

ПОРІВНЯННЯ *RCC* ТА *HBM* І ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ Й ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація

Вступ. У вступі до статті висвітлено переваги застосування й актуальність робіт зі стандартизації двох матеріалів на основі гідралічних в'язучих: бетону, отриманого ущільненням цементобетонної суміші котком (*RCC*), і сумішей, укріплених гідралічним в'язучим (*HBM*s).

Проблематика. Тематика статті охоплює зіставлення *RCC* та *HBM*, технологія застосування яких під час будівництва доріг і об'єктів транспортної інфраструктури передбачає укладання асфальтоукладачами й ущільнення котками і забезпечує економічний ефект порівняно із застосуванням звичайних бетонів.

Мета. Метою статті є виконання порівняльного аналізу *RCC* та *HBM*, зокрема впроваджених у світовій практиці будівництва стандартних методів випробувань цих матеріалів, для підкреслення принципових розбіжностей *RCC* та *HBM* як об'єктів стандартизації, а також складання загальних пропозицій щодо напрямку подальших робіт для забезпечення більш широкого впровадження *RCC* та *HBM* у будівництво об'єктів транспортної інфраструктури і логістики.

Результати. Проаналізовано принципові питання стандартизації *RCC* та *HBM*, охоплюючи значущі розбіжності складу і технічних вимог до матеріалів у їхньому проектному віці. Зазначено, що віднесення *RCC* до стандартних бетонів дозволяє вирішувати задачі контролювання якості з підтвердженням забезпеченості проектного класу матеріалу, а також уможливорює застосування масштабних коефіцієнтів для зразків у стандартних процедурах визначення міцності і виконання перерахунків для показників міцності, визначених різними методами.

Проведено диференціацію стандартних методів випробувань сумішей і виокремлено принципові розбіжності складу, відповідно до яких *RCC* класифікують за прийнятим для звичайних бетонів показником консистенції, тоді як *HBM* у пластичному стані загалом характеризують за показниками, прийнятими для ґрунтів.

Виконано порівняльний аналіз стандартних методів виготовлення зразків *RCC* та *HBM* і поставлено загальні питання впровадження цих матеріалів у рамках системи національних стандартів України.

Висновки. Розбіжності складу *RCC* та *HBM* є визначальними для впровадження різних стандартних методів випробувань *RCC* та *HBM* у пластичному стані — таких, як прийнято для двох різних видів будівельних матеріалів: бетонних сумішей та ґрунтів.

Ураховуючи високу жорсткість *RCC*-сумішей, які не проявляють осідання конуса, метод випробувань з визначення консистенції *RCC*-сумішей стандартизовано окремо від відповідних методів випробувань бетонних сумішей, які ущільнюють глибинним вібруванням.

Стандартні методи випробувань *RCC*-сумішей є репрезентативними з точки зору відповідних технологій дорожнього будівництва; поряд з цим застосування для *RCC* стандартних методів ущільнення з визначенням оптимальної вологості, аналогічно до *HBM*, є ефективним для будівництва споруд з масивного бетону, таких як гідротехнічні споруди.

Впровадження методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків *RCC*, ідентичних міжнародним стандартам, у системі національних стандартів України є безальтернативним. Стандартизація *RCC* потребуватиме проведення робіт з перевіряння/підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності на стиск.

Ключові слова: бетон, виготовлення зразків, консистенція, оптимальний уміст води; суміші, укріплені гідралічним в'язучим, ущільнений котком.

Вступ

До матеріалів на основі гідралічних в'язучих, технології застосування яких у дорожньому будівництві мають безумовні економічні переваги, належать бетон, отриманий ущільненням цементобетонної суміші котком (*roller-compacted concrete, RCC*), а також суміші, укріплені гідралічним в'язучим (*hydraulically bound mixtures, HBM*s).

RCC та *HBM* різняться за напрямками застосування в дорожньому будівництві. У випадку *RCC* сфера застосування поширюється на покриття дорожніх одягів (переважно на об'єктах з обмеженою швидкістю руху), стоянки великогазових транспортних засобів, об'єкти транспортної логістики з каналізованим маневровим рухом великогазових транспортних засобів і техніки: термінали, контейнерні майданчики, доки та інше [1]¹⁾. *HBM* застосовують у шарах основи, у додаткових шарах основи, ґрунтовій основі, а також у перекриваючих шарах; застосування для влаштування покриття не практикують.²⁾

Застосування стандартних методів у процесі добирання складу цих матеріалів, а також дотримання стандартних технологій застосування дозволяють з мінімальними витратами ресурсів, у окремих випадках — також з раннім відкриттям руху транспорту, виконувати роботи з улаштування шарів дорожнього одягу або інших об'єктів транспортної інфраструктури з матеріалів, які за показниками міцності наближаються до звичайних бетонів (*conventional concrete*) — таких, що ущільнені глибинним вібруванням, і здатні забезпечувати високі строки служби конструкцій.

