

ПЕРЕВІРКА ВІДПОВІДНОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ДОРОЖНІХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Онищенко А.М.¹, Гаркуша М.В.², Чиженко Н.П.³
^{1,2,3}Національний транспортний університет

***Анотація.** Стаття присвячена операційному контролю якості гранулометричного складу дорожніх цементобетонних сумішей для використання на автомобільних дорогах України. Представлено результати експериментальних досліджень, які свідчать про невідповідність запроєктованого зернового складу з фактичними на виробництві, а також впливу на нього низки чинників, що суттєво впливає на якість суміші й довговічність дорожнього цементобетону.*

***Ключові слова:** гранулометричний склад, щебінь, пісок, цементобетон, довговічність.*

Вступ

Дорожні цементобетони, що експлуатуються в агресивних середовищах, можуть руйнуватися, якщо проектувальник чи будівельник не врахув результатів спільної дії інтенсивності руху та збільшення осьових навантажень автомобільного транспорту, фізичних та хімічних чинників.

Однією з причин руйнування дорожніх цементобетонів є низька якість заповнювачів, неправильний вибір гранулометрії, особливо дрібного заповнювача, а також співвідношення між дрібним і крупним заповнювачем, що спричиняє високу пористість мінерального кістяка цементного розчину й бетону. Це збільшує кількість вільної й фізично зв'язаної вологи в бетоні, приводить до посилення масооб'ємних процесів і випару води. Розпушеність верхнього шару й значна капілярна пористість, що виникають у цьому випадку, не тільки полегшують проникнення в глибину бетону агресивних середовищ, але й призводять до значного зношування бетону покриття, що зменшує строк його служби. До цього можна додати неправильний вибір хімічних домішок і необгрунтовано збільшені витрати цементу. Нераціональний вибір застосовуваних хімічних та повітревтягувальних домішок може стати причиною росту кількості вільної вологи, яка не бере участі у структуроутворенні. Одночасно руйнується структура бетону й знижуються його експлуатаційні властивості.

Тому метою роботи є розроблення методики визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей у процесі операційного контролю їх якості.

Аналіз публікацій

Як відомо, чинні нормативні документи України [1–3] з питань цементобетонних те-

хнологій дозволяють розрахувати склад цементобетонної суміші, однак не дозволяють провести контроль відповідності фактичного гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей.

Також існує Європейський досвід з проектування складу суміші заповнювачів для важкого бетону, наведений у стандартах [4–6]. Оскільки ситові криві описують нормативний розподіл часток, фракцій 0,125–40,0 мм, ці стандарти на основі нормативних кривих розподілу часток за розмірами сит указують, у яких межах може змінюватися співвідношення фракцій заповнювача для забезпечення структури бетону, близької до оптимальної за критерієм міцності та рекомендують застосування багатofракційного заповнювача кубоподібної форми.

Результати експериментальних досліджень свідчать про невідповідність запроєктованого зернового складу з реальним на виробництві, а також вплив на нього низки чинників, що суттєво позначається на якість суміші.

З літературного аналізу відомо, що в разі правильно підбраного гранулометричного складу знижується потреба у воді для отримання цементобетонної суміші із заданою рухомістю та отримується необхідна щільність і структура цементобетону, що забезпечує відповідну якість. Отже, оптимізація зернового складу походить з основної вимоги – одержати найменший об'єм міжзернових пор у заповнювачі й таким чином забезпечити необхідну витрату цементу в цементобетоні.

Підвищення довговічності дорожніх бетонів можна досягти підвищенням міцності й щільності бетонів за рахунок удосконалення методів підбору складу [1, 2, 11, 12] і застосування сучасних хімічних і мінеральних

домішок, що дозволяють зменшити водопотребу бетонної суміші. Тим самим забезпечується зниження товщини водної плівки на частках заповнювачів, тобто зменшення вільної й фізично зв'язаної вологи. У той же час основним чинником міцності бетону є кількість заповнювача цементобетонної суміші в одиниці об'єму та його відповідність запроєктованому гранулометричному складі.

Мета й визначення завдання

Метою є розроблення методики перевірки відповідності запроєктованого зернового складу з фактичним на виробництві дорожніх цементобетонних сумішей для операційного контролю їх якості.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз чинних способів підбору складу цементобетонної суміші, провести лабораторні та натурні дослідження з перевірки зернового складу заповнювачів цементобетонної суміші, розробити методику визначення гранулометричного складу дорожніх цементобетонних сумішей.

Способи підбору складу цементобетонної суміші

Розробка методики полягає у створенні операційного контролю якості гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей для використання на автомобільних дорогах України.

Перевірка відповідності – це поєднання рішень і дій, що виконуються згідно з прийнятими заздалегідь правилами визначення відповідності цементобетонної суміші і цементобетону певним вимогам згідно з [7, 8].

Оцінку відповідності виконують стосовно визначених характеристик цементобетонної суміші й цементобетону. Випробування виконують за стандартними методиками відповідно до [9, 10]. Фактичні значення властивостей цементобетону в конструкції можуть відрізнятися від результатів випробувань зразків, наприклад, залежно від розмірів конструкцій, укладання, ущільнення, витримання, умов експлуатації конструкції, але повинні відповідати проектним вимогам [14, 15].

Технічні вимоги до цементобетонів повинні забезпечуватися його виробником у проектному віці, який зазначають у проектній документації згідно з [7, 8].

Компоненти цементобетонної суміші не мають містити будь-які небезпечні речовини, які могли б вплинути на строки служби це-

ментобетону або стати причиною корозії арматури.

Вимоги до заповнювачів до дорожнього цементобетону.

Крупний заповнювач. Для приготування цементобетонних сумішей як крупний заповнювач варто використовувати щебінь з природного каменю, гравій, щебінь з гравію, щебінь із шлаків, а також щебінь з гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залістистих кварцитів згідно з [13, 14].

Найбільша крупність заповнювача для одношарових покриттів автомобільних доріг повинна становити 40 мм, а для верхнього шару двошарових покриттів – 20 мм.

Дрібний заповнювач. Для приготування цементобетонних сумішей для шарів дорожнього покриття як дрібний заповнювач слід використовувати пісок природній, пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід відповідно до [15], що відповідають вимогам [16] за зерновим складом, вмістом пилюватих і глинистих частинок, модулем крупності, показником водопоглинання.

З багаторічної практики матеріалознавства зарубіжжя й України модуль пружності бетонів для дорожнього будівництва повинен становити $37\text{--}42 \cdot 10^3$ МПа (якщо вміст 5–6 % залученого повітря). Натомість модуль пружності гранітного щебеню становить $70\text{--}90 \cdot 10^3$ МПа, а розчину – $15\text{--}26 \cdot 10^3$ МПа. Виходячи з цього, потрібно обмежити кількість крупного заповнювача: 1050–1250 кг для $r = 0,35\text{--}0,43$ і 950–1100 кг для $r = 0,43\text{--}0,48$. Співвідношення між дрібним і крупним заповнювачем (r). Для дрібного піску $M_{кр} \leq 1,8$ $r = 0,35\text{--}0,4$, якщо пісок середньої крупності $M_{кр} = 1,8\text{--}2,1$ $r = 0,38\text{--}0,43$, за умови крупному піску $M_{кр} \geq 2,2$ $r = 0,43\text{--}0,48$.

Відповідно до методики розрахунку складу бетону витрата крупного заповнювача визначається з умов утворення непереривного жорсткого каркасу з оптимальним об'ємним розміщенням зерен крупного заповнювача, унаслідок чого міцність цементобетону за рівних умов збільшується на 15–20 %.

На цей час поширення набули два методи підбору складу цементобетону. Згідно з нормативним методом [1, 2] кількість крупного заповнювача (щебеню) визначається за формулою:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{\kappa_p \cdot V n^{\text{III}}}{\gamma_0^{\text{III}}} + \frac{1}{\gamma^{\text{III}}}}, \quad (1)$$

де k_p – коефіцієнт розсунення; $\gamma_0^{\text{ш}}$ – насипна щільність щебеню, кг/м³; $\gamma^{\text{ш}}$ – дійсна щільність щебеню, кг/м³.

Об'єм розчинної частини визначається за формулою:

$$V_p = k_{\text{ш}} \cdot V_{\text{с}}^{\text{ш}} + (1 - k_{\text{ш}} - V_{\text{с}}), \quad (2)$$

де $V_{\text{с}}$ – вміст повітря в цементобетоні; $V_{\text{с}}^{\text{ш}}$ – пустотність щебеню в ущільненому стані

$$V_{\text{с}}^{\text{ш}} = \frac{\gamma^{\text{ш}} - \gamma_0^{\text{ш}}}{\gamma^{\text{ш}}}. \quad (3)$$

Якщо $V_{\text{с}} = 0$, $V_{\text{с}} = 1000 \text{ л}$, тоді вираз (4) має вигляд $V_p = k_{\text{ш}} \cdot V_{\text{с}}^{\text{ш}} + (1 - k_{\text{ш}})$.

Вміст дрібного заповнювача (піску) визначається за формулою:

$$П = (V_p - \frac{Ц}{\gamma^{\text{п}}} - \frac{B - B_{\text{ш}}}{1000}) \cdot \gamma^{\text{п}}. \quad (4)$$

Визначення співвідношення між дрібним (П) і крупним (Ц) заповнювачем (пісок та щебінь відповідно):

$$r = \frac{П}{Ц + П}. \quad (5)$$

Основний чинник реологічних властивостей цементобетонної суміші – коефіцієнт розсунення зерен щебеню. Використання коефіцієнта розсунення зерен щебеню (k_p) наперед визначено кількістю статично-пустотного крупного заповнювача (Ц) (щебеню) і об'ємом в'язучого (цементний камінь).

«Оптимальність структури» підбору складу цементобетонної суміші повинні визначатися не тільки мінімальною пористістю суміші дрібного та крупного заповнювачів (піску та щебеню) і об'ємом в'язучого, але й необхідними технологічними властивостями, економічною доцільністю.

Правильний підбір складу (упаковки) бетонної суміші, а також структура, в'язкість хімічної домішки дозволяють розподілити бульбашки повітря (газу) в розчинній частині бетонної суміші й укладеного цементобетону та зводить до мінімуму розподіл бульбашок повітря біля крупного заповнювача, тобто зменшується структура дефектів. Зменшення

структури дефектів приводить до збільшення міцності на розтяг під час згину, морозостійкості й водонепроникливості, зменшення капілярної пористості $\leq 1,5 \%$ [17].

Визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей

Запропонований метод аналізу гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей складається з таких операцій [18]:

– визначення кількості крупного заповнювача;

– визначення кількості дрібного заповнювача (піску).

Метод передбачає відділення від цементобетонної суміші крупного заповнювача та дрібного заповнювача, і розкладання на складові частини (фракції) у зазначеній послідовності (ситовий метод).

Визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей дозволяє забезпечити відносну точність до 10 %.

Відбір проби для аналізу

Проби цементобетонної суміші для випробування під час операційного контролю слід відбирати:

– на місці приготування цементобетонної суміші в разі навантажування в транспортну ємкість;

– на місці укладання цементобетонної суміші.

Проба цементобетонної суміші повинна найбільш точно відтворювати склад цементобетону в даній частині конструкції. Для цього відбирається по дві проби в трьох різних точках на одну захватку.

Залежності від максимальної крупності заповнювачів цементобетону, розмірів конструктивного елемента та інших чинників маса кожної точкової проби може змінюватися від 5 до 10 кг.

3 точкових проб утворюють об'єднану пробу, яка характеризує партію, що контролюється.

Маса об'єднаної проби під час операційного контролю цементобетонної суміші повинна бути не менше ніж зазначена в табл. 1.

У відборі проб можливе застосування суміші після контролю рухомості бетонної суміші згідно з [19].

Випробування цементобетонної суміші повинно починатися не пізніше ніж через 2 год після відбирання проби.

Таблиця 1 – Маса об'єднаної проби матеріалу залежно від найбільшого розміру зерен заповнювача

Найбільший розмір зерен D, мм	Маса проби, кг
10	5,0
20	10,0
40	20,0
80	40,0

Проведення випробування. Засоби контролю та допоміжне обладнання

Набір сит з вічками потрібного розміру згідно з [20]. Ваги лабораторні 4-го класу точності відповідно до [21], що забезпечують похибку зважування $\pm 0,1$ г. Сушильна шафа, яка забезпечує нагрів до температури $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ та підтримку заданої температури протягом потрібного часу з похибкою $\pm 5^\circ\text{C}$. Чашка фарфорова діаметром від 15 до 25 см згідно з [22]. Товкачик з гумовим наконечником. Посудина місткістю від 6 до 10 л. Вода відповідно до [23].

Проведення випробування й оброблення результатів

З об'єднаної проби цементобетонної суміші відбирається дві досліджувані проби кожна об'ємом:

1 дм^3 – для цементобетонної суміші із найбільшим розміром зерен до 20 мм;

3 дм^3 – для цементобетонної суміші із найбільшим розміром зерен до 80 мм.

Цементобетонну суміш зважують у мірному металевому циліндрі, потім висипають у фарфорову чашку (можливе застосування металеві чаші), заливають невеликою кількістю води (8–10 %) від маси суміші й розтирають товкачиком з гумовим наконечником протягом від 2 до 3 хв.

Відділяють заповнювачі від цементного в'язучого за рахунок промивання цементобетонної суміші водою.

Воду із завислими в ній частками зливають крізь сито із сіткою № 0071, яке встановлене над посудиною місткістю від 6 до 10 л. Частки, які залишилися в чашці, знову заливають чистою водою, розтирають і воду знову зливають.

Промивання та розтирання мінерального матеріалу безпосередньо на ситі із сіткою № 0071 не допускаються.

Послідовне розтирання часток і зливання каламутної води продовжують доти, поки вода не буде прозорою. Після закінчення промивання частки мінерального матеріалу більше ніж 0,071 мм, які залишилися на ситі,

переносять у фарфорову чашку. Воду, що залишилася в чашці, обережно зливають, після чого чашку ставлять у сушильну шафу для висушування мінерального матеріалу (крупного та дрібного заповнювача) до постійної маси за температури $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Маса вважається постійною, коли різниця між двома послідовними зважуваннями з інтервалом 1 год не буде перевищувати 0,1 % від маси наважки.

Під час випробування можливе застосування експрес-висушування заповнювачів. Після злиття води з чашки її ставлять у сушильну шафу для висушування мінерального матеріалу (крупного та дрібного заповнювача) до постійної маси за температури $(145 \pm 5)^\circ\text{C}$. Маса вважається постійною, коли різниця між двома послідовними зважуваннями з інтервалом 1 год не буде перевищувати 0,1 % від маси наважки [3, 24].

Після проведення висушування виконується визначення складових заповнювачів для виявлення відповідності запроєктованому складу з урахуванням допустимих відхилень згідно з [25, 28].

Висушені проби мінерального матеріалу об'єднують та проводять просіювання ручним або механічним способами через набір сит відповідно до [25, 26].

За результатами просіювання визначають частковий залишок на кожному ситі a_i за формулою:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де m_i – маса залишку на даному ситі, г; m – маса проби, г.

Визначають повні залишки на кожному ситі у відсотках від маси проби, що дорівнюють сумі часткових залишків на даному ситі та всіх ситах з великими розмірами отворів.

Перед завершенням просіювання для перевірки кожне сито вручну інтенсивно струшують протягом (60 ± 5) с над аркушем папера. Просіювання вважають завершеним за таких умов:

– якщо на папері не буде часток, які пройшли крізь сито з отворами розміром 2,5 мм та більше;

– якщо маса часток, які пройшли крізь сито з отворами розміром 1,25 та 0,63 мм не перевищують 0,05 г, а які пройшли крізь сито з отворами розміром 0,071 мм – 0,02 г.

Частки, що пройшли крізь сито, додаються до часток, які пройшли крізь сита з мен-

шим розміром отворів. Залишок на кожному ситі зважують і визначають частинні залишки на ситах у відсотках щодо маси наважки, яка просівалася, округлені до першого десятикового знака.

Вміст зерен розміром менше ніж 0,071 мм у відсотках визначають як різницю між 100 % та повними залишками на ситі 0,071 мм.

За результат випробування приймають середнє арифметичне двох паралельних випробувань.

Розбіжність між результатами паралельних випробувань на одному ситі не повинна перевищувати 2 % від загальної маси наважки. Масова доля втрат матеріалу під час розсіву не повинна перевищувати 2 % від взятої наважки.

Місце відбирання проб для виготовлення зразків необхідно вибирати так, щоб виключити вплив на склад і властивості цементобетонної суміші місця відбирання проб і умов доставки [1].

Зерновий склад піску визначають згідно з [27], який повинен відповідати вимогам [2, 16] та рис. 1. Вміст зерен розміром від 5,0 до 10,0 мм у всіх видах пісків може становити до 5 % за масою, зерен більше ніж 10 мм до 0,5 % за масою.

Зерновий склад щебеню та щебеню із гравію характеризується:

- найбільшим (D) та найменшим (d) номінальними розмірами зерен фракцій або сумішей фракцій, мм;
- величиною повних залишків на контрольних ситах.

Вміст окремих фракцій у крупному заповнювачі в складі цементобетону повинен відповідати зазначеному в табл. 2, згідно з [2, 6].

Значення повних залишків на контрольних ситах має відповідати вимогам [28] та рис. 2. У щебені фракцій від 5 до 10 мм, від 10 до 20 мм, від 20 до 40 мм і суміші фракцій від 5 до 20 мм, від 5 до 40 мм, від 10 до 40 мм і від 20 до 70 (80) мм допускається вміст зерен розміром більше ніж D і менше ніж d до 20 % за масою щебеню. Вміст у щебені зерен розміром менше за 0,5d не повинен бути більше ніж 10 % за масою згідно з [25]. Щебінь, який поставляється у вигляді суміші фракцій з розміром зерен від 5 до 20 мм, від 5 (10) до 40 мм, повинен мати значення повних залишків на контрольних ситах 0,5 (d+D) від 30 до 80 %; для суміші фракцій з розміром зерен від 20 до 70 (80) мм значення повних залишків на контрольних ситах 0,5 (d+D) від 30 до 70 %.

Таблиця 2 – Вміст фракцій в крупному заповнювачі

Найбільша крупність заповнювача, мм	Вміст фракцій в крупному заповнювачі, %			
	від 5 до 10 мм	понад 10 до 20 мм	понад 20 до 40 мм	понад 40 до 80 мм
10	100	-	-	-
20	25–40	60–76	-	-
40	12–25	20–35	40–65	-
70 (80)	10–20	15–25	20–35	35–55

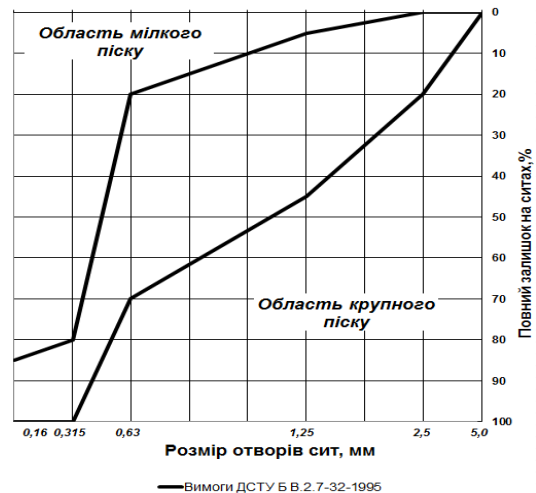


Рис. 1. Зерновий склад піску

Щебінь і гравій не повинні мати зерен розміром:

- понад 1,25D – у фракції та сумішах фракцій від 40 до 70 (80) мм;
- понад 1,5 D – у фракціях та сумішах фракцій від 20 до 70 (80) мм, від 20 до 40 мм і від 5(10) до 40 мм;
- понад 2D – у фракціях від 10 до 20 мм, від 5 до 20 мм і від 5 до 10 мм.

Максимальний розмір зерен піщаних сумішей не повинен перевищувати 10 мм (2D). У разі невідповідності зернового складу [25] та [28] суміші цементобетонні дорожні до використання не допускаються.

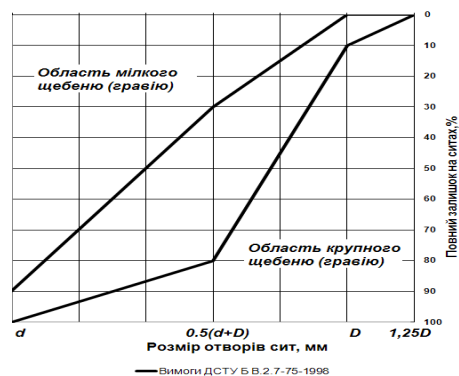


Рис. 2. Зерновий склад щебеню (гравію)

Експериментальні дослідження

Лабораторні та натурні дослідження з перевірки зернового складу заповнювачів цементобетонної суміші проводилися на провідних підприємствах будівельної індустрії України. Етапи проведення експериментальних досліджень зображено на рис. 3–6.



Рис. 3. Відбір проби

Результати випробувань наведено на рис. 7–15.



Рис. 4. Проведення зважування відібраної проби для визначення щільності



Рис. 5. Промивання цементобетонної суміші



Рис. 6. Вид суміші після промиву

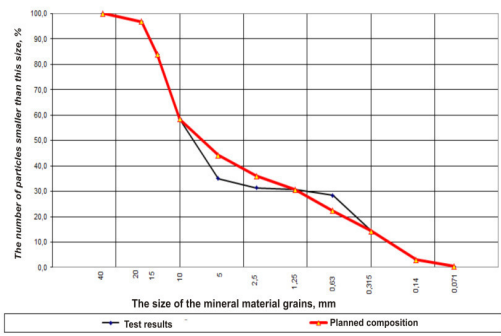


Рис. 7. Результати випробування суміші за умови температури $+5^{\circ}\text{C}$ (відразу після приготування) В30 Р3 F200 W2



Рис. 8. Результати випробування суміші за умови температури $+5^{\circ}\text{C}$ (45 хв після приготування) В30 Р3 F200 W2

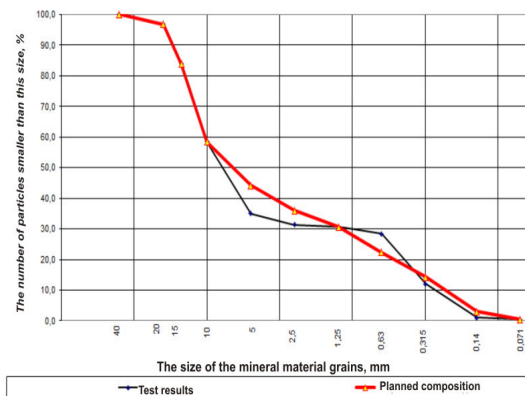


Рис. 9. Результати випробування суміші за умови температури $+5^{\circ}\text{C}$ (2 год після приготування) В30 Р3 F200 W2



Рис. 10. Результати випробування суміші за умови температури $+20^{\circ}\text{C}$ (відразу після приготування) В30 Р3 F200 W2

Оцінку відповідності виконують щодо визначених характеристик бетонної суміші й цементобетону. Випробування проводять за стандартними методиками. Результати випробувань відповідності гранулометричного складу фактичному наведено на рис. 7–15.

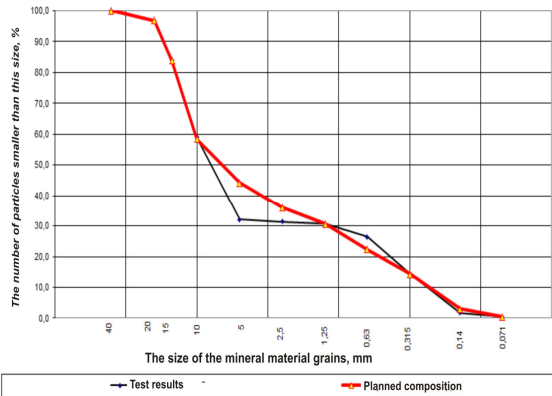


Рис. 11. Результати випробування суміші за умови температури +20 °С (45 хв після приготування) В30 Р3 F200 W2

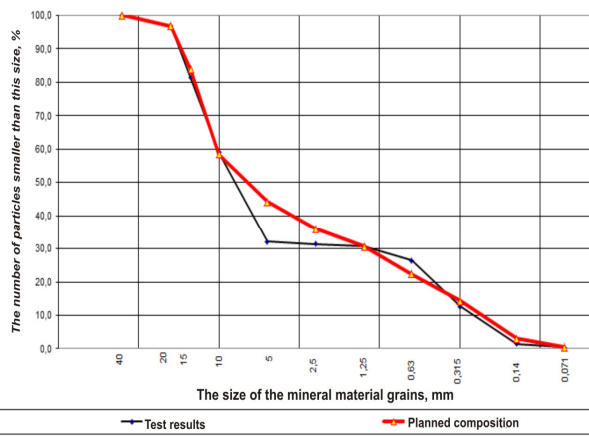


Рис. 12. Результати випробування суміші за умови температури +20 °С (2 год після приготування) В30 Р3 F200 W2

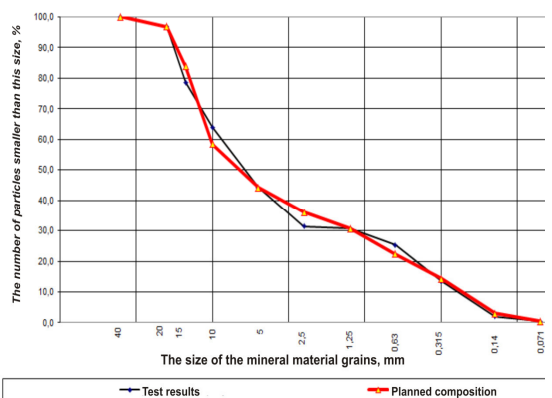


Рис. 13. Результати випробування суміші за умови температури +35 °С (відразу після приготування) В30 Р3 F200 W2

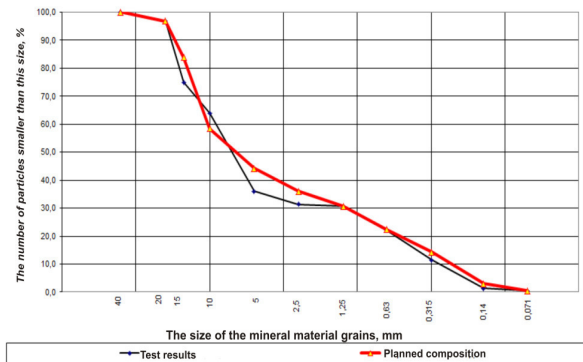


Рис. 14. Результати випробування суміші за умови температури +35 °С (45 хв після приготування) В30 Р3 F200 W2

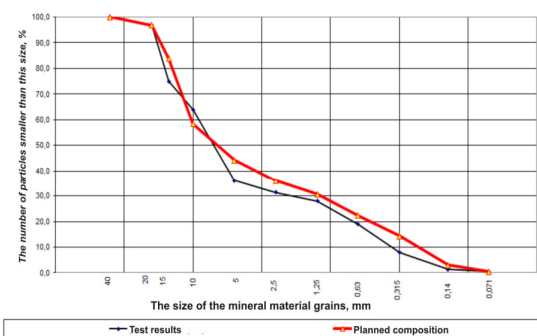


Рис. 15. Результати випробування суміші за умови температури +35 °С (2 год після приготування) В30 Р3 F200 W2

Результати експериментальних досліджень (рис. 7–15) свідчать, що запроєктований зерновий склад не відповідає фактичному, який використовується на виробництві, а також про вплив на нього низки чинників, таких як температура і час проведення випробування, що суттєво впливає на якість суміші.

У разі невідповідності цементобетонної суміші було проведено роботу з коригування складу та технології її виготовлення, що передбачало виконання таких операцій:

- проведення повторних випробувань складу суміші;
- реєстрація невідповідності складу суміші;
- коригування суміші бетонної із заданим складом;
- коригування суміші бетонної із заданою якістю;
- перевірка та коригування технологічних параметрів виробництва цементобетонної суміші;
- проведення повторних випробувань складу суміші.

Висновки

На основі проведених досліджень розроблена методика [29], яка призначена для визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей у процесі операційного контролю їх якості. Результати експериментальних досліджень перевірки розробленої методики свідчать, що не завжди запроєктований зерновий склад відповідає реальному на виробництві, а також про вплив на нього низки чинників, таких як температура, час проведення випробування, що суттєво впливає на якість суміші. Застосування розробленої методики доцільно здійснювати за умови науково-технічного супроводу проектування, будівництва та ремонту дорожніх одягів жорстких.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу.
2. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 Настанова щодо визначення складу важкого бетону.
3. Дворкин Л.И., Мішутін А.В., Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. 215 с.
4. DIN 1045-1 (2001): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Konstruktion.
5. DIN 1045-2 (2001): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 Beton.
6. DIN EN 206-1 (2000): Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.
7. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво.
8. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування.
9. ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови.
10. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови.
11. Гоц В.І., Павлюк В.В., Шилюк П.С. Бетони і будівельні розчини: підручник / Київ: нац. ун-т буд-ва і архітектури. Вид. 2-ге, допов. і перероб. Київ: Основа, 2016. 567 с.
12. Дворкин Л.И. Оптимальное проектирование составов бетона. Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском университете, 1981. 160 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
14. ДСТУ Б В.2.7-34-2001 Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірнично-збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови.
15. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови.
16. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
17. Шургая А.Г., Чиженко Н.П. Высокопрочный бетон в дорожном строительстве (теоретические аспекты) // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науково-технічний збірник. Київ: НТУ, 2016. Вип. 96. С. 43–49.
18. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Оцінка відповідності гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей», № 81519 від 14.09.2018 р. (Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П.).
19. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000) Суміші бетонні. Методи випробувань.
20. ДСТУ ISO 3310-1:2017 (ISO 3310-1:2016, IDT) Сита. Технічні вимоги та випробування. Частина 1. Сита лабораторні з металевого дроту.
21. ДСТУ EN 45501:2016 (EN 45501:2015, IDT) Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів
22. ГОСТ 9147-80 Посуда и оборудование лабораторные фарфоровые. Технические условия.
23. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79, MOD) Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови.
24. Методические рекомендации по определению первоначального состава бетона. Москва: НИИЖБ Госстроя СССР, 1983. 22 с.
25. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
26. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97) Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.
27. ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.
28. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.
29. М 42.1-37641918-772:2018 МЕТОДИКА визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей.

References

1. DSTU B V.2.7-215:2009 Construction Materials. Concrete. Composition Selection Rules.
2. DSTU-N B V.2.7-299:2013 The Guide to Analysis of the Composition of Heavy Concrete.
3. Dvorkin L.Y., Mishutin A.V. (2012) Hidrotekhnichni ta dorozhni betony [Hydrotechnical and road concrete], Zovnishreklamservis, Odessa, Ukraine, 215 p.

4. DIN 1045-1 (2001): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Konstruktion.
5. DIN 1045-2 (2001): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 Beton.
6. DIN EN 206-1 (2000): Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.
7. DBN V.2.3-4:2015 Motor-roads. Part 1. Designing. Part 2. Construction.
8. GBN V.2.3-37641918-557:2016 Motor-roads. Rigid Pavement. Design.
9. DSTU B V.2.7-43-96 Construction Materials. Heavy Concrete. Specifications.
10. DSTU B V.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) Construction Materials. Concrete Mixtures and Concrete. General Specifications.
11. Gots V.I., Pavliuk V.V., Shyliuk P.S. (2016) Betony i budivelni rozchyny [Concrete and Mortars], a textbook, 2nd ed. enlarged and corrected, The Kyiv National University of Construction and Architecture, Osnova, Kyiv, Ukraine, 567 p.
12. Dvorkin L.I. (1981) Optymalnoe proektyrovanye sostavov betona [Optimal Design of Concrete Compositions], Vyshcha shkola, Lviv University Publishing House, Lviv, Ukraine, 160 p.
13. DSTU B V.2.7-75-98 Dense Natural Crushed Stone and Gravel for Construction Materials, Products, Structures, and Works. Specifications.
14. DSTU B V.2.7-34-2001 Crushed Stone for Construction Works from Rocky Formations and Waste of Dry Magnetic Dressing of Ferruginous Quartzites of Mining and Refining Plants and Mines in Ukraine. Specifications.
15. DSTU B V.2.7-210:2010 Sand from the Sifting of Fragmentation of Igneous Rocks for Construction Works. Specifications.
16. DSTU B V.2.7-32-95 Dense Natural Sand for Construction Materials, Products, Structures, and Works. Specifications.
17. Shurhaia A.H., Chyzhenko N.P. (2016) High-Strength Concrete in Road Construction (Theoretical Aspects), Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, № 96, NTU, Kyiv, Ukraine, P. 43–49.
18. Certificate № 81519 of Registration of the Copyright to the Assessment of Conformity of Grain-Size Composition of Cement-Concrete Road Mixtures paper from September 14, 2018 (Onyshchenko A.M., Garkusha M.V., Chyzhenko N.P).
19. DSTU B V.2.7-114-2002 (GOST 10181-2000) Concrete Mixtures. Methods of Testing.
20. DSTU ISO 3310-1:2017 (ISO 3310-1:2016, IDT) Sieves. Technical Requirements and Tests. Part 1. Laboratory Sieves Made of Metal Wire.
21. DSTU EN 45501:2016 (EN 45501:2015, IDT) Metrological Aspects of Non-automatic Weighing Devices.
22. GOST 9147-80 Laboratory Porcelain Utensils and Equipment. Specifications.
23. DSTU B V.2.7-273:2011 (GOST 23732-79, MOD) Water for Concrete and Mortars. Specifications.
24. Methodological Recommendations for Determining the Initial Composition of Concrete, NIIZhB Gosstroya USSR, 1983, Moscow, Russia, 22 p.
25. DSTU B V.2.7-32-95 Construction Materials. Dense Natural Sand for Construction Materials, Products, Structures, and Works. Specifications.
26. DSTU B V.2.7-71-98 (GOST 8269.0-97) Construction Materials. Crushed Stone and Gravel from Dense Rocks and Industrial Waste for Construction Work. Methods of Physical and Mechanical Tests.
27. DSTU B V.2.7-232:2010 Construction Materials. Sand for Construction Work. Methods of Testing.
28. DSTU B V.2.7-75-98 Construction Materials. Dense Natural Crushed Stone and Gravel for Construction Materials, Products, Structures, and Works. Specifications.
29. М 42.1-37641918-772:2018 THE METHOD of Grain-Size Analysis of Cement-Concrete Road Mixtures.

Онищенко Артур Миколайович¹, д.т.н., проф. каф. дорожно-будівельних матеріалів і хімії, artur_onish@bigmir.net, тел. +38068-777-18-99,
Гаркуша Микола Васильович², асист. каф. дорожно-будівельних матеріалів і хімії, nicolas89@bigmir.net, тел. +38096-628-79-05,
Чиженко Наталія Петрівна³, асист. каф. дорожно-будівельних матеріалів і хімії, chyzhenko_np@ukr.net, тел. +38050-735-50-80,
^{1,2,3}Національний транспортний університет, 01103, Україна, м. Київ, вул. Бойчука, 42, к. 107.

Проверка соответствия гранулометрического состава дорожных цементобетонных смесей

Аннотация. *Статья посвящена операционному контролю качества гранулометрического состава дорожных цементобетонных смесей для использования на автомобильных дорогах Украины. Представлены результаты экспериментальных исследований, которые свидетельствуют о несоответствии запроектированного зернового состава с фактическим на производстве, а также влияния на него ряда факторов, которые существенно влияют на качество смеси и долговечность дорожного цементобетона.*

Ключевые слова: *гранулометрический состав, щебень, песок, цементобетон, долговечность.*

Онищенко Артур Николаевич¹, д.т.н., проф. каф. дорожно-строительных материалов и химии, artur_onish@bigmir.net, тел. + 38068-777-18-99,
Гаркуша Николай Васильевич², ассистент каф. дорожно-строительных материалов и химии, nicolas89@bigmir.net, тел. + 38096-628-79-05,

Чиженко Наталия Петровна³, ассистент каф. дорожно-строительных материалов и химии, chyzhenko_np@ukr.net, тел. +38050-735-50-80,
¹²³Национальный транспортный университет, 01103, Украина, г. Киев, ул. Бойчука, 42, к. 107.

Checking the conformity of the grain-size composition of road cement concrete mixtures

Abstract. Problem. The article is devoted to operational quality control of grain-size composition of road cement-concrete mixtures for use on highways of Ukraine. The results of the experimental research are presented, which testify to the non-conformity of the planned grain composition to the actual production composition, as well as the influence on it of a number of factors that significantly affect the quality of the mixture and the durability of cement concrete.

Object of the study is grain-size composition of road cement-concrete mixtures. **Purpose of the study** is to develop a method for verifying the design of the grain composition with the real one on the production of road cement-concrete mixtures for operational control of their quality. **Methodology** is statistical analysis of scientific publications, technical, regulatory literature and experimental. On the basis of the research conducted, a method was developed, intended to analyze the grain-size composition of cement-concrete road mixtures under the operational control of their quality. The suggested method of grain-size analysis of cement-concrete road mixtures includes

the following operations: determination of the amount of a coarse aggregate (crushed stone) and a fine aggregate (sand). The method involves the separation from the cement-concrete mixture of a coarse aggregate and a fine aggregate, and the decomposition (in fractions) in the specified sequence (sieve method). **Results.** On the basis of the research conducted, a method was developed, intended to analyze the grain-size composition of road cement-concrete mixtures.

Key words: grain-size composition, crushed stone, sand, cement concrete, durability.

Onyshchenko Artur¹, professor, Doct. of Technical Sciences, Department of Road Construction Materials and Chemistry, e-mail: artur_onish@bigmir.net, tel. +38068-777-18-99,

Garkusha Nikolay², assistant of the Department of Road Construction Materials and Chemistry, e-mail: nicolas89@bigmir.net, tel. +38096-628-79-05, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuk str. 42, of 107, orcid.org/0000-0002-5388-0561.

Chyzhenko Natalia³, assistant of the Department of Road Construction Materials and Chemistry, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, tel. +38050-735-50-80,
¹²³National Transport University, 42, Boychuk str., Kyiv, 01103, Ukraine, room 107.