

УДК 625.8

## ЦЕМЕНТООРГАНОБЕТОННІ СУМІШІ – ЕФЕКТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

Нагайчук В. М., канд. техн. наук

Вирожемський В. К., канд. техн. наук

Кіщинський С. В., начальник центру

Копинець І. В., завідувач відділу

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

---

### Вступ

Асфальтобетон і цементобетон є різновидностями штучних конгломератних матеріалів, в яких частинки піщанощебеневої суміші омонолічено за рахунок органічного або неорганічного в'язучого матеріалу.

Одним із основних недоліків асфальтобетону є його відносно невисока міцність та її тісна залежність від температури.

Термопластичні властивості бітуму (тобто здатність розм'якшуватись при підвищених температурах та ставати твердим і крихким при низьких) обумовлюють виникнення на асфальтобетонних покриттях влітку колій, а взимку – низькотемпературних тріщин. Відсутність еластичності у бітумі та мала його міцність призводять до утворення з часом так званих «втомних» тріщин. Ці особливості обумовлюють значно менший строк служби асфальтобетонних покриттів в порівнянні з цементобетонними.

Цементобетон має інші недоліки. До них належать: тривалий строк формування покриттів, складність виконання ремонтних робіт, необхідність нарізання швів для попередження хаотичного розтріскування цементобетону внаслідок низькотемпературного стискання.

Велика пористість цементного бетону суттєво впливає на його морозостійкість, водопроникнення і корозійну стійкість в агресивних середовищах. Таким чином, висока пористість, а відповідно і недостатнє водонепроникнення цементного бетону є ще однією з vad такого матеріалу.

Загальновідомо, що перевести бітум у воднодисперсний стан можна не лише за рахунок емульгаторів – поверхнево-активних речовин, але і шляхом використання порошкоподібних матеріалів. Саме такий спосіб диспергування бітуму застосовується при виробництві бітумних паст.

Принцип диспергування бітуму за допомогою твердих емульгаторів був використаний в технології приготування вологих органо-мінеральних сумішей (ВОМС).

У ВОМС цемент використовується лише як емульгатор і активатор поверхні піщано-щебених частинок в кількості не більше 3%. При такій його кількості він не має змоги створити в суміші стінки цементного каменю, бо знаходиться у вигляді розрізнених зерен, а тому і не може проявляти свої в'язучі властивості.

Високий ефект від введення в суміш цементу спостерігається, якщо його кількість перевищує 3%. Саме при такій його кількості створюються сприятливі умови для безпосереднього контакту продуктів гідратації окремих зерен, їх зрощення і утворення цементного каменю. Саме при наявності такого його вмісту в цементаорганомінеральних

сумішах він буде виконувати не лише функцію емульгатора і активатора, але і роль гідралічного в'язучого матеріалу, а також мінерального порошку.

Зважаючи на перспективність цього напрямку, було проведено дослідження з розробки технології приготування та застосування цементоорганічних бетонних сумішей (далі ЦОБС), які б поєднували переваги цементобетону та бетону на органічних в'язучих (бітумі, гудроні, бітумних емульсіях тощо). Головними завданнями дослідження були:

- розробка складу ЦОБС, що включає: підбір гранулометричного складу мінеральних зерен, визначення потрібної кількості цементу та води, марки та необхідної кількості бітуму, гудрону або бітумної емульсії;
- розробка технології приготування та застосування ЦОБС;
- встановлення вимог до фізико-технічних характеристик ЦОБС.

### Основна частина

При проведенні досліджень для приготування ЦОБС використовувались матеріали, що задовольняють вимоги відповідних стандартів:

- щебінь фракції (5 - 10) мм згідно ДСТУ Б В.2.7-75;
- пісок із відсівів подрібнення гірських порід фракції (0-5) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-32;
- вода згідно з ДСТУ 7525;
- портландцемент марки 500 згідно з ДСТУ Б В.2.7-46;
- органічні в'язучі: бітум нафтовий дорожній в'язкий, марки БНД 60/90 згідно ДСТУ 4044, що розріджений дизельним паливом до penetрації 325·0,1 мм за температури 25 °С; сировина для виробництва бітуму (гудрон); середньогустіючий рідкий бітум марки СГ 70/130 згідно ГОСТ 11955 та катіонна повільнорозпадна бітумна емульсія марки ЕКП-60 згідно ДСТУ Б В.2.7-129.