На відміну від бетонних сумішей, що у разі бетонування *in situ* укладають та ущільнюють із застосуванням бетоноукладачів, суміші *RCC* та *HBM* укладають асфальтоукладачами та ущільнюють котками. Проте, попри схожі технології застосування, *RCC* та *HBM* різняться за складом, методами випробувань сумішей і виготовлення зразків, та у частині технічних вимог.

В Україні тривають роботи з напрямку стандартизації цих матеріалів, методів їх випробувань і технологій застосування у будівництві об'єктів інфраструктури; основний фронт робіт зосереджено в ДП «НІРІ».

У цій статті виокремлено принципові розбіжності між *RCC* та *HBM*, відповідно до яких у світовій практиці будівництва стандартизовано різні методи випробувань сумішей і виготовлення зразків; також окреслено питання, які може бути доцільним поставити, у межах системи національних стандартів, для більш широкого впровадження цих матеріалів у будівництво об'єктів інфраструктури. У назві, а також в тексті статті термін «суміші», якщо не зазначено інше, вжито для позначення матеріалів — *RCC* чи *HBM* — у їхньому пластичному стані.

Принципові питання стандартизації *RCC* та *HBM*

У сучасних системах регіональних європейських або міжнародних стандартів технічні вимоги до *RCC* не виділено. *RCC* — це є бетон із заповнювачами нормальної густини, з фізико-механічними властивостями, аналогічними до звичайних бетонів, до якого переважно застосовують стандартні методи випробувань звичайних бетонів та показники міцності якого охоплено межами значень, установлені для звичайних бетонів. Проте особливості *RCC* ураховано кількома стандартними методами виготовлення зразків і випробувань сумішей, розробленими ASTM International, Технічний

¹⁾ Процеси стандартизації *RCC* в Україні не є завершеними; для позначення цих матеріалів застосовують термін «укочений бетон», прийнятий раніше згідно з Рекомендаціями з приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону, проте відповідником англomовного терміна *roller-compacted concrete*, прийнятого в стандартах ASTM і регіональних європейських документах, є «бетон, ущільнений котком». *RCC* широко застосовують також у спорудах з масивного бетону, зокрема гідротехнічних спорудах (у цій статті не розглянуто).

²⁾ Абревіатура *HBM* є прийнятою в європейських стандартах і національних стандартах України з ідентичним ступенем відповідності. У стандартах системи ASTM, а також у технічних звітах, публікаціях стосовно досліджень, що ґрунтуються на стандартах системи ASTM, такі матеріали описують термінами «*cement-treated aggregates*» та «*soil-cement mixtures*». У цій статті розглянуто положення стандартів стосовно *HBM*, для яких нормована міцність на стиск найбільш високої марки становить не менше ніж 48 МПа (у разі випробувань зразків-кубів та циліндрів з коефіцієнтом гнучкості, що дорівнює 1 (описано далі у статті)). Термін «перекриваючий шар» ужито в стандартах серії ДСТУ EN 13282; з запропонованим визначенням відповідного поняття можна ознайомитися в публікації [2].

комітет C09 «Бетон і заповнювачі для бетону», підкомітет C09.45 «Бетон, ущільнений котком» згідно з міжнародно визнаними принципами стандартизації, установленими в Рішенні щодо принципів розроблення міжнародних стандартів, настанов та рекомендацій, затверджені Комітетом з технічних бар'єрів у торгівлі СОТ. Стандарти, сфера застосування яких поширюється на *RCC*, мають код ICS 91.100.30 «Бетон і вироби з бетону».

Суміші, оброблені гідравлічними в'язучими, у разі застосування стандартів системи ASTM випробовують згідно зі стандартами стосовно ґрунтів.

У системі регіональних європейських стандартів (і національних стандартів України з ідентичним ступенем відповідності) установлено технічні вимоги до *HBM*, а також методи виготовлення і випробування зразків, де розробником відповідних EN є Технічний комітет CEN/TC 227 «Дорожньо-будівельні матеріали» (CEN/TC 227 «*Road materials*»), з наданням стандартам коду ICS 93.080.20 «Дорожньо-будівельні матеріали».

Попри те, що переліки характеристик міцності бетонів на заповнювачах нормальної густини та *HBM* у їхньому проєктному віці є практично однаковими, є й суттєва розбіжність. Віднесення *RCC* до бетонів відповідно до системи національних стандартів України потребує застосування вимоги щодо коефіцієнта варіації міцності на стиск — для дорожніх бетонів установлено граничне значення 13,5 % [3]; за такого нормованого значення коефіцієнта варіації міцності на стиск бетону установлено коефіцієнти надійності для граничних станів першої та другої груп; аналогічні вимоги за коефіцієнтом варіації міцності установлені для бетону будівель та споруд у відповідному нормативному акті. Для *HBM* коефіцієнти варіації міцності не нормують.

Коефіцієнт варіації міцності є складовою контролювання якості і дозволяє підтверджувати (забезпечувати) відповідність бетону потрібного класу проєктним вимогам щодо міцності на стиск, як установлено у відповідних нормативних актах щодо проєктування; також забезпеченість коефіцієнтів варіації міцності бетону є підтвердженням належної роботи технологічної лінії виробника бетону [4]. Так, згідно з [5] у процесі випробувань на виробництві з певною періодичністю визначають розкид міцності бетону одного класу (марки), одного віку, а також середню міцність за всіма серіями. Статистичними методами визначають коефіцієнт варіації міцності партій бетону за аналізований період за потрібних обсягів вибірки [6]. Згідно з вимогами національної системи стандартизації України приймання бетону порівнянням його фактичної міцності з нормованою без урахування характеристик однорідності міцності заборонено.

Поряд з підтвердженням відповідності класу бетону проєктним вимогам у системі національних стандартів України установлено процедури визначання масштабних коефіцієнтів у разі випробувань з визначання міцності бетону, а також коефіцієнтів перерахунку між значеннями міцності, отриманими різними методами; підкреслимо, що всі ці процедури установлені для бетонів з підтвердженням коефіцієнтом варіації міцності на стиск.

Відсутність вимог до коефіцієнта варіації міцності стандартних *HBM* певною мірою (у частині контролювання якості) компенсується нормуванням відхилів показника масової густини ущільненого матеріалу на об'єкті — у системі національних стандартів України цей показник повинен становити не менше ніж 98 % від проєктного значення, з дотриманням вимог щодо вибірки і допустимих відхилів [7].

Стосовно можливості застосування масштабних коефіцієнтів під час визначання міцності стандартних *HBM* потрібно зазначити наступне. Клас за міцністю на стиск *HBM* — незалежно від виду в'язучого матеріалу і заповнювача — установлюють за результатами випробувань зразків-кубів або зразків-циліндрів стандартного розміру, що залежить від максимального розміру заповнювача; для зразків-циліндрів додатково нормують коефіцієнт гнучкості (відношення довжини до діаметра зразка) — він повинен становити 1 або 2. У разі випробовування зразків (охоплюючи зразки, виготовлені з кернів), для яких коефіцієнт гнучкості відрізняється від нормованого, потрібно попередньо експериментальним шляхом установити кореляцію з коефіцієнтами гнучкості 1 або 2 (більш детально з цим питанням можна ознайомитись у стандартах серії ДСТУ EN 14227).

Щодо можливості перерахунку показників міцності *HBM*, визначених різними методами: європейські колеги вказують на потребу в уточненні перерахунку показників міцності, отриманих різними методами (система *EN*), для оцінювання міцності стандартних *HBM*. У роботі [8] за результатами ґрунтовних досліджень із застосуванням різних видів гідравлічних в'язучих та сумішей з різним складом заповнювачів автори дійшли висновку, що потенційно можна виділити сталі залежності міцності на розтяг від міцності на стиск для двох умовних груп *HBM*, які характеризуються міцністю на стиск R_c в двох інтервалах значень: (0 – 5) МПа і (5 – 20) МПа, проте потрібні додаткові дослідження для надання остаточних висновків.

Таким чином можливість віднесення *RCC* до стандартних бетонів у свою чергу надає можливість підтвердити забезпеченість проєктного класу *RCC* за показниками міцності — у системі національних стандартів і нормативних актів України відповідні вимоги є обов'язковими, а також застосовувати масштабні коефіцієнти для зразків різного розміру / форми для визначення міцності *RCC* і виконувати перерахунок показників міцності *RCC*, визначених різними методами.

Диференціація методів випробувань *RCC* та *HBM* у пластичному стані

Передумовою впровадження принципово різних методів випробувань і виготовлення зразків *RCC* та *HBM* є різний кількісний склад цих матеріалів: якщо для бетонів відношення «вода / цемент» становить переважно від 0,40 до 0,60 (проте для *RCC* рекомендовано брати це значення < 0,40), для *HBM* розкид значень відношення «вода / гідравлічне в'язуче», залежно від виду гідравлічного в'язучого і характеристик заповнювача, становить орієнтовно від 0,3 до 3,0 — більш детально з різними даними можна ознайомитися в першоджерелах [8, 9].

Важливим є визначення консистенції бетонних сумішей, яка значною мірою залежить від відношення «вода / цемент» і може бути встановлена за кількома показниками — так, згідно зі стандартом [10] у разі класифікації за консистенцією бетонних сумішей можуть бути застосовані показники осідання конуса, ущільнюваність, рухомість, а також комбінована класифікація за осіданням конуса / рухомістю. Вказано, що відповідні стандартні методи класифікації за консистенцією не поширюються на бетонні суміші з низьким умістом води, призначені для ущільнення за окремими технологіями (апріорі це стосується *RCC*).

RCC-суміші у зв'язку з високою жорсткістю характеризують як «*zero-slump concrete*», або «*no-slump concrete*» – бетонні суміші, що не проявляють осідання конуса. У системі міжнародних стандартів *ASTM* консистенцію *RCC*-сумішей визначають із застосуванням стола Вебе й характеризують як час, потрібний для утворення кільця цементного тіста на поверхні зразка, що ущільнюють у циліндричній формі — таке кільце має утворитися по периметру між внутрішньою стінкою форми і зовнішньою крайкою пластикової пластини на поверхні зразка, на яку встановлено привантагу. Залежно від маси привантаги і визначеного часу ущільнення, або «часу Вебе», *RCC*-суміші класифікують таким чином:

- суміші жорсткої консистенції – «час Вебе» від 5 с до 20 с за маси привантаги 12,5 кг;
- суміші дуже жорсткої консистенції – «час Вебе» від 20 с до 30 с за маси привантаги 22,7 кг або 12,5 кг;
- суміші надзвичайно сухої консистенції – «час Вебе» понад 30 с за маси привантаги 22,7 кг.

Відповідний стандартний метод у цілому є застосовним для випробувань *RCC*-сумішей з консистенцією за часом Вебе від 10 с до 60 с.

Добирання складу *HBM* здійснюють на принципово інших засадах — як було зазначено вище, для *HBM* у межах орієнтовного інтервалу значень відношення «вода / гідравлічне в'язуче» максимальне та мінімальне значення можуть різнитися на порядок. Під час добирання складу *HBM* виконують випробування з визначення залежності масової густини суміші від умісту води. Для більшості *HBM* така залежність у графічному вигляді має форму опуклої кривої, екстремум якої відповідає максимальній масовій густині і певному вмісту води, який приймають як оптимальний (для масової густини прийнято виконувати подальші розрахунки з метою виведення значення для суміші в сухому стані). Стандартні випробування з визначення цієї залежності виконують за

методом Проктора — ущільненням матеріалу в циліндричній формі трамбівкою, яку пускають із заданої висоти падіння, щоб забезпечити, з урахуванням маси трамбівки та висоти її падіння, потрібну роботу ущільнення; за більших значень роботи ущільнення цей метод випробувань у рамках системи стандартів *EN* характеризують як модифікований метод Проктора.

Таким чином підкреслимо, що *RCC*-суміші характеризують за показником консистенції, як це усталено для звичайних бетонних сумішей, *HBM* — за оптимальним умістом води, аналогічно до випробувань ґрунтів; відповідні стандартні методи випробувань є складовою процедур добирання складу цих матеріалів.

Результати випробувань *RCC*-сумішей з визначенням консистенції за методом Вебе дозволяють виконувати коригування складу *RCC* на об'єкті після пробного ущільнення шляхом співвіднесення з тривалістю вібраційного впливу на столі Вебе. Випробування зразків за методом Проктора такої можливості не дає, тобто є недостатньо репрезентативним з точки зору технології ущільнення матеріалу на об'єкті дорожнього будівництва.

Поряд з цим ущільнення, наприклад, за модифікованим методом Проктора згідно з [12] дає можливість визначати максимальну густину ущільненого матеріалу в сухому стані відповідно до енергії ущільнення і застосовувати отримані результати для контролювання ущільнення на об'єкті згідно з принципами влаштування земляних насипів [11].

Диференціація методів виготовлення зразків *RCC* і *HBM*

Стандартизовані на даний час методи виготовлення, а також форма зразків *HBM* є більш різноманітними, ніж для *RCC* (табл. 1).

Таблиця 1

Методи виготовлення, форма та розміри зразків *RCC* і *HBM*

Метод ущільнення	Форма зразків	Розмір зразків, мм	Максимальний розмір заповнювача, мм*
HBM			
Метод Проктора Вібраційний стіл	Циліндричні	$d = 100; h = 120$	16,0
		$d = 150; h = 120$	31,5
Вібростискання	Зразки-«вісімки» круглого перерізу	$d = 100; h = 100$ або 200	22,4
		$d = 160; h = 160$ або 320	31,5
Вібраційний молоток	Циліндричні	$d = 100; h = 100$	22,4
		$d = 150; h = 150$	31,5
	Кубічні	100	22,4
		150	31,5
Осьове стискання	Циліндричні	$d = 50; h = 50$ або 100	11,2
		$d = 100; h = 100$ або 200	22,4
RCC			
Стіл Вебе Вібраційний молоток	Циліндричні	$d = 150; h = 300$	50,0**
* В окремих випадках нормовано номінальний максимальний розмір заповнювача, <i>NMSA</i> (<i>nominal maximum size of aggregate</i>).			
** <i>NMSA</i> становить 50,0 мм або менше.			
Примітка. « <i>d</i> » є діаметр зразків, « <i>h</i> » – висота зразків.			

Під час виготовлення зразків *HBM* існує можливість вибору стандартного методу залежно від максимального розміру заповнювача, відносного вмісту дрібнозернистих фракцій, призначення зразків для певного методу випробувань, а також, окремо — у разі потреби у виготовленні зразків на місці виконання робіт, ущільненням вібраційним молотком.

Потрібно зазначити, що зразки *HBM*, застосовні для визначання класу за міцністю на стиск без перерахунку з урахуванням коефіцієнта гнучкості, можуть бути виготовлені лише двома методами: з застосуванням вібраційного молотка або осьового стискання. Поряд з цим, застосування вібраційного молотка передбачає пошарове ущільнення невизначеної кількості *HBM* у формі певного об'єму, доки подальше ущільнення стає неможливим (до відмови) — внаслідок цього забезпечення проєктних значень масової густини зразків *HBM* для випробувань може бути проблемним. Якщо розглядати визначання показників міцності *HBM* з застосуванням зразків-«вісімок» (випробування на прямий розтяг), потрібно зазначити, що у даному випадку для класифікації *HBM* потрібно виконувати послідовність випробувань і розрахунків з визначення граничних значень комплексного показника $R_t E$ — класифікацію за цим показником здійснюють відповідно до результатів випробувань з визначання міцності на розтяг R_t та модуля пружності E , обчисленого за результатами випробувань на розтяг [13]. Класифікація *HBM* за показником $R_t E$ є більш складною.

Стандартні зразки *RCC* виготовляють одного розміру, циліндричної форми, одним із двох методів: ущільненням на столі Вебе з привантагою, опущеною на поверхню зразка — процедурно метод ущільнення наближається до випробування з визначення консистенції *RCC*-суміші (проте комплект привантаги повинен мати масу $(9,0 \pm 0,25)$ кг), або ущільненням вібраційним молотком; дозволено застосовувати вібраційний стіл, інший ніж стіл Вебе, якщо він за результатами перевіряння задовольнятиме певні вимоги до параметрів синусоїдальної вібрації. Зазначимо, що критерій завершення ущільнення *RCC* — виступання цементного тіста на поверхні — є аналогічним до такого під час виготовлення на вібраційному столі стандартних зразків звичайних бетонів і дотично вказує на заповнення цементним тістом порожнин між зернами заповнювача у тілі зразка, тобто на забезпечення певної структурної однорідності матеріалу.

Доцільно додати, що раніше в системі *ASTM* розглядалась можливість стандартизації методів виготовлення зразків *RCC* у вигляді балочок прямокутного перерізу [14]; на даний час процес стандартизації зупинено.

Окремі питання впровадження *RCC* та *HBM* з урахуванням вимог нормативних актів і національних стандартів України

У частині впровадження в Україні *HBM* відповідно до вимог регіонального європейського рівня, поряд з питанням технічної та економічної забезпеченості виробництв, доцільно підкреслити необхідність накопичення бази даних, яка уможливить виконання перерахунків за результатами випробування на стиск зразків-кернів з коефіцієнтами гнучкості, що відрізняються від стандартних. Поряд з цим потребуватиме розширення та узагальнення досвід проєктування конструкцій на засадах класифікації *HBM* відповідно до комплексного показника $R_t E$. Класифікацію за показником $R_t E$ застосовують переважно для проєктування т. зв. *long life pavements* — конструкцій дорожнього одягу з шарами асфальтобетону, влаштованими на шарі основи з *HBM* високої марки за міцністю; стандартні вимоги до *HBM* надають можливість вибору типу суміші з забезпеченням відкриття руху транспорту безпосередньо після ущільнення – жоден інший стандартний дорожньо-будівельний матеріал на основі гідравлічного в'язучого відповідними характеристиками не забезпечено.

У частині *RCC* доцільно зазначити наступне. На даний час розглянуті вище стандартні методи визначення консистенції *RCC*-сумішей і виготовлення зразків є безальтернативними — система міжнародних стандартів *ISO*, регіональних європейських стандартів *EN* і система національних стандартів України аналогів не мають.

Поряд з цим у рамках сучасної системи національних стандартів і нормативних актів України, в цілях забезпечення стандартних вимог до *RCC* як до різновиду бетонів на заповнювачах нормальної густини, потрібно провести роботи з підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності з застосуванням відповідних стандартних методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків, на певному стандартному обладнанні, з залученням виробничих лабораторій підприємств-виробників бетону. Після виконання роботи з підтвердження забезпеченості коефіцієнта варіації міцності на стиск буде потребуватися робота з підтвердження відповідності показників

міцності *RCC* різних класів міцності на стиск критично важливим залежностям, наприклад, прийнятим для розрахунків середнього рівня міцності бетону на виробництві.

Ураховуючи викладене, у разі установлення на національному рівні стандартних технічних умов щодо *RCC* відповідному стандарту доцільно надати статус «пробний».

Висновки

Бетон, ущільнений котком (*roller-compacted concrete, RCC*) і суміші, укріплені гідравлічним в'язучим (*hydraulically bound mixtures, HBM*), попри ідентичні технології укладання й ущільнення і практично однакові переліки характеристик міцності у проєктному віці, різняться за відносним умістом води. Для *RCC* це є відношення «вода / цемент», яке тяжіє до нижньої границі інтервалу, прийнятого для звичайних бетонів, із мінімізацією до $< 0,40$. Для *HBM* це є уміст води, що забезпечує максимальну масову густину ущільненого матеріалу і характеризується як оптимальний та відповідає відношенню «вода/гідравлічне в'язуче» в орієнтовному інтервалі від 0,3 до 3,0, залежно від типу гідравлічного в'язучого і характеристик заповнювача.

Відповідно до цього *RCC* та *HBM* у їхньому пластичному стані випробовують різними стандартними методами та класифікують за різними параметрами. *RCC*-суміші класифікують за прийнятим для бетонів на заповнювачах нормальної густини параметром консистенції, проте відповідний метод випробувань стандартизовано окремо від методів випробувань звичайних бетонів у зв'язку з високою жорсткістю *RCC*-сумішей. Для *HBM* у пластичному стані показники консистенції не визначають — методи випробувань є ідентичними до випробувань ґрунтів.

Стандартні методи виготовлення зразків *RCC* та *HBM* також різняться і можуть бути охарактеризовані як ідентичні до прийнятих для бетонів і ґрунтів, оброблених гідравлічним в'язучим відповідно.

Стандартні методи випробувань *RCC*-сумішей є репрезентативними з точки зору виконання робіт на об'єктах дорожнього будівництва, проте, згідно зі світовим досвідом будівництва, застосування для *RCC* стандартних методів ущільнення з визначенням оптимальної вологості, які практикуються для *HBM*, дозволяє застосовувати отримані результати для контролювання ущільнення на об'єкті згідно з принципами влаштування земляних насипів, що є ефективним для будування споруд з масивного бетону, гідротехнічних споруд тощо.

Впровадження методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків *RCC*, ідентичних міжнародним стандартам, у системі національних стандартів України є безальтернативним.

Стандартизація *RCC* у рамках системи національних стандартів України потребуватиме проведення робіт з перевіряння / підтвердження забезпеченості нормованих значень коефіцієнта варіації міцності на стиск із застосуванням стандартних методів випробувань *RCC*-сумішей і виготовлення зразків і подальшої робота з підтвердження відповідності показників міцності *RCC* стандартним залежностям розрахунку середнього рівня міцності бетону на виробництві, незалежно від очікуваної сфери застосування *RCC*, що дозволить повною мірою реалізувати економічний ефект застосування *RCC* у будівництві.

Список літератури

1. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C. Guide for roller-compacted concrete pavements. Portland Cement Association, Skokie, IL. 2010. 115 p. URL: https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn298.pdf?sfvrsn=7e76fdbf_2 (Дата звернення 28.07.2023 р.).
2. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Досвід про'єктування та будівництва конструкцій дорожнього одягу з застосуванням положень європейських стандартів щодо матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим. *Автошляховик України*. 2019, № 3. С. 42–50.
3. ДСТУ 8858:2019 Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови. Київ, 2020. 19 с. (Інформація та документація).
4. Шейніч Л. О., Пушкарьова К. К., Приймаченко А. С., Чайковський В. В. Оцінка відповідності міцності бетону на стиск за українськими і європейськими стандартами.

Наука та будівництво. 2024, № 3. С. 51–59. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1976323> DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-6> (Дата звернення 08.11.2024 р.).

5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ, 2010. 40 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності. Київ, 2010. (Інформація та документація).

7. ДСТУ 9178:2022 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебенеми, гравійних та укріплених матеріалів. Київ, 2022. 31 с. (Інформація та документація).

8. Kraszewsky, C. (Charakterystyka wytrzymałościowa mieszanek kruszyw związanych hydraulicznie do stosowania w podbudowach drogowych) Strength characteristics of hydraulically bound aggregate mixtures in road construction. *Drogi i Mosty* (Poland), 2009, Vol. 3, P. 31–54. URL: <https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v8n3p31/325> (Дата звернення 18.09.2024 р.).

9. ДСТУ EN 14227-4:2020 (EN 14227-4:2013, IDT) Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим. Технічні умови. Частина 4. Зола-винесення для сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим. Київ, 2020. 9 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ EN 206:2022 (EN 206:2013+A2:2021, IDT) Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність. Київ, 2022. 103 с. (Інформація та документація).

11. Avallone, F., Jahn, M., Marazzini, O. Sika RCC Dams Handbook. 2019. 51 p. URL: <https://www.sika.com/dam/dms/corporate/l/glo-sika-roller-compacted-concrete-dams-handbook.pdf> (Дата звернення 23.09.2024 р.).

12. ASTM D1557-12(2021) Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 13 p.

13. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Методи випробування сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, відповідно до вимог європейських стандартів. *Автошляховик України*. 2022, № 3. С. 36–42.

14. Терещенко Т. А., Ілляш С. І. Диференціація методів виготовлення зразків сумішей на основі гідравлічних в'язучих. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 23. С. 129–138. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.129>.

References

1. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C. Guide for roller-compacted concrete pavements. Portland Cement Association, Skokie, IL. 2010. 115 p. URL: https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn298.pdf?sfvrsn=7e67fdbf_2 (Accessed 28.07.2023 p.) [in English].

2. Tereshchenko, T., Illiash, S. Experience on design and construction of road pavements using the clauses of European standards on hydraulically bound materials. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovik Ukrayiny*. 2019, No. 3. P. 42–50 [in Ukrainian].

