

УДК 625.7/.8

Терещенко Т.А., канд. хім. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАКОРДОННИХ ВИМОГ ДО МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОЦЕСІВ ВЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З СУМІШЕЙ, УКРІПЛЕНИХ ГІДРАВЛІЧНИМИ В'ЯЖУЧИМИ

Анотація

Вступ. У галузі дорожнього будівництва суміші, укріплені гідравлічними в'язучими (ГВС), ідентифікують як отримані змішуванням в установці або на дорозі суміші природних або штучних кам'яних матеріалів, піску, гідравлічного в'язучого, води та добавки – за необхідності, які утворюють монолітний шар дорожнього одягу після ущільнювання та витримки за стандартних умов.

Міцність шару дорожнього одягу значною мірою визначається типом в'язучого. Асортимент гідравлічних в'язучих, які застосовуються у світовій практиці при проектуванні складу ГВС, складається з цементу, вапна, золи виносу та шлаку; матеріали підрозділяються на такі, що тверднуть швидко або повільно та можуть бути використані кожен окремо або в їх стандартних комбінаціях.

Постановка проблеми. ГВС можуть бути використані у несному шарі основи нежорсткого дорожнього одягу для підвищення несної здатності, а також у несному шарі основи жорсткого дорожнього одягу при будівництві на земляному полотні з ґрунтів, здатних до нерівномірних деформацій. Однак найбільш ефективно шари несної основи із ГВС використовуються у нежорстких дорожніх одягах для зниження загальної товщини конструкції.

У цій оглядовій статті розглянуто відповідність української та європейської практики проектування складу та застосування ГВС, а також підтверджено необхідність розширення відповідних критеріїв, встановлених в українських стандартах.

Результати. Виконане у цій статті аналітичне порівняння охоплює наступні рекомендовані до апробації аспекти:

- загальні вимоги до ГВС, у тому числі гранулометричні характеристики (які можуть урахувати в'язучий матеріал) та класифікацію за міцністю;
- загальні вимоги до в'язучого матеріалу, включаючи співвідношення компонентів та мінімальну кількість в'язучого, що додається, у залежності від типу в'язучого та від умов руху транспорту по влаштованому шарі ГВС;
- загальні вимоги до методів випробувань ГВС, включаючи ущільнення зразків ГВС, витримку (тверднення) та випробування;
- загальні вимоги до влаштування шарів ГВС, включаючи влаштування деформаційних швів у шарі матеріалу з раннім набиранням міцності з метою забезпечення надійності з точки зору усадкової та температурної тріщиностійкості.

Висновки. Апробація європейської практики добору складу та застосування ГВС з урахуванням результатів аналітичного огляду буде сприяти адаптації процесів проектування та будівництва автомобільних доріг до підвищення транспортних навантажень, у тому числі навантажень від великовагових транспортних засобів.

Ключові слова: суміші, укріплені гідравлічними в'язучими, методи випробувань, влаштування шару.

Вступ

Кам'яні матеріали, укріплені гідравлічними в'язучими, найбільш ефективно застосовують у шарах основи нежорстких дорожніх одягів з метою підвищення несної здатності конструкції та забезпечення рівномірного розподілу навантаження від коліс транспортних засобів на земляне полотно, а також при будівництві основ жорстких дорожніх одягів на ґрунтах земляного полотна, здатних до накопичення пластичних або нерівномірних деформацій.

До дорожньо-будівельних матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим (англомовний термін «*hydraulically bound mixtures*», *НВМ* – суміші, зв'язані гідравлічним в'язучим), відносяться суміші природних або штучних кам'яних матеріалів, дрібнозернистих заповнювачів, в'язучого, води, та, за необхідності, добавок, які виготовляються в установці або змішуванням на дорозі, та після ущільнення та тверднення за нормованих умов характеризуються нормованими значеннями показників технічних властивостей.

У вітчизняній практиці дорожнього будівництва властивості вихідних та укріплених гідравлічними в'язучими¹ матеріалів встановлює стандарт [1]. Вимоги до порядку та технологічних параметрів процесів влаштування шарів дорожнього одягу з матеріалів, оброблених гідравлічними в'язучими в установці або змішуванням на дорозі, встановлює стандарт [2], введений в дію в 2017 році, розробником якого є колектив ДП «ДерждорНДІ».

У зв'язку з інтенсифікацією процесів приведення вітчизняної нормативної бази дорожнього будівництва у відповідність до умов асоціації України з ЄС, реалізацією Державної цільової програми розвитку автомобільних доріг державного значення на 2018 – 2022 рр., а також підвищенням рівня транспортних навантажень та інтенсивності транспортного потоку, актуальним є розроблення комплексу стандартів щодо дорожньо-будівельних матеріалів, укріплених гідравлічними в'язучими, з ідентичним ступенем відповідності до Європейських норм.

