

ДОРОЖНІЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН ДЛЯ БУДІВНИЦТВА МІСЦЕВИХ ДОРІГ

ROAD CEMENT CONCRETE FOR BUILDING LOCAL ROADS



Гамеляк Ігор Павлович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, доктор технічних наук, професор, gip65n@gmail.com, +380503524124.

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Шургая Анзорі Гівієвич, ПП «Аліоні», «Мостозагін 112», начальник лабораторії, +380993787380. alioni@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>



Дмитриченко Андрій Миколайович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, кандидат технічних наук, доцент, andrew_d@ukr.net, +380502816006.

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Анотація: У статті розглянуто питання будівництва місцевих доріг з цементобетонним покриттям. Наведено вимоги до сировинних матеріалів, бетонних сумішей, дорожніх цементобетонів і проведено порівняння з європейськими нормами. Удосконалено технологію влаштування цементобетонних покриттів місцевих доріг при використанні пластичних та литих сумішей.

Ключові слова: дорожнє жорстке покриття, високоміцний цементобетон, хімічні добавки, пластичні цементобетонні суміші.

Вступ

Зростання вантажопідйомності і швидкості руху автомобілів вимагає безперервного розвитку дорожньої мережі, вдосконалення конструкцій дорожнього одягу. Невідповідність стану автомобільної дороги вимогам транспортного потоку призводить до зростання кількості дорожньо – транспортних пригод, знижує швидкість руху, збільшує знос автомобілів і витрати на їх ремонт, підвищує витрату палива. Частковим рішенням цієї проблеми може стати використання жорсткого дорожнього одягу.

У Німеччині в 70-ті роки минулого століття будувалося 30 % цементобетонних покриттів, у 80-ті близько 60 %, а у другій половині 90-х вже 62 %. Так само в Чеській Республіці, де в останні 15 років близько 65 % нових доріг були збудовані з цементобетонним покриттям. В інших європейських країнах, також постійно зростає частка цементобетонних доріг. Наприклад, в Австрії частка цементобетонних доріг більше 50 %. У Бельгії, цементобетонні шосе складають 40 %, а доля доріг місцевого значення побудованих за цементобетонною технологією складає близько 60 %.

14 листопада 2017 року у Комітеті з питань транспорту ВР України відбулося засідання круглого столу «Бетонні дороги. Реальність для України», де було проведено порівняння

цементобетонних і асфальтобетонних доріг і показано економічні переваги будівництва цементобетонних доріг:

- запас виробничих потужностей цементної промисловості становить 32,6 % і в змозі забезпечити будівництво цементобетонних доріг в будь-якому регіоні України;
- значний вплив на ВВП України, через використання місцевих сировинних матеріалів, що забезпечить відмову від імпорту та надання робочих місць населенню. За оцінками UIF при будівництві 1000 км в рік цементобетонні дороги можуть забезпечити зростання ВВП до 2030 року від 8,5 до 19,4 млрд. дол. Через 20 років ефект буде становити до 31 млрд. дол. зростання ВВП;
- економія коштів і матеріалів при експлуатації та ремонті дороги, зниження циклу обслуговування;
- економія палива для вантажних та легкових транспортних засобів за рахунок низького опору кочення (від 35 до 305 млн. грн. на рік);
- економія електроенергії для освітлення тунелів і доріг завдяки кращій здатності цементобетону відбивати світло;
- зменшення собівартості продукції дозволить підвищити конкурентну спроможність національних продуктів на світовому ринку [1,3].

Поряд з розумінням необхідності будівництва цементобетонних покриттів автомобільних доріг вищих категорій [4] залишаються невирішеними ряд питань влаштування цементобетонних покриттів місцевих доріг.

Мета і методи. Встановити вимоги до складу, структури та властивостей дорожнього цементобетону для будівництва місцевих доріг при використанні малорухливих, пластичних та литих цементобетонних сумішей.

Задачі роботи: - надати вимоги до вихідних матеріалів; - удосконалити методику підбору складу цементобетонних сумішей та надати склади сумішей; - удосконалити технологію влаштування цементобетонних шарів дорожнього одягу при використанні пластичних та литих сумішей.

Однією з умов повноправного членства України в Євросоюзі, є перехід від вітчизняних стандартів до європейських норм. Так з 1 липня 2016 року вступили в силу 22 стандарти EN стосовно використання портландцементу. Однак існує певна розбіжність між вітчизняними та європейськими нормами.

Результати і пояснення

Вимоги до вихідних матеріалів

Цемент. Для приготування цементобетонних сумішей для шарів покриття необхідно застосовувати портландцемент типу I і II, на основі клінкеру нормованого складу, згідно з ДСТУ Б В.2.7-46-2010, з вмістом трьохкальцієвого алюмінату (С₃А) в кількості не більше ніж 8 % за масою, а в Європі і США - 5 %. В європейському стандарті такий цемент відсутній, але при вирішенні задачі вибору цементу для виробництва відповідальних конструкцій може бути використаний цемент EN 197-1 СЕМ I 42,5R-SR5. В Україні даний цемент не випускають, тому необхідно налагодити його виробництво на декількох цементних заводах для забезпечення задовільної логістики. При цьому, для забезпечення морозостійкості слід віддавати перевагу цементам отриманим по мокрому способу виготовлення.

Початок тужавіння цементу повинно бути не раніше ніж за 2 години, а закінчення – не пізніше 6 годин. Слід відмітити, що в EN 197-1 відсутні вимоги до міцності на розтяг при згині цементів, яка необхідна для розрахунку складу цементобетону для доріг та аеродромів..

Найбільш суттєва відмінність європейського стандарту від національного ДСТУ Б В.2.7-46, це те що у стандарті EN 197-1 введено статистичний критерій відповідності, який конкретизує міру постійності механічних, фізичних та хімічних властивостей цементу. У Технічному Регламенті ЄС № 305/2011 від 09.03.2011 за статтею 29 законодавчо закріплено, що в обов'язки виробника входить забезпечення стабільності технічних характеристик будівельних матеріалів.

Крупний заповнювач. Для приготування цементобетонних сумішей як крупний заповнювач слід використовувати щебінь з природного каменю, гравій, щебінь з гравію, щебінь з шлаків, а також щебінь з вміщуючих гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176, ДСТУ Б В.2.7-75, ДСТУ Б В.2.7-34, ДСТУ Б В.2.7-39.

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 в якості дрібного заповнювача слід використовувати пісок природній, пісок з відсівів дроблення вивержених гірських порід згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-210 за зерновим складом, вмістом пилюватих і глинистих частинок, модулем крупності, показником водопоглинання.

Вода. Вода повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-273, ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176.

Добавки. Для приготування цементобетонних сумішей слід використовувати хімічні добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ-Н Б В.2.7-175, ДСТУ Б В.2.7-171 та мінеральні добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-128. Оптимальний вміст хімічних добавок повинен бути визначений при підборі складу цементобетонної суміші з урахуванням властивостей конкретних матеріалів і прийнятої технології проведення робіт та забезпечення необхідних властивостей суміші на місці бетонування. Рекомендується використовувати добавки типу «ШАГ», що є сумішшю (комплексами) органічних та неорганічних речовин. Характеристика таких добавок наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики добавок для цементобетону типу «ШАГ»
 Table 1 – Characteristics of additives for cement concrete type "SHAG"

ч/ч	Назва показника	Значення показника для добавки типу	
		ШАГ ПА SP-1М	ШАГ ПА SR-3М
1	2	3	4
2	Однорідність	Однорідна рідина без сторонніх включень, допустимий осад	Однорідна рідина без сторонніх включень, допустимий осад
3	Колір	Від світло-коричневого до темно-коричневого	Від світло-коричневого до темно-коричневого
4	Запах	Слабко виражений (поліакрилату)	Слабко виражений (поліакрилату)
5	Ефективний компонент	Поліакрилат	Поліакрилат
6	Відносна густина	1,09 ± 0,05	1,1 ± 0,05
7	Вміст сухої речовини % за масою	32,0 ± 0,5	27,0 ± 0,5
8	Водневий показник, рН	7,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0
9	Розчинний у воді хлорид (Cl ⁻), % за масою	Не вище 0,1	Не вище 0,1
10	Вміст луку (Na ₂ O еквівалент), % за масою	Не вище 2,0	Не вище 2,0

Для виготовлення добавок слід використовувати сировинні матеріали, які наведені у [2], за наявності документа про якість і санітарно-гігієнічного висновку.

Проектування складу високоміцного дорожнього цементобетону виконується відповідно до методології, аналогічної для дорожнього цементобетону звичайної міцності.

При підборі складу високоміцного цементобетону при однаковій марці цементу М500 вирішальне значення має марка цементу на розтяг при згині R_u^u ($R_u^u \geq 6,0$ Н/мм² (МПа)).

При проектуванні складу цементобетону потрібно враховувати, що високоміцні дорожні цементобетони можуть бути одержані за рахунок підвищення міцності цементного каменя.

Для отримання високоміцного дорожнього цементобетону необхідно [5, 6]:

- здійснити підбір оптимального складу цементобетонної суміші;
- застосування високоактивних (на розтяг при згині $R_u^u \geq 6,0$ Н/мм²) цементів;
- шляхом підбору досягати зменшення В/Ц;
- шляхом підбору досягати зменшення капілярної пористості до 1,5 %;
- застосування ефективних комплексів суперпластифікаторів з повітровтягувальними та/або газовиділяючими добавками з водоредукуючим ефектом більше 25%, збереженням легкоукладальності цементобетонної суміші не менше ніж (60 – 120) хв. при збереженні кількості залученого повітря;
- досягати оптимального коефіцієнта розсунення зерен (k_p).

На даний час поширення набули два методи підбору складу цементобетону.

Згідно нормативного методу (ДСТУ Б В.2.7-215:2009, ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013) орієнтовне значення В/Ц для отримання середнього рівня міцності цементобетону на розтяг при згині визначають за наступною залежністю:

$$B/Ц = \frac{0,34 \times R_u}{R_b + 0,034 \times R_u}, \quad (1)$$

де: R_u – границя міцності цементу на розтяг при згині, яка визначається експериментально, