation and durability of structures shall be adequate appointment of materials and structural waterproofing solutions in the design of new facilities, and in the restoration of operated structures. Systematic approach to the choice of materials for waterproofing of separate units, structures, and the structure as a whole, taking into account the experience in the use of various technologies of tunnel and subway waterproofing, will increase the operational safety of these structures and significantly reduce the cost of premature repairs.

**Keywords:** *tunnels, subways, waterproofing, safe operation, durability*

---

**Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard**

Bezbabicheva, O. I., Bilchenko, A. V. and Cherepnirov, I. A. (2021) 'Search for effective technologies of tunnel waterproofing', *Engineering of nature management*, (1(19), pp. 102 - 110.

---

*Подано до редакції / Received: 19.03.2021*