Гранулометричний склад мінеральної частини ЦОБС відповідає вимогам чинного стандарту на асфальтобетонні суміші ДСТУ Б В.2.7-119.

Важливим питанням є забезпечення такої в'язкості органічного в'язучого, що дозволяє якісно і без значних зусиль виконувати його перемішування з сумішшю мінеральних матеріалів за температури, нижчої ніж 100 °С, тобто температуру, за якої вода, що вводиться в суміш для гідратації цементу, починає кипіти.

Дослідним шляхом було встановлено, що цим вимогам відповідає органічне в'язуче, яке за температури приготування ЦОБС має умовну в'язкість не більше 120 с. Відповідно до методів випробувань умовна в'язкість визначається періодом часу, впродовж якого 50 мл в'язучого витікає з циліндру дорожнього (дьюгтевого) віскозиметру через стічний отвір діаметром 5 мм.

Температура приготування ЦОБС підбиралась таким чином, щоб умовна в'язкість органічного в'язучого не перевищувала 120 °С.

Дослідження показали, що досягти потрібної в'язкості в заданому діапазоні температур може розріджений бітум з penetрацією за температури 25 °С від 300·0,1 мм до 400·0,1 мм за температури (80 – 90) °С; повільно, - та середньогустіючі рідкі бітуми за температури (70 – 80) °С; повільнорозпадні катіонні бітумні емульсії – від 10 °С до 60 °С; сировина для виробництва бітуму (гудрон) за температури (65 – 75) °С.

Найбільш ефективно використання позитивних властивостей цементу і органічних в'язучих досягається при такій послідовності введення в змішувач складових компонентів ЦОБС: піщано-щебенева суміш, цемент, вода, органічне в'язуче.

## МАТЕРІАЛИ

Завдяки вказаній послідовності введення в суміш складових її компонентів забезпечується необхідні умови для гідратації цементу і виділення з нього вапна, яке активує поверхню зерен піщано-щебеневої суміші, що сприяє поліпшенню прилипання до них органічного в'язучого, а відповідно і підвищенню якості цементно-органічних бетонних сумішей. Приготування зразків ЦОБС здійснюють згідно стандарту ДСТУ Б В.2.7-89.

Було проведено дослідження впливу вмісту цементу та в'язкого розрідженого бітуму на властивості ЦОБС. Вміст цементу в сумішах змінювався від 5 % до 15 %, розрідженого в'язкого бітуму від 4 % до 5 %. Вміст води становив 5 %.

Результати випробувань ЦОБС, що вміщують в'язкий розріджений бітум з пенетрацією при 25°C 325·0,1 мм наведено в табл. 1.

**Таблиця 1** – Вплив співвідношення цементу та в'язкого розрідженого бітуму на властивості ЦОБС

Назва показників	Значення в залежності витрат цементу/бітуму, %				
	5,0/4,0	7,5/4,25	10,0/4,5	12,5/4,75	15,0/5,0
Об'ємна густина, г/см <sup>3</sup>	2,25/2,24	2,27/2,26	2,29/2,27	2,30/2,28	2,30/2,29
Водонасичення, %	9,6/10,2	6,9/8,2	5,9/8,6	5,8/8,0	5,7/8,0
Набрякання, %	0,6/0,7	0,7/0,6	0,6/0,8	0,5/0,7	0,5/0,6
Границя міцності при стиску, МПа:					
- при 20 °С	0,9/3,3	3,6/4,0	3,8/4,2	4,2/4,4	4,6/4,7
- при 50 °С	2,6/2,8	2,9/3,2	3,1/3,3	4,1/4,4	4,3/4,5
- після водонасичення при 20 °С	2,8/3,1	3,0/3,4	3,1/3,8	3,9/4,2	4,2/4,4
<b>Примітка.</b> В чисельнику надано значення показників якості зразків ЦОБС після 7 діб, а у знаменнику – після 30 діб зберігання					

Дані, які наведено в табл. 1 вказують на те, що у випадку використання для приготування ЦОБС бітуму збільшення витрат цементу більше 10 % є недоцільним, бо це не дає значного покращання якості таких сумішей. Зокрема показники водонасичення і набрякання зразків таких сумішей мають таку ж величину, як у суміші з вмістом цементу 10 %.