3. DSTU 8858:2019 Sumishi tsementobetonni dorozhni ta tsementobeton dorozhnii. Tekhnichni umovy (Concrete mix and road concrete. Technical specification). Kyiv, 2020. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. Scheinich, L. O., Pushkarova, K. K., Pryymachenko, A. C., Chaikovskiy, V. V. Conformity assessment of concrete compressive strength according to ukrainian and european standards. *Science & Construction*. 2024, No. 3. С. 51–59. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1976323>. DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-6> (Accessed 08.11.2024) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-214:2009 Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymi zrazkami (Building materials. Concretes. Methods of determination of strength by control samples). Kyiv, 2010. 40 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU B V.2.7-224:2009 Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti (Concretes. The Rules on Control of Strength). Kyiv, 2010. (Information and documentation) [in Ukrainian].
7. DSTU 9178:2022 Nastanova z ulashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu z shchebenevykh, hraviinykh ta ukriplenykh materialiv (Guide on construction of layers of road pavement from crushed stone materials, gravel materials and bound materials). Kyiv, 2022. 31 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
8. Kraszewsky, C. Strength characteristics of hydraulically bound aggregate mixtures in road construction. *Drogi i Mosty* (Poland), 2009, Vol. 3, P. 31–54. URL: <https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v8n3p31/325> (Accessed 18.09.2024) [in Poland].
9. DSTU EN 14227-4:2020 (EN 14227-4:2013, IDT) Sumishi, ukripleni hidravlichnym viazhuchym. Tekhnichni umovy. Chastyna 4. Zola-vynesennia dlia sumishei, ukriplenykh hidravlichnym viazhuchym (Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 4: Fly ash for hydraulically bound mixtures). Kyiv, 2020. 9 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. DSTU EN 206:2022 (EN 206:2013+A2:2021, IDT) Beton. Spetsyfikatsiia, produktyvnist, vyrobnytstvo ta vidpovidnist (Concrete - Specification, performance, production and conformity). Kyiv, 2022. 103 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. Avallone, F., Jahn, M., Marazzini, O. Sika RCC Dams Handbook. 2019. 51 p. URL: <https://www.sika.com/dam/dms/corporate/l/glo-sika-roller-compacted-concrete-dams-handbook.pdf>.
12. ASTM D1557-12(2021) «Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))». ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. 13 p.
13. Tereshchenko, T., Illiash, S. Methods for testing hydraulically bound mixtures in accordance with the European norms. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny*. 2022, No. 3. P. 36–42 [in Ukrainian].
14. Differentiation of methods for manufacturing the specimens of mixtures based on hydraulic binders. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. 2021. Issue 23. P. 129–138 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.129> [in Ukrainian].

Tatyana Tereshchenko, Ph.D., Sen. Research, <https://orcid.org/0000-0001-7584-9031>

State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

COMPARISON OF RCC AND HBM AND MAIN STANDARDIZATION AND IMPLEMENTATION ISSUES FOR THESE MATERIALS

Abstract

Introduction. The introduction to the paper highlights the advantages of usage and also the relevance of works on standardization for two on the hydraulic binder based materials namely roller-compacted concrete (RCC) and hydraulically bound mixtures (HBM).

Problem statement. The issue of the paper covers the comparison of *RCC* and *HBM* the technology of application of which during constructing of motor roads and objects of the transport logistic envisages the laying by the asphalt pavers and the compaction by the roller thus providing economic effect in comparison with the usage of conventional concretes.

Purpose. The goal of the paper is to perform the comparative analysis for RCC and HBM in particular for in the worldwide practice implemented standard methods for testing these materials to emphasize the major differences between RCC and HBM as the objects of standardization and for drafting main

propositions regarding the direction of following works to provide wider implementation of RCC and HBM for construction of objects of transport infrastructure and logistic.

Results. The principles for standardization of RCC and HBM including meaningful differences in their compositions and specifications relating those materials' project age were analyzed. It was stated that the assignment of RCC to standard concretes assures the resolution of QC tasks with ensuring a design class of material and also provides the abilities to use the specimens scale factors for standard procedures of strength determination and to perform the recalculation of values of strength measured by different methods.

The differentiation between standard methods for mixtures testing was performed and principled differences between compositions were emphasized according to which RCC should be classified by consistency as it was accepted for conventional concretes whereas HBMs in their plastic condition are characterized in general by values accepted for soils.

Also, the comparative analysis for standard methods of specimens manufacturing for RCC and HBM was performed and the main problems of implementations of that materials within the frame of the national Ukrainian standards system was stated.

Conclusions. The difference between compositions of RCC and HBM determines the implementation of different standard methods for testing RCC and HBMs in their plastic condition as methods accepted for two different road materials: concrete mixtures and soils.

Considering high stiffness of RCC-mixtures developing no slump, the test method for consistency measurement for RCC-mixtures was standardized separately from relevant test methods for conventional concretes compacted by the internal vibration.

The standard methods for testing of RCC-mixtures are representative in terms of corresponding technologies of road construction industry; along with this the usage of standard compaction methods with the optimum moisture content measurements for RCC by the analogy with HBM is effective during the construction of structures from mass concrete such as dams and others.

The implementation of methods for testing for RCC-mixtures and also methods for RCC specimens manufacturing as identical to international standards ones in the system of national Ukrainian standards has no alternative. The standardization of RCC will require carrying out the work to verify/confirm the assurance of standard values of the coefficient of variation of compressive strength.

Keywords: consistency, hydraulically bound mixtures, optimum water content, roller-compacted concrete, specimens manufacturing.