



- © Т.А. Терещенко,
- © О.А. Радзівський (ДерждорНД)

# ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ГІДРОВІДСІКАННЯ В СКЛАДІ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ПОВЕРХНЕВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

***Анотація.** Розглянуто метод оцінювання ефективності матеріалів для гідроізоляційного захисту бетону шляхом визначення питомого поверхневого електричного опору системи “армований бетон / гідроізоляційне покриття” або “армований бетон / гідроізоляційне покриття / асфальтобетонне покриття”. Наведено результати експериментальних досліджень із застосування даного методу для визначення стійкості матеріалів для гідровідсікання до дії високих температур.*

***Ключові слова:** міст, шляхопровід, гідроізоляційний захист, електричний опір.*

***Аннотация.** Рассмотрен метод оценки эффективности материалов для гидроизоляционной защиты бетона путем определения удельного поверхностного электрического сопротивления системы “армированный бетон / гидроизоляционное покрытие” или “армированный бетон / гидроизоляционное покрытие / асфальтобетонное покрытие”. Представлены результаты экспериментальных исследований по применению данного метода для определения стойкости материалов для гидроотсекания к действию высоких температур.*

***Ключевые слова:** мост, путепровод, гидроизоляционная защита, электрическое сопротивление.*

***Annotation.** The method of evaluating the effectiveness of materials for waterproofing protection of concrete by determining the specific surface electrical resistance of “reinforced concrete / waterproofing coating” or “reinforced concrete / waterproofing coating / asphalt cover”. The experimental results of applying this method to determine the stability of materials hydrocutting to high temperatures.*

***Keywords:** bridge, overpass, waterproofing protection, electrical resistance.*

## Вступ

Ефективність матеріалів для гідроізоляційного захисту бетону плит проїзної частини мостів оцінюють шляхом визначення питомого поверхневого електричного опору системи “армований бетон / гідроізоляційне покриття” або “армований бетон / гідроізоляційне покриття / асфальтобетонне покриття”. Цей метод може бути застосований до систем, де матеріали

гідроізоляційного покриття за своїми електричними властивостями є діелектриками, а арматура в умовних межах ланцюга є цільною<sup>1</sup>. Метод базується на положенні, що водонепроникне гідроізоляційне покриття забезпечує високий електричний опір системи при його вимірюванні між арматурою і водонасиченою поверхнею. Якщо матеріали гідроізоляційного покриття не забезпечують водонепроникність,

<sup>1</sup> Розмірність показника питомого поверхневого електричного опору гідроізоляційного матеріалу, що визначений за цим методом, відрізняється від визначеної при стандартних випробуваннях вільної плівки матеріалу (наприклад, при стандартних випробуваннях діелектриків).

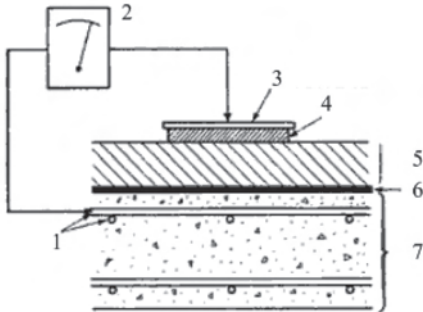


електричний опір системи знижується внаслідок проникнення води.

Згідно з нормативними документами, цей метод застосовують для випробувань гідроізоляційного покриття діючих споруд [1, 2] або для випробувань виготовлених у лабораторії зразків гідроізоляційного покриття на бетоні [3, 4]. Згідно з [4], метод випробувань поширюється на всі матеріали, які виконують функцію гідроізоляційного бар'єра між бетонною основою та асфальтобетонним покриттям.

При виконанні лабораторних досліджень розглянутий метод дозволяє діагностувати зниження ефективності гідроізоляційного захисту внаслідок впливу різних чинників, у тому числі високих температур (наприклад, при укладанні асфальтобетонних сумішей на гідроізоляційне покриття) при збереженні гідроізоляційної здатності конструкції в цілому.

Для виконання вимірювань гнізда вимірювального приладу – омметра 2 приєднують до арматури 1 і до розташованого на поверхні покриття електрода, який складається з мідної пластини 3 і губки 4, просякнutoї водним розчином поверхнево-активної речовини – ПАР (рис. 1).



1 – сталевая арматура; 2 – омметр; 3 – мідна пластина; 4 – губка; 5 – асфальтобетонне покриття; 6 – гідроізоляційне покриття; 7 – залізобетонна плита

Рис. 1. Вимірювання електричного опору між асфальтобетонним покриттям і арматурою залізобетонної плити

Обов'язковою умовою випробувань є насичення поверхні водою; при виконанні натурних випробувань цей процес може бути тривалим і сягати декількох годин. Факт насичення підтверджується стабільністю показників омметра. При застосуванні омметра постійного струму відтворюваність показників може бути низькою або не досягається стабільність показників під час вимірювань.

Для усунення цих проблем рекомендується перемикаєти контакти в приладах з двополюсним вимикачем. Висока точність вимірювань досягається при застосуванні омметра змінного струму.

У технічному звіті [5] наведено значення показників питомого поверхневого електричного опору, які дозволяють оцінювати ефективність гідроізоляційного захисту бетону. Ці значення (табл. 1) було встановлено за результатами лабораторних досліджень при виконанні проекту № 12-11 “Waterproof Membranes for Protection of Concrete Bridge Decks” (“Гідроізоляційні мембрани для захисту бетонних плит мостів”), виконаного NCHRP (National Cooperative Highway Research Program, USA – об'єднана національна програма з обстеження автодоріг) за підтримки OECD (Organization for Economic Cooperation and Development, Організація економічної співпраці і розвитку).

Цей метод було запропоновано для визначення впливу високих температур на матеріали, які використовують для улаштування на поверхні бетону гідровідсікання – прошарку із полімерних матеріалів з високими адгезійними властивостями до бетону, у тому числі вологого [6]. Такі матеріали входять до складу гідроізоляційних покриттів, що укладають на бетон у віці від 7 діб і, згідно з сертифікатами виробників, є діелектриками (нормативні значення електричного опору вільної плівки матеріалу становлять не менше ніж 500 МОм) – тобто відповідають загальним вимогам до матеріалів, які випробовують за розглянутим методом. Для улаштування гідровідсікання застосовують переважно полімерні матеріали на основі епоксидних смол, які здатні до плівкоутворення за умов підвищеної вологості.

Таблиця 1

Ступені ефективності гідроізоляційного захисту, визначені відповідно до вимог [1] при виконанні лабораторних досліджень

Значення питомого поверхневого опору системи	Ступінь гідроізоляційного захисту
1	2
> 1 МОм/фг <sup>2</sup> (10,8 МОм/м <sup>2</sup> )	Високий
від 10 кОм/фг <sup>2</sup> до 1 МОм/фг <sup>2</sup> (від 107,6 кОм/м <sup>2</sup> до 10,8 МОм/м <sup>2</sup> )	Достатній
від 100 Ом/фг <sup>2</sup> до 10 кОм/фг <sup>2</sup> (від 1076,4 Ом/м <sup>2</sup> до 107,6 кОм/м <sup>2</sup> )	Низький
< 100 Ом/фг <sup>2</sup> (1076,4 Ом/м <sup>2</sup> )	Захист відсутній



**Вимоги до зразків та умов виконання лабораторних випробувань згідно з [3]**

Для нанесення матеріалів гідроізоляційного покриття використовують бетонні блоки розмірами 175 мм × 325 мм × 50 мм, виготовлені з бетонної суміші, до якої пред'являють наступні вимоги:

- вміст цементу – 348 кг/м<sup>3</sup>, вміст води – не більше ніж 177 л/м<sup>3</sup>;
- вміст втягнутого повітря – 5,5 %;
- консистенція за показником осідання конуса – від 75 мм до 100 мм.

Для виконання випробувань потрібні:

- омметр з інтервалом вимірювань від 0 Ом до 10<sup>6</sup> Ом;

- електрод, який складається із целюлозної або поліуретанової губки 150 мм × 150 мм × 25 мм і мідної пластини 150 мм × 150 мм × 3 мм – для вимірювання електричного опору системи “бетон / гідроізоляційне покриття” або з губки 69 мм × 69 мм × 13 мм і мідної пластини 69 мм × 69 мм × 3 мм – для вимірювання електричного опору системи “бетон / гідроізоляційне покриття / асфальтобетонне покриття”;

- водний розчин ПАР з концентрацією 5,3 мл/л (описано застосування іоногенних ПАР – похідних сульфокислот, наприклад, натрію діоктилсульфосукцинат);

- сталевий піддон, який дозволяє вільне розташування зразка за всіма розмірами<sup>2</sup>;

- термічна шафа з регульованою температурою і високою швидкістю набору температури.

При визначенні впливу високих температур можливі два варіанти:

1) виготовлення зразка “бетон / гідроізоляційне покриття” з повітряною термообробкою в термошафі;

2) виготовлення зразка “бетон / гідроізоляційне покриття / асфальтобетонне покриття”, де термообробка відбувається в процесі укладання асфальтобетонної суміші.

*Виготовлення і випробування зразків “бетон / гідроізоляційне покриття”.*

Матеріали гідроізоляційного покриття наносяться на бетонні блоки, вимоги до яких наведено вище, на грань 175 мм × 325 мм відповідно до рекомендацій виробника.

Для проведення термообробки зразок у формі поміщають в термічну шафу, розігріту до температури 150 °С (~ 300 °F), і витримують приблизно

15 хв при включеному обігріві та вентиляції; за цей час у шафі має встановитись температура ~ 120 °С (250 °F). Вимикають шафу і витримують зразок до зниження температури шафи до 38 °С (100 °F); тривалість цієї витримки має становити приблизно 2 год. Далі зразок видаляють із форми і охолоджують до кімнатної температури.

Перед виконанням випробувань здійснюють якісну перевірку адгезії гідроізоляції: виконують наскрізний кутовий *L* – подібний надріз 25 мм × 25 мм і перевіряють здатність до відшарування зачепленого ножем надрізаного гідроізоляційного матеріалу. Якщо адгезія відсутня або якщо при термообробці відбулося часткове відшарування гідроізоляції на інших ділянках, зразок відбраковують.

Для виконання випробувань зразок розташовують в металевому піддоні і заповнюють піддон водою на 5 мм нижче рівня гідроізоляційного покриття. Губку змочують розчином ПАР і розташовують на поверхні гідроізоляції таким чином, щоб відстань від кожної з бічних граней зразка була не менше ніж 15 мм; тривалість насичення становить ~ 20 хв. Розташовують мідну пластину на поверхні губки, приєднують роз'єми омметра до мідної пластини і піддона та вимірюють чотири значення електричного опору<sup>3</sup>:

- при вихідному положенні контактів і електродів;

- після обертання електродів на 180°;

- після зміни полюсів приладу;

- після обертання електродів на 180° (при зміненні полюсах).

За результатами чотирьох вимірювань обчислюють середнє арифметичне значення електричного опору і знаходять питомий поверхневий опір системи як результат ділення середнього арифметичного значення електричного опору на площу мідної пластини.

*Виготовлення і випробування зразків “бетон / гідроізоляційне покриття / асфальтобетонне покриття”.*

На зразок “бетон / гідроізоляційне покриття”, виготовлений відповідно до описаних вище вимог, у центрі обробленої грані встановлюють сталевий квадратний шаблон 150 мм × 150 мм × 6 мм з центральним отвором Ø106 мм. Зразок асфальтобетонної суміші висотою 63 мм Ø100 мм у формі, розігрітий до 135 °С, розташовують над

<sup>2</sup> Із функціонального погляду сталевий піддон виконує роль арматури, тому при виборі піддона необхідно звернути увагу на відсутність покриття (цинкування, емаль), відсутність значних корозійних ушкоджень. Ділянка піддона, до якої кріпиться контакт, має бути ретельно зачищеною за допомогою наждачного паперу. Мідь (пластина) та залізо (піддон) утворюють електричну пару, яка здатна накопичувати різницю потенціалів, достатню для зняття показників омметра на матеріалах з низьким опором. Якщо застосовувати сталеву пластину, результати вимірювань для гідроізоляційних матеріалів з низьким електричним опором будуть невірними.

<sup>3</sup> Якщо показання омметра є нестабільними, додатково насичують поверхню зразка з використанням ПАР.



отвором шаблона і пресують із застосуванням направляючої відповідного діаметра з двократним накладанням короточасного статичного навантаження 11 121 Н з проміжним скиданням навантаження до нульового значення.

Для виконання випробувань зразок розташовують у металевому піддоні і заповнюють піддон водою на 5 мм нижче рівня гідроізоляційного покриття. На поверхню асфальтобетонного шару повільно наносять малі порції розчину ПАР до появи перших ознак просочування води на бічних гранях зразка вище рівня мембрани. За необхідності на даному етапі бічну поверхню асфальтобетонного шару ізолюють з застосуванням провощеного паперу або інших гідрофобних матеріалів. Після насичення шару асфальтобетону послідовність операцій є такою, як для випробувань зразка “бетон / гідроізоляційне покриття”. Аналогічно виконують обчислення.

Висновки щодо ефективності гідроізоляційного захисту для всіх видів зразків надають на підставі даних, що наведені у табл. 1.

#### Експериментальна частина

Метою досліджень було вирішення таких задач:

- отримання експериментальних даних для розроблення методики визначення технологічної температуростійкості матеріалів для гідровідсікання із застосуванням розглянутого вище методу;
- визначення чутливості даного методу до дефектів шару гідровідсікання;
- визначення вимог до зразків і умов випробувань за даним методом, які є необхідними та достатніми для надання висновків щодо технологічної температуростійкості матеріалів для гідровідсікання.

Для нанесення матеріалів гідроізоляційного покриття використано бетонні блоки у віці 7 діб розмірами 200 мм × 200 мм × 50 мм, що були

виготовлені з бетонної суміші наступного складу, кг/м<sup>3</sup>:

Цемент М400	348,00
Пісок кварцовий річковий (сито №7)	660,00
Щебінь фракції 5 – 10	540,00
Щебінь фракції 10 – 20	660,00
Вода	140,00
Добавка PF 2240	5,22
Добавка Air 202	2,78.

Варто зазначити, що наведені вище вимоги [3] до бетонної суміші, а також бетонна суміш, яку використовували при виконанні цієї роботи, відповідають загальним вимогам [7]. Зразки після розпалублення витримували протягом 6 діб відповідно до вимог 4.3.2 [8]. Вологість таких зразків у віці 7 діб, визначали відповідно до вимог [9], не перевищувала 10 %. Матеріали наносили на грань 200 мм × 200 мм. До складу гідроізоляційного покриття входили такі матеріали (у різних сполученнях):

- двокомпонентна епоксидна смола MC-DUR LF 480 (виробник MC-BAUCHEMIE Müller GmbH&Co. KG, Німеччина) для улаштування шару гідровідсікання;
- однокомпонентний бітумно-полімерний праймер холодного застосування ТЕХНОКОЛЬ №03 (виробник – корпорація “Техноколь”);
- бітумно-полімерний рулонний матеріал Техноеласт МОСТ (виробник – корпорація “Техноколь”), який наноситься наплавленням і призначений для гідроізоляційного захисту бетонних плит при укладанні литих асфальтобетонних сумішей з температурою 220 °С.

При виконанні випробувань використано наступне обладнання, прилади і допоміжні матеріали:

- термічна шафа VENTICELL з електронним процесором і примусовою циркуляцією повітря, з максимальною робочою температурою 300 °С;

Таблиця 2

#### Позначення дослідних зразків

№ п.п	Витрати MC-DUR LF 480, г/м <sup>2</sup>	Склад гідроізоляційного покриття
1	–	–
2а	500	MC-DUR LF 480
2б*	500	MC-DUR LF 480 / ТЕХНОКОЛЬ № 3
3	500	MC-DUR LF 480 / ТЕХНОКОЛЬ № 3 / Техноеласт МОСТ
4а	200	MC-DUR LF 480
4б*	200	MC-DUR LF 480 / ТЕХНОКОЛЬ № 3
5	200	MC-DUR LF 480 / ТЕХНОКОЛЬ № 3 / Техноеласт МОСТ

\* – зразки 2б і 4б були виготовлені нанесенням матеріалу “ТЕХНОКОЛЬ” на зразки 2а і 4а після їх випробувань без термообробки



- мегаомметр з діапазоном вимірювань від 0 Ом до 50 МОм (шкали з діапазонами вимірювань від 0 кОм до 500 кОм і від 0 МОм до 50 МОм);

- електрод, який складається з поліуретанової губки 150 мм × 150 мм × 30 мм і мідної пластини 150 мм × 150 мм × 2 мм;

- водний розчин докзату (діоктилсульфосукцинату) натрію з концентрацією 5,0 мл/л;

- сталевий піддон, який дозволяє вільне розташування зразка за всіма розмірами.

*Виготовлення і випробування зразків.*

Для випробувань були виготовлені зразки “бетон / гідроізоляційне покриття”; позначення зразків наведено у **табл. 2**.

Дефекти шару гідровідсікання моделювали на зразках № 4а, № 4б, № 5 шляхом нанесення матеріалу MC-DUR LF 480 з витратою, нижчою за рекомендовану виробником (рекомендовано від 300 г/м<sup>2</sup> до 500 г/м<sup>2</sup>); також було виготовлено і випробувано зразок № 1 без гідровідсікання. Для виконання термообробки зразки розташовували у формах гідроізоляцією догори й обробляли всі місця можливого виходу водяної пари з бетонного блоку (зовнішні стики форми, місця стикування відкритої поверхні зразка і

внутрішньої поверхні форми) акриловим герметиком марки Ceresit.

Термообробку виконували в режимі, однаковому для всіх зразків:

- зразок у формі вносили до термічної шафи, розігрітої до максимальної температури термообробки 220 °С (значення максимальної температури термообробки залежить від очікуваної температури укладання асфальтобетонної суміші) і витримували 15 – 20 хв при ввімкненому обігріві;

- витримували зразок в зачиненій шафі при вимкненому обігріві до зниження температури шафи до 40 °С; при максимальній температурі термообробки 220 °С тривалість такої витримки становила 4 год;

- зразок видаляли з форми й охолоджували до кімнатної температури.

При випробуваннях виконували послідовність операцій з вимірювань та обчислення, наведених у [3] для зразків “бетон / гідроізоляційне покриття”. Площа поверхні, прийнята для обчислення питомого поверхневого електричного опору, дорівнює площі поверхні електрода і становить 0,0225 м<sup>2</sup>. Результати випробувань наведено у **табл. 3**.

*Таблиця 3*

**Результати випробувань матеріалів для улаштування гідроізоляційного покриття методом визначення питомого поверхневого електричного опору**

№ зразка	Вигляд робочої поверхні після термообробки	Поверхневий електричний опір, кОм					Питомий поверхневий електричний опір, кОм/м <sup>2</sup>	Ступінь гідроізоляційного захисту
		1	2	3	4	Середнє арифметичне		
1*		60	60	70	60	63	2800	Достатній
1	Відшарування ~ 50 % площі рулонного матеріалу	—	—	—	—	—	—	—
2а	Термообробку не проводили	10	10	20	15	14	622	Достатній
2б*		25	35	20	15	24	1067	Достатній
2б	Без дефектів	25	20	20	20	21	944	Достатній
3*		100	150	100	100	113	5022	Достатній
3	Без дефектів	150	100	100	100	113	5022	Достатній
4а	Термообробку не проводили	1	1	2	3	2	89	Низький
4б*		40	40	25	25	33	1467	Достатній
4б	Одиничний дефект розміром ~2 см (здуття праймеру)	2	2	2	2	2	89	Низький
5*		80	70	80	80	78	3467	Достатній
5	Відшарування ~ 20 % площі рулонного матеріалу	—	—	—	—	—	—	—

\* – результати випробувань зразків до термообробки



Результати випробувань зразків № 2а і № 4а показали, що нанесення матеріалу гідровідсікання з витратою, рекомендованою виробником, забезпечує утворення щільної плівки полімеру з достатнім ступенем гідроізоляційного захисту; нанесення недостатньої кількості матеріалу призводить до дефектів шару гідровідсікання і зниження ступеня гідроізоляційного захисту. Розглянутий метод дозволяє діагностувати різні дефекти гідровідсікання – від відсутності шару (зразок № 1) до незадовільного плівкоутворення в шарі (зразок № 4а).

Результати випробувань зразків № 2б, № 3, № 4б, № 5 показали, що цей метод дозволяє визначати вплив високих температур на якість гідроізоляційних покриттів з гідровідсіканням при улаштуванні на бетоні з підвищеною вологістю.

Належна якість шару гідровідсікання, підтверджена випробуванням зразка № 2а, забезпечує якість суміжного шару і гідроізоляційного покриття при дії високих температур без зниження ступеня гідроізоляційного захисту (зразки № 2б, № 3\*, № 3).

Дефекти шару гідровідсікання, наявність яких підтверджено при випробуванні зразка № 4а, призводять до зниження ступеня гідроізоляційного захисту з утворенням дефектів суміжного шару і гідроізоляційного покриття при дії високих температур (зразки № 4б, № 5\*, № 5).

#### Висновки

Результати роботи свідчать про ефективність оцінювання гідроізоляційного захисту покриття, що влаштоване по цементобетону, шляхом визначення питомого поверхневого електричного

опору, також визначення цього показника дозволяє ефективно оцінити температуростійкість матеріалів для гідровідсікання після їх термообробки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ASTM D3633 – 98 (2006). Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems.
2. WSDOT Test Method T 413. Method of Test for Evaluating Waterproofing Effectiveness of Membrane and Membrane-Pavement Systems – Washington State Department of Transportation U.S., Olympia, WA, 2012. – P. 345-349.
3. GDT 69. Evaluation Waterproofing Membranes for Concrete Bridge Decks. Construction Manual – Georgia State Department of Transportation, U.S. – 6 p.
4. SS 888. Waterproofing Membrane Materials. Standard Specification. – Georgia State Department of Transportation, U.S. – 4 p.
5. Van Til C.J., Carr B.J., Vallerga B.A. Waterproof membranes for protection of concrete bridge decks—laboratory phase. NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) Report 165 – National Research Council, Washington DC; 1976. – 56 p.
6. ГБН В.2.3–218–003:2010. Споруди транспорту. Технологія улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів і шляхопроводів із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону.
7. ДСТУ Б В.2.7–176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ).
8. ДСТУ Б В.2.7–214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
9. ДСТУ Б В.2.7–170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