Висока водостійкість і теплостійкість ЦОБС досягається в усьому діапазоні співвідношень між цементом і бітумом. Так, наприклад, різниця коефіцієнта водостійкості між зразками сумішей із співвідношенням між цементом і бітумом 3,0 і 1,25 становить менше 0,02.

Різниця в міцності зразків після 30 і 7 добового їх зберігання становить не більше 15 %, що свідчить про те, що переважна більшість процесів структуроутворення цементобітумного бетону завершується уже в перші 7 діб його зберігання.

Результати випробування ЦОБС з використанням рідкого бітуму СГ 70/130 наведено в табл. 2.

## МАТЕРІАЛИ

**Таблиця 2** – Властивості ЦОБС при різному співвідношенні цементу та рідкого бітуму СГ 70/130

Назва показників	Значення в залежності витрат цементу/рідкого бітуму, %				
	5,0/4,0	7,5/4,25	10,0/4,5	12,5/4,75	15,0/5,0
Об'ємна густина, г/см <sup>3</sup>	2,25/2,23	2,26/2,25	2,29/2,28	2,30/2,28	2,30/2,28
Водонасичення, %	7,8/10,6	6,9/8,9	7,1/7,8	7,0/7,9	7,2/8,0
Набрякання, %	0,4/0,5	0,5/0,4	0,4/0,4	0,6/0,5	0,5/0,5
Границя міцності при стиску, МПа:					
- при 20 °С	2,7/4,1	2,9/4,7	3,6/5,1	4,5/5,7	5,1/6,5
- при 50 °С	2,6/3,2	2,7/4,0	3,2/4,3	3,9/4,8	4,9/5,5
- після водонасичення при 20 °С	2,4/3,2	2,5/3,6	3,1/4,0	4,3/4,6	4,5/4,8
<b>Примітка.</b> В чисельнику надано властивості зразків 7 добового, а в знаменнику – 30 добового зберігання					

За даними табл. 2 міцність зразків ЦОБС, приготовлених з використанням рідкого бітуму марки СГ 70/130, дещо нижча, ніж у зразків сумішей, приготовлених з використанням в'язкого розрідженого бітуму. Можна припустити, що це пов'язано з тим, що когезія бітуму марки СГ 70/130, який кольматує пори зразків сумішей, значно менше від когезії в'язкого розрідженого бітуму. Але після 30 діб зберігання міцність зразків таких сумішей не лише не поступається міцності зразків сумішей, приготовлених з використанням в'язкого бітуму, але навіть дещо перевищує їх, що напевно є наслідком часткового випаровування легких складових компонентів такого бітуму та дещо кращим його прилипанням до поверхні мінеральних зерен сумішей.

Показники насичення та набрякання зразків ЦОБС, приготовлених з використанням рідкого бітуму марки СГ 70/130, майже не відрізняється від аналогічних показників зразків сумішей, приготовлених з використанням в'язкого розрідженого бітуму, що свідчить про те, що відкрита пористість такого гранулометричного складу сумішей майже не залежить від виду і марки бітуму, який використовується для їх приготування.

Були виконані дослідження зразків ЦОБС з різними співвідношеннями цементу та гудрону. Результати випробувань наведено в табл. 3.

**Таблиця 3** – Властивості ЦОБС, з різними співвідношеннями цементу та гудрону

Назва показників	Значення в залежності витрат цементу/гудрону, %						
	0/5	3/5	4/4	5/3	6/2	7/1	8/0
1	2	3	4	5	6	7	8
Об'ємна густина, г/см <sup>3</sup>	2,27/2,26	2,28/2,27	2,28/2,25	2,27/2,24	2,26/2,24	2,25/2,23	2,23/2,22
Водонасичення, %	8,7/9,5	7,1/8,2	8,8/9,5	10,5/12,1	11,4/12,4	12,8/13,0	13,9/14,7
Набрякання, %	1,0/1,0	0,8/0,8	0,6/0,6	0,8/0,9	1,1/1,1	1,4/1,5	1,5/1,5