Відповідно до викладеного вище метою статті є аналіз вимог до матеріалів, оброблених гідравлічними в'язучими, а також їх складових, методів випробувань та процесів влаштування шарів дорожнього одягу з їх використанням, в Україні та у країнах ЄС.

Особливості застосування різних видів гідравлічних в'язучих

До широко застосовуваних гідравлічних в'язучих, які забезпечують найбільш високий технічний ефект шляхом: зниження товщини конструкції дорожнього одягу; підвищення несучої здатності конструкції; забезпечення необхідних характеристик матеріалу шару при обробці в'язучим – відносяться цементи (портландцемент та шлакопортландцемент).

До стандартних гідравлічних в'язучих відносяться також в'язучі на основі відходів промисловості – шлаків та зол, які характеризуються як гідравлічні в'язучі повільного тверднення. Суміші та укріплені матеріали на основі таких гідравлічних в'язучих характеризуються пролонгованими (понад 28 діб) строками набирання проектної міцності, та мають низку переваг:

- збільшення дозволеної тривалості технологічного періоду між виготовленням суміші, обробленої в'язучим, та остаточним її ущільненням;
- зменшення тенденції до тріщиноутворення, у тому числі утворення відображених тріщин в асфальтобетонному покритті;
- здатність на ранніх строках експлуатації до самоініційованого усунення дрібних дефектів, які можуть утворитися при проходженні транспорту або при незначних деформаціях земляного полотна.

¹Гідравлічні в'язучі відносяться до класу мінеральних, або неорганічних в'язучих.

Згідно з вимогами українських національних стандартів до застосовуваних в укріплених кам'яних матеріалах гідравлічних в'язучих відносять [1]:

- а) портландцементи, шлакопортландцементи;
- б) в'язучі на основі мелених або гранульованих шлаків чорної металургії;
- в) в'язучі на основі паливних шлаків, золошлакових сумішей та зол ТЕС.

У складі в'язучих групи б) та в) застосовують активатори тверднення – портландцемент, будівельне вапно [1].

Рекомендований вміст в'язучого встановлюється стандартом [1] та залежить від марки в'язучого матеріалу за міцністю на стиск.

Стандарт [2] встановлює застосування активних та високоактивних доменних або сталеплавильних шлаків необхідного гранулометричного складу як штучних кам'яних матеріалів, здатних до самоцементації. Шлакові суміші такого складу використовують для влаштування несних шарів основи дорожніх одягів.

Стандарт [2] встановлює також застосування будівельного вапна як індивідуального в'язучого, проте його використання обмежується матеріалами, які проявляють гідравлічну активність відносно вапна: активні пісковики, золошлакові суміші, металургійні шлаки.

У системі Європейських норм класифікацію *HBM* встановлено з урахуванням виду гідравлічних в'язучих [3]:

– *cement bound granular mixtures (CBM, або CBGM)* – суміші, укріплені цементом; у складі *CBM* застосовують цементи згідно з європейським стандартом, який є чинним також в Україні [4];

– *slag bound granular mixtures (SBM, або SBGM)* – суміші, укріплені шлаком; у складі *SBM* застосовують гранульовані доменні шлаки, мелені гранульовані доменні шлаки; також можуть застосовуватися суміші доменних та сталеплавильних шлаків повітряного охолодження – як штучний кам'яний матеріал, який проявляє гідравлічну активність;

– *flu ash bound granular mixtures (FABM, або FABGM)* – суміші, укріплені золою виносу; у складі *FABM* застосовують золу-виносу силікатної (*siliceous*)² або вапняної (*calcareous*) природи; ці золи виносу є продуктом спалювання тонкомеленого вугілля або лігніту в енергогенерувальних установках; тип та активність золи-виносу, а також необхідність застосування активаторів тверднення у складі *FABM* залежать від виду та марки вугілля;

– *hydraulic road binder bound granular mixtures (HRBBM, або HRBBGM)* – суміші, укріплені дорожнім гідравлічним в'язучим; у складі *HRBBM* застосовують гідравлічні в'язучі, які є промисловим продуктом та виготовляються змішуванням в установці - наприклад, суміш золи-виносу та гранульованого доменного шлаку з додаванням активатора тверднення – гіпсу або вапна, або суміш золи-виносу та цементу.

Згідно з інформацією Європейського Комітету Стандартизації (*Comité Européen Normalisation, CEN, www.cen.eu*), технічні вимоги до *HBM* – для кожного виду суміші окремо – встановлено в комплексі стандартів EN 14227 «*Hydraulically bound mixtures*» («Суміші, зв'язані гідравлічним в'язучим»), частини 1, 2, 3, та 5. Стандарт EN 14227, частина 4, встановлює технічні вимоги до золи-виносу для виготовлення *FABM*.

Згідно з даними [3, 5], мінімальний вміст гідравлічного в'язучого в *HBM* залежить від виду в'язучого, номінального максимального розміру зерен суміші, способу дозування кам'яних матеріалів (за масою або за об'ємом), а також від технології обробки кам'яних матеріалів в'язучими; окремі дані наведено в таблиці.

²Отримують при спалюванні вугілля з низьким вмістом сульфатів.

Мінімальний вміст гідралічних в'язучих в НВМ згідно з Технічним описом дорожніх робіт [5]

В'язучий матеріал	Особливості застосування в'язучого матеріалу	Мінімально необхідний вміст в'язучого, % від маси сухої суміші, при виготовленні, спосіб дозування:	
		в установці, за масою	в установці, за об'ємом; на дорозі
Цемент	індивідуально	встановлено стандартом	стандартне значення + 1 %
	у сполученні з іншими гідралічними в'язучими	2,0	3,0
Мелений гранульований доменний шлак	у сполученні з цементом	2,0	3,0
	у сполученні з вапном	3,0	4,0
Сталеплавильний шлак повітряного охолодження	у сполученні з гранульованим доменним шлаком ^{*)}	2,5	3,0
Зола-виносу (сухе відбирання)	у сполученні з цементом	4,0	5,0
	у сполученні з вапном	5,0	6,0
Гранульований доменний шлак	у сполученні з вапном	6,0	8,0
	у сполученні з сталеплавильним шлаком повітряного охолодження ^{*)}	2,5	3,0
Гідралічне дорожнє в'язуче	будь-який спосіб застосування	3,0	4,0
Вапно (гідратоване або негашене)	у сполученні з золю-виносом, для окремих видів <i>FABM</i>	3,0	4,0
	у сполученні з іншими гідралічними в'язучими	1,5	2,0

^{*)} При застосуванні сталеплавильного шлаку повітряного охолодження у сполученні з гранульованим доменним шлаком загальний вміст шлакових в'язучих повинен становити не менше ніж 11 % від маси сухої суміші.

Згідно з даними таблиці при приготуванні сумішей з дозуванням за об'ємом мінімальний вміст гідралічних в'язучих – у порівнянні з дозуванням за масою – є вищим на 1 %.

Згідно з [5], для НВМ, які містять цемент типу СЕМ І [4] у кількості менше ніж 3 % від маси сухої суміші, існують сезонні (температурні) обмеження щодо застосування.

Аналіз вимог до природних та штучних заповнювачів

Крупні заповнювачі та пісок, які складають до 95 % маси сумішей, мають визначальний вплив на фізико-механічні властивості укріплених матеріалів. Для заповнювачів нормуються показники фізико-механічних властивостей, а також вимоги до вмісту складових, які можуть вплинути на гідролітичну або пуцоланову активність в'язучих матеріалів.

Відповідно до вимог українських національних стандартів для обробки гідралічними в'язучими застосовують суміші природних або шлакових матеріалів з непереривчастим гранулометричним складом, з коефіцієнтом збігу від 0,70 до 0,84, з номінальним найбільшим розміром зерен $D = 40$ мм; $D = 20$ мм, $D = 10$ мм, або $D = 5$ мм; фізико-механічні характеристики сумішей та складових сумішей зазначено в стандартах [1, 2]. Вимоги до гранулометричного складу сумішей не передбачають урахування виду в'язучого; урахування умов роботи

укріпленого матеріалу обмежується розташуванням шару у конструкції дорожнього одягу шляхом поділу сумішей за найбільшим номінальним розміром зерен.

Для забезпечення стабільності фізико-механічних характеристик укріплених матеріалів встановлюють обов'язкові вимоги до фізико-механічних властивостей сумішей та їх складових – заповнювачів за показниками:

- зерновий склад;
- вміст зерен неправильної форми;
- вміст пилюватих та глинистих частинок;
- марка за міцністю на стиск (дробильність);
- марка за стиранистю у поличному барабані;
- морозостійкість.

Застосування регенованих дисперсних дорожньо-будівельних матеріалів – подрібненого цементобетону – у шарах дорожнього одягу, укріплених цементом, встановлено окремо в рекомендаціях [6]. Важливо, що для матеріалів подрібненого цементобетону поряд із зазначеними вище показниками фізико-механічних властивостей, нормується також пластичність, яка визначається як число пластичності фракції розміром менше ніж 0,063 мм.

У *дорожньому будівництві країн ЄС* [5] для обробки різними видами гідравлічних в'язучих застосовують суміші природних або штучних матеріалів з різними інтервалами допустимих відхилів вмісту зерен стандартного розміру від середніх значень, зокрема:

- суміші з вузькими інтервалами допустимих відхилів: суміші природних або шлакових матеріалів з номінальним найбільшим розміром зерен $D = 20$ мм; $D = 14$ мм; $D = 10$ мм, а також суміш з $D = 31,5$ мм;
- суміші з широкими інтервалами допустимих відхилів, які застосовують переважно для обробки цементом: суміші з застосуванням відходів подрібнення (гірських порід), регенованих матеріалів, зокрема подрібненого цементобетону, а також піщані суміші.

Необхідно зазначити, що для сумішей *FABM* вимоги до гранулометричного складу дещо різняться в залежності від природи в'язучого – тобто при застосуванні золи-виносу силікатної або вапняної природи [5].

Для окремих видів сумішей в'язуче ураховується як складова при обчисленні гранулометричного складу – наприклад, згідно з [5], для сумішей *SBM*, призначених для влаштування шарів дорожнього одягу з раннім відкриттям руху транспорту, а також для сумішей на основі гідравлічних в'язучих повільного тверднення: *SBM*, *FABM*, *HRBBM*. Суміші на основі гідравлічних в'язучих повільного тверднення характеризуються відносно високим вмістом в'язучого, та у більшості випадків мають забезпечувати рух транспорту, коли проектною міцності матеріалу ще не досягнуто. Характеристики ущільненого шару такої суміші у ранньому віці мають забезпечувати стійкість до утворення колії та достатньо високу механічну стабільність для збереження та подальшого розвитку структурних зв'язків у матеріалі шару. У зв'язку з цим гідравлічне в'язуче повільного тверднення у відповідних випадках має регулювати гранулометричний склад суміші, та також ураховується як складова при його обчисленні [5].

До нормованих фізико-механічних характеристик крупних заповнювачів у складі сумішей для обробки гідравлічними в'язучими відносяться [5]:

- стійкість до фрагментації (метод Лос-Анжелес);
- вміст зерен зі сколеною поверхнею;
- пластичність дрібнозернистих фракцій - для окремих видів сумішей.

Нормується також вміст водорозчинних сульфатів та загальний вміст сірки.

При застосуванні регенерованих матеріалів у складі сумішей нормують також вміст домішок різного походження.

Згідно з інформацією *CEN* (www.cen.eu), технічні вимоги до заповнювачів даного цільового призначення встановлено в стандарті EN 13242; методи випробувань з визначення показників фізико-механічних властивостей заповнювачів встановлено в комплексі стандартів EN 1097 «*Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates*» («Випробування з визначення механічних та фізичних властивостей заповнювачів»), а також EN 933 «*Tests for Geometrical Properties of Aggregates*» («Випробування з визначення геометричних властивостей заповнювачів»).

Класифікація укріплених матеріалів.

Підбір складу, виготовлення зразків та методи випробувань

Згідно з вітчизняними нормативними документами класифікацію дорожньо-будівельних матеріалів, укріплених гідравлічними в'язучими, встановлено за марками за міцністю на стиск без додаткової класифікації матеріалів з урахуванням виду в'язучого або гранулометричного складу суміші. Так, міцність на стиск у віці 28 діб матеріалів марок 20, 40, 60 та 75 повинна становити не менше ніж 2,0; 4,0; 6,0; 7,5 МПа відповідно [1].

Для укріплених матеріалів визначають показники:

- міцність при стисканні;
- міцність на розтягування при згинанні;
- морозостійкість.

Зразки ущільнюють одним з методів: на вібраційному столі, пресуванням, або на приладі стандартного ущільнення [1].

При доборі складу сумішей встановлюють кількість в'язучого, яка забезпечує отримання укріплених матеріалів необхідних марок, а також оптимальний вміст води, який забезпечує максимальну щільність суміші. Рекомендована стандартом [1] кількість в'язучого у складі сумішей залежить від марки в'язучого матеріалу за міцністю на стиск.

У практиці дорожнього будівництва країн ЄС класифікацію дорожньо-будівельних матеріалів, укріплених гідравлічними в'язучими, встановлено для кожного з видів сумішей: *CBM*, *SBM*, *FABM*, *HRBBM* за мінімально необхідними значеннями міцності укріплених матеріалів. Мінімально необхідні значення міцності на стиск R_c встановлюють з урахуванням форми та розміру випробовуваних зразків. Згідно з інформацією Британської асоціації виробників золи-виносу (www.ukqaa.org.uk), наприклад, для зразків-кубів, а також зразків циліндричної форми з відношенням $H/D = 1$, значення R_c встановлюється у межах від 4 МПа до 32 МПа та залежить від виду та класу суміші. Інший спосіб класифікації базується на граничних кривих залежності міцності на розтягування при згинанні від модуля пружності укріпленого матеріалу ($R_t E$). Комплексна характеристика ($R_t E$) є більш наближеною до умов роботи укріпленого матеріалу у шарі дорожнього одягу [5].

Для укріплених матеріалів визначають показники [5]:

- міцність при стисканні;
- міцність на розтягування при згинанні (*direct tensile strength*);
- міцність на розтягування при розколюванні за твірними циліндричного зразка в діаметральному перерізі (*indirect tensile strength*);
- модуль пружності;
- каліфорнійський показник несучої здатності (*California bearing ratio, CBR*).

Будь-який із зазначених методів визначення міцності на розтягування може бути застосований для класифікації укріпленого матеріалу за показником ($R_t E$).

Стандартний метод ущільнення при виготовленні зразків вибирають з урахуванням гранулометричного складу суміші:

- ущільнення на вібраційному столі (*vibrating table compaction*) – застосовують до сумішей з найбільшим номінальним розміром зерен до 31,5 мм включно, з вмістом фракції розміром менше ніж 0,063 мм не більше ніж 12 %;

- ущільнення з застосуванням стандартних приладів за методом Проктора (*compaction using Proctor equipment*) – застосовують до сумішей з найбільшим номінальним розміром зерен до 31,5 мм при виготовленні зразків циліндричної форми;

- ущільнення з застосуванням вібраційного молотка (*vibrating hammer compaction*) – застосовують до сумішей з найбільшим номінальним розміром зерен до 31,5 мм включно, при виготовленні зразків циліндричної або кубічної форми;

- ущільнення віброкомпресійним стискуванням (*compaction using vibrocompression*) – застосовують до сумішей з найбільшим номінальним розміром зерен до 31,5 мм включно, з низьким вмістом дрібних фракцій;

- ущільнення осьовим стискуванням (*axial compression*) – застосовують для виготовлення зразків циліндричної форми з сумішей з найбільшим номінальним розміром зерен до 22,4 мм включно, з високим вмістом дрібних фракцій, склад яких дозволяє витискувати зразок з форми безпосередньо після ущільнення без руйнування.

Згідно з інформацією *CEN* (www.cen.eu), методи виготовлення зразків матеріалів, укріплених гідравлічними в'язучими, та методи їх випробувань, зокрема зазначені вище методи, встановлено в комплексі стандартів EN 13286.

Таким чином, класифікація та методи випробувань сумішей, оброблених та укріплених гідравлічними в'язучими, відповідно до європейських вимог, забезпечують більш гнучке моделювання складу та характеристик матеріалів з урахуванням умов їх роботи в конструкції (тип дорожнього одягу, група навантаження, можливість відкриття руху транспорту у ранньому віці), а також виду в'язучого та гранулометричного складу суміші. Удосконалення вітчизняної бази нормативних документів з даного напрямку дозволить підвищити якість матеріалів та робіт при будівництві автомобільних доріг.

Сучасні вимоги до процесів влаштування шарів дорожнього одягу з матеріалів, оброблених гідравлічними в'язучими

При влаштуванні шарів дорожнього одягу з матеріалів, оброблених гідравлічними в'язучими, поряд з вимогами до процесів укладання, ущільнення та догляду за шаром, у окремих випадках важливе значення має контроль тріщиноутворення, що зменшує ризик утворення відображених тріщин в асфальтобетонному покритті.

Згідно з даними [3], які аналізують європейський досвід застосування *HBM*, застосування цементу дозволяє отримувати укріплені матеріали, які за показниками механічних властивостей наближаються до бетонів, застосовуваних у шарах основи дорожнього одягу. Неконтрольоване утворення усадкових та температурних тріщин у шарі *СВМ* у ранньому віці призводить до інтенсивного утворення поперечних відображених тріщин в асфальтобетонному покритті навіть при товщині останнього 20 см. Найбільш інтенсивно ці процеси відбуваються при застосуванні *СВМ* з міцністю на стиск 15 МПа та вище [3]. При збереженні структурної єдності конструкції на початкових етапах, у подальшому тріщини призводять до проникнення води в нижче розташовані шари та до руйнування земляного полотна. Тому особлива увага приділяється зменшенню усадкових та температурних напружень у шарах укріплених матеріалів шляхом влаштування швів стискування.

Положення українських нормативних документів з цього напрямку встановлюють обмеження температурних умов та загальної тривалості процесу у залежності від виду гідралічного в'язучого. Вибір місця розташування виробничих баз, зокрема змішувальної установки, здійснюють з урахуванням оптимального часу транспортування суміші на підставі даних щодо строку початку тужавіння в'язучого.

Тривалість періоду між закінченням приготування суміші та остаточним її ущільненням за температури 20 °С не повинна перевищувати:

- 2 год. – для сумішей, оброблених цементом;
- від 3 год. до 4 год. – для сумішей, оброблених шлаковим в'язучим з додаванням цементу.

Мінімальна товщина шару ущільненого матеріалу залежить від значення D та становить 170 мм для сумішей з $D=40$ мм, та 150 мм для сумішей з $D=20$ мм; 10 мм; 5 мм.

Шви стискання влаштовують у шарах матеріалів марки 60 або 75 з інтервалом 15 м або 10 м відповідно. При будівництві жорстких дорожніх одягів, якщо шви у шарі укріпленої основи не суміщені у плані з швами у цементобетонному покритті, між шаром основи і покриття влаштовують тріщинопереривальний прошарок.

Контроль якості робіт передбачає визначення геометричних параметрів шару та ступеню ущільнення матеріалу. Лабораторний контроль якості укріплених матеріалів передбачає визначення нормованих показників фізико-механічних властивостей матеріалів з відбиранням проб суміші через кожних 500 м дороги, а також контроль ступеню ущільнення за величиною середньої густини матеріалу шару [2].

У дорожньому будівництві країн ЄС загальні обмеження умов виконання робіт поширюються на температурні умови та тривалість процесу влаштування шару *НВМ*, яку встановлюють як проміжок часу від застосування в'язучого матеріалу (або активатора тверднення в'язучого матеріалу) до завершення ущільнення шару. При влаштуванні основи з *НВМ* у декілька шарів тривалість процесу встановлюється як проміжок часу до завершення ущільнення останнього шару *НВМ*.

Тривалість процесу не повинна перевищувати час початку тужавіння суміші, або обчислюється на підставі емпіричної величини, визначеної для кожного виду гідралічного в'язучого окремо [5]. Так, при використанні емпіричних даних допустима тривалість процесу влаштування шару обчислюється як частка від ділення емпіричної величини на різницю між температурою 3 °С та фактичною температурою. Наприклад, при використанні портландцементу за температури навколишнього середовища 20 °С обчислена тривалість процесу становить 2 год.

Щодо встановленої товщини шарів – згідно з [5], мінімально допустима товщина одного ущільненого шару у багатошаровій *НВМ*-основі становить 150 мм.

Шви стискання (*transversely induced cracking*) влаштовують з розрахунковими інтервалами з відхилами ± 150 мм; у багатошаровій *НВМ*-основі шви стискання мають бути суміщеними у плані з відхилами ± 100 мм. Згідно з [3], у шарі матеріалу міцністю на стиск у віці 7 діб 10 МПа та вище, відстань між швами стискання рекомендується встановлювати 3 м.

Відкриття руху транспорту при застосуванні гідралічних в'язучих повільного тверднення не обмежується, або, для окремих сумішей, дозволяється за результатами визначення показника *СВР* після влаштування шару. При застосуванні цементу рух транспорту у ранньому віці дозволяється відкривати в окремих випадках:

- зразки, витримані на ділянці виконання робіт, набрали міцність на стиск 4 МПа або вище;
- дотримано певні вимоги до гранулометричного складу, вмісту подрібнених зерен, та технології ущільнення шару.

Контроль якості матеріалів на місці виконання робіт згідно з [5] передбачає контроль гранулометричного складу, вологості суміші при перемішуванні та при остаточному ущільненні, а також пластичності дрібнозернистих фракцій для кожних 1000 м³ матеріалу. Лабораторний контроль якості укріплених матеріалів передбачає визначення показників міцності на стиск та на розтяг при розколюванні за твірними у віці 28 діб, де режими тверднення встановлюються для кожного виду суміші та гідравлічного в'язучого окремо.

Контроль якості робіт, поряд з визначенням геометричних параметрів шару, передбачає застосування радіоізотопних методів контролю щільності матеріалу ущільненого шару та встановлює, наприклад, для шарів несної основи значення не нижче ніж 95 % від значення максимальної щільності, яке досягається при оптимальній вологості матеріалу при ущільненні компресійним молотком [5].

Висновки

1. Матеріали, укріплені гідравлічними в'язучими, широко використовують у несних шарах основи нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг з високою інтенсивністю руху. У вітчизняній практиці дорожнього будівництва шари несної основи з матеріалів, укріплених цементом, марки не нижче ніж 40, влаштовують на автомобільних дорогах I, II та III технічних категорій з нежорстким дорожнім одягом капітального типу, у тому числі на дорогах з розрахунковим навантаженням на вісь 130 кН [7].

2. Вимоги національних стандартів ураховують основні положення європейських норм щодо матеріалів та процесів для влаштування шарів дорожнього одягу, укріплених гідравлічними в'язучими. Поряд з цим, ураховуючи характер діючих в Україні виробництв та видів продукції необхідного призначення, доцільним є удосконалення та розширення вимог до гідравлічних в'язучих для дорожнього будівництва та укріплених матеріалів на їх основі.

3. Результати робіт у цьому напрямку забезпечать розширення класифікації дорожньо-будівельних матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим, та більш гнучке моделювання складу та характеристик матеріалів відповідно до умов їх роботи у конструкції. Впровадження відповідних методів підбору складу, виготовлення та випробування зразків, а також методів та параметрів контролю матеріалів та робіт забезпечить підвищення технічних характеристик та строку служби автомобільних доріг.

Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.7-207:2009 Будівельні матеріали. Матеріали щебеневі, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'язучими. Технічні умови. Київ, 2011. 10 с. (Інформація та документація).

2. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Київ, 2016. 43 с. (Інформація та документація).

3. Nikolaidis A. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality. CRC, Boca Raton London New York, 2014. P. 473–479. URL: <https://booksgoogle.com.ua/book?ISBN=1466579978> (Дата звернення 16.05.2018 р.)

4. ДСТУ Б EN 197-1:2015 Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів (EN 197-1:2011, IDT). Київ, 2016. 59 с. (Інформація та документація).

5. Manual of Contract Documents for Highway Works Series 0800 and Notes for Guidance – Road Pavements – Unbound, Cement and other Hydraulically Bound Mixtures // Рік та номер публікації на сайті Європейської комісії: 2015/100/UK. URL: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search> (дата звернення 08.06.2018 р.).

6. МР В.2.3-37641918-882:2017 Методичні рекомендації з проектування шарів дорожніх одягів із застосуванням подрібненого цементобетону. Київ, 2018 р. 46 с. (Інформація та документація).

7. АД А.2.4-37641918-004:2016 Альбом типових конструкцій нежорстких дорожніх одягів для доріг I-II категорії на навантаження 130 кН. Київ, 2016. N 4. 78 с. (Інформація та документація).

REFERENCES

1. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-207:2009) Budivelni materialy. Materialy shchebenevi, hraviini ta pishchani, obrobleni neorhanichnymu v'iazhuchymu. Tekhnichni umovy. (Building materials. Crushed stone, gravel and sand materials treated by hydraulic binders. Specifications.). Kyiv, 2011. – 10 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-39:2016) Nastanova z vlashtuvannya shariv dorozhnoho odiahu z kam'ianykh materialiv (Guide of construction of road pavement courses from stone materials). Kyiv, 2016. – 43 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. Nikolaides A. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality. CRC, Boca Raton London New York, 2014. P. 473–479. URL: <https://booksgoogle.com.ua/book?ISbn=1466579978> (Last accessed: 16.05.2018).

4. State Standard of Ukraine (DSTU B EN 197-1:2015) Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements (EN 197-1:2011, IDT). Kyiv, 2016. – 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. Manual of Contract Documents for Highway Works Series 0800 and Notes for Guidance – Road Pavements – Unbound, Cement and other Hydraulically Bound Mixtures. Data and number of publication on the European Commission site: 2015/100/UK. URL: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search> (Last accessed: 08.06.2018).

6. Rules (MR B.2.3-37641918-882:2017) Metodichni rekomendatsii z proektuvannya shariv dorozhnikh odiahiv iz zastosuvanniam podribnenoho tsementobetonu (Methodical recommendations for the design of layers of road pavement using crushed cement concrete). Kyiv, 2018. 46 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. Album of typical decisions (AR A.2.4-37641918-004:2016) Albom typovykh konstruktssii nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv dlia dorih I-II katehorii na navantazhennia 130 kN (Album of typical structures of flexible road pavements for roads of the Ist and IInd category with a load of 130 kN). Kyiv, 2016. 78 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Tetiana Tereshchenko, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise - DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF CURRENT NATIVE AND FOREIGN REQUIREMENTS TO THE MATERIALS AND PROCESSES FOR CONSTRUCTION OF ROAD PAVEMENTS LAYERS FROM HYDRAULICALLY BOUND MIXTURES

Abstract

Introduction. In road building industry, the hydraulically bound mixtures (HBM) are identified as the in-plant mixed or the in-place mixed blends of natural or artificial stone materials, sand, hydraulic binder, water, and an admixture, if needed, which form the monolithic layer of the road pavement after compaction and curing under standard conditions.

The strength of the layer is largely affected by the binder type. A number of standard hydraulic binders used in the world-wide practice for HBM design consists of cement, lime, fly ash, and slag, which are divided into fast- and low-setting materials and may be used each on its own or in the standard combinations thereof.

Problem statement. HBM may be used in the base layer of the flexible pavement to enhance the load-bearing capacity and also in the base layer of the rigid pavement when constructing on a sub-grade of soils prone to the uneven deformations. But most effectively the base layers from HBM are used with the flexible pavements in terms of reduction of the pavement's total thickness.

This review points the compliance between the Ukrainian and the European practices for HBM design and application and also reveals the need to expand the related criteria stated in the Ukrainian standards.

Results. Given in this review analytical comparison covers the following aspects recommended to approbation:

- general requirements for HBM including HBM grading characteristics (which may include binder) and strength classification;
- general requirements for binder including binder proportion and the minimum values for binder addition related to the binder type and to the conditions of the HBM layers traffic conditions;
- general requirements for HBM testing methods including HBM specimens compaction, curing (hardening), and testing;
- general requirements for HBM layers construction including arrangement of expansion joints in the layer of quick-setting material to ensure good performance of the layer in shrinkage and thermal cracking.

Conclusions. The approbation of the European practice for HBM design and application accepting the results of presented analytical review will promote the adaptation of motor roads design and construction procedures to the increased traffic loadings, including the loadings from heavy goods vehicles..

Key words: hydraulically bound mixtures, methods of testing, layer construction

Терещенко Т.А., канд. хим. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5206-9921>

Государственное предприятие «Государственный дорожный научно-исследовательский институт имени Н.П. Шульгина» (ГП «ГосдорНИИ»), г. Киев, Украина

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ И ПРОЦЕССАМ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ СМЕСЕЙ, УКРЕПЛЕННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ

Аннотация

Введение. В отрасли дорожного строительства смеси, укрепленные гидравлическими вяжущими (ГВС), идентифицируются как полученные смешением в установке или смешением на дороге смеси природных или искусственных каменных материалов, песка, гидравлического вяжущего, воды и добавки – при необходимости, которые образуют монолитный слой дорожной одежды после уплотнения и выдержки при стандартных условиях.

Прочностные характеристики слоя во многом определяются типом вяжущего. Ряд гидравлических вяжущих, используемых в мировой практике при проектировании состава ГВС, состоит из цемента, извести, золы уноса и шлака; материалы подразделяются на быстро- и

медленнотвердеющие и могут быть использованы каждый в отдельности или в их стандартных комбинациях.

Постановка проблемы. ГВС могут быть использованы в несущем слое основания нежесткой дорожной одежды для повышения несущей способности, а также в несущем слое основания жесткой дорожной одежды при возведении на земляном полотне из грунтов, способных к неравномерным деформациям. Однако наиболее эффективно слои несущего основания из ГВС используются в нежестких дорожных одеждах для снижения общей толщины конструкции.

Данная обзорная статья рассматривает соответствие положений украинской и европейской практики проектирования состава и применения ГВС, а также подтверждает необходимость расширения соответствующих критериев, установленных в украинских стандартах.

Результаты. Приведенное в этой статье аналитическое сравнение охватывает следующие рекомендованные к апробации аспекты:

- общие требования к ГВС, в том числе гранулометрические характеристики (которые могут учитывать вяжущий материал) и классификацию по прочности;
- общие требования к вяжущему материалу, включая соотношения (компонентов) и минимальные количества добавляемого вяжущего в зависимости от типа вяжущего и от условий движения транспорта по устроенному слою ГВС;
- общие требования к методам испытаний ГВС, включая уплотнение образцов ГВС, выдержку (отверждение) и испытание;
- общие требования к устройству слоев ГВС, включая устройство [поперечных] деформационных швов в слое материала с ранним набором прочности, с целью обеспечения надежности с точки зрения усадочной и температурной трещиностойкости.

Выводы. Апробация европейской практики подбора состава и применения ГВС с учетом результатов приведенного аналитического обзора будет способствовать адаптации процессов проектирования и строительства автомобильных дорог к возрастающим транспортным нагрузкам, в том числе нагрузкам от большегрузных транспортных средств.

Ключевые слова: смеси, укрепленные гидравлическими вяжущими, методы испытаний, устройство слоя.