## МАТЕРІАЛИ

Кінець табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Границя міцності при стиску, МПа:							
- при 20 °С	1,0/1,2	2,7/3,5	3,1/4,3	4,0/4,8	4,9/5,3	6,5/7,0	8,2/8,5
- при 50 °С	0,7/0,9	2,6/2,9	3,0/3,9	3,9/4,5	4,7/4,9	6,5/6,9	8,4/8,5
- після водонасичення при 20 °С	0,8/0,9	2,3/3,0	3,0/3,6	3,6/4,1	4,3/4,7	6,0/6,6	7,8/8,3
<b>Примітка.</b> В чисельнику подано властивості зразків після 7 добового, а в знаменнику після 30 добового їх зберігання							

Наведені в табл. 3 результати вказують на те, що по мірі збільшення витрат цементу від 3 до 8 % і зменшення витрат гудрону від 5 до 0 % густина зразків суміші зменшується, а їх водонасичення зростає. Збільшення співвідношення між цементом і гудроном веде до зростання міцності зразків сумішей при температурі 20 і 50 °С, а також після їх водонасичення. Введення в суміші лише 3 % цементу сприяє збільшенню міцності її зразків в 3 рази. При співвідношенні між витратою цементу і гудрону більшим ніж в 3 рази, ЦОБС поступово втрачають свої вязкопружнопластичні властивості і переходять в пружний стан.

Також проводились дослідження властивостей ЦОБС, в яких як органічне в'язуче використовувалось бітумна емульсія. При приготуванні даного виду суміші вода не вводилась. Результати випробувань наведено в табл. 4.

**Таблиця 4** – Властивості ЦОБС, з різними співвідношеннями цементу та бітумної емульсії

Назва показників	Значення в залежності витрат цементу/бітумної емульсії, %					
	0/5	5/4	7,5/4,25	10/4,5	2,5/4,75	15/5
Об'ємна густина, г/см <sup>3</sup>	2,25/2,25	2,25/2,24	2,27/2,26	2,28/2,27	2,30/2,30	2,30/2,30
Водонасичення, %	7,8/8,0	9,6/9,8	7,0/7,3	6,2/7,6	5,8/7,6	5,7/7,5
Набрякання, %	0,6/0,6	0,7/0,6	0,7/0,6	0,6/0,5	0,5/0,5	0,5/0,6
Границя міцності при стиску, МПа:						
- при 20 °С	2,4/2,4	3,1/3,5	3,8/4,1	4,0/4,5	4,3/4,6	4,8/5,2
- при 50 °С	1,4/1,6	2,6/2,8	2,9/3,3	3,2/3,5	4,1/4,4	4,4/4,7
- після водонасичення при 20 °С	2,2/2,1	2,9/3,1	3,0/3,4	3,1/3,9	4,0/4,4	4,1/4,3
<b>Примітка.</b> В чисельнику подано властивості зразків після 7 добового, а в знаменнику після 30 добового їх зберігання						

Як і слід було очікувати, властивості ЦОБС у вирішальній мірі залежать від кількості бітуму і цементу, що містяться в суміші. Результати демонструють ріст міцності зразків в залежності від вмісту цементу при практично однаковій кількості бітуму. Як видно, міцність ЦОБС при температурі 20 °С зі збільшенням вмісту цементу з 0 % до 15 % підвищується з 2,4 МПа до 4,8 МПа, тобто в 2 рази. Ще більш інтенсивно зростає міцність на

## МАТЕРІАЛИ

стиск при 50°C. При збільшенні вмісту цементу з 0 % до 15 % міцність за цієї температури підвищується з 1,4 МПа до 4,1 МПа, тобто майже в 3 рази. При цьому спостерігається тенденція певного згасання росту міцності при збільшенні вмісту цементу приблизно вище 7,5 %.

Закономірність зростання зміни міцності при збільшенні вмісту цементу можна пояснити наступним чином. Вплив цементу, що вводиться в суміш, на міцність матеріалу можна розглядати як результат двох процесів, що відбуваються одночасно: активації поверхні мінеральних зерен і процесу утворення жорстких зв'язків в результаті гідратації цементу.

Результати експериментальних досліджень показали доцільність спільного застосування бітумної емульсії і цементу для отримання матеріалу з покращеними властивостями в порівнянні з звичайними бітумомінеральними сумішами.

Виконані дослідження дозволили сформулювати вимоги до ЦОБС, що наведено в табл. 5.

**Таблиця 5** – Вимоги до властивостей ЦОБС

Назва показників	Марка суміші	
	1	2
Водонасичення зразків, % по об'єму, не більше	10	12
Набрякання зразків, % по об'єму, не більше	0,8	1,5
Границя міцності при стиску водонасичених зразків, МПа, не менше	2,0	1,5

Суміші 1 марки призначаються для будівництва і ремонту верхніх шарів нежорстких покриттів на дорогах III-IV категорій та нижніх шарів покриттів на дорогах I-III категорій, а також для омонолічування верхнього шару нових щибених покриттів на дорогах V категорії.

Суміші 2 марки призначаються для будівництва і ремонту верхніх і нижніх шарів покриттів на дорогах IV категорії та нижніх шарів покриттів на дорогах II-III категорій.

Тривалість зберігання ЦОБС в накопичувальних бункерах або в штабелях висотою не більше 1,5 м за умови усунення випаровування з них води не повинна перевищувати 24 години при середньодобовій температурі зовнішнього повітря нижче 15°C і 12 годин при температурі вище 15°C.

Рух автомобільного транспорту по покриттю або шару зносу з ЦОБС дозволяється відкривати відразу ж після закінчення його ущільнення. На протязі перших 7 діб після завершення ущільнення покриття швидкість руху по ньому автомобілів обмежується 30 км/год. В перші три доби після закінчення спорудження покриття необхідно організувати регулювання руху автомобілів по ширині проїзної частини.

### Висновки

Цементно-органічні бетонні суміші (ЦОБС) є різновидом дорожніх бетонних сумішей, які виготовляють у змішувачах примусової дії шляхом послідовної обробки піщано-щибенової суміші цементом, водою і органічним в'язучим. Зерна піщано-щибенової суміші в ЦОБС з'єднані між собою в монолітний матеріал за рахунок сил когезії та адгезії як цементу, так і органічного в'язучого, а тому властивості такого бетону посідають проміжне положення між властивостями цементобетону і асфальтобетону. Для забезпечення гідратації цементу в ЦОБС використовують органічне в'язуче у вигляді водної суспензії (пасти), яка утворюється безпосередньо в процесі перемішування компонентів суміші.

Цемент в таких сумішах виконує роль не тільки гідравлічного в'язучого, але й активатора поверхні зерен піщано-щебеневої суміші, твердого емульгатора органічного в'язучого та замітника мінерального порошку.

На відміну від асфальтобетонних сумішей при приготуванні ЦОБС їх компоненти нагріваються до температури не вище 100°C, що дає можливість використовувати необезводнені кам'яні матеріали і органічні в'язучі і тим самим скоротити витрати паливно-енергетичних ресурсів. Для приготування таких сумішей можна використовувати розріджений в'язкий бітум, рідкий бітум, нафтовий гудрон і бітумну емульсію.

Загальна витрата цементу і органічного в'язучого, необхідного для приготування ЦОБС, коливається в межах від 8 до 12% (понад 100% маси піщано-щебеневої суміші), вміст цементу при цьому становить (3-6)%, а органічного в'язучого (4-5)%. Необхідна кількість води - (3-5)%. ЦОБС такого складу мають досить високу міцність як в сухому, так і у водонасиченому стані. Їх міцність при температурі 50°C становить не менше 75% від їх міцності при 20°C, що виключає утворення на покриттях із ЦОБС колійності, зсувів і інших деформацій.

Крім скорочення витрати органічних в'язучих і паливно-енергетичних ресурсів технологія приготування ЦОБС забезпечує зменшення забруднення навколишнього середовища шкідливим речовинам і поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці робітників.

### Література

1. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні вимоги
2. ДСТУ Б В.2.7-46 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні вимоги
3. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості
4. ДСТУ Б В.2.7-75 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови
5. ДСТУ Б В.2.7-89-99 Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань.
6. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови
7. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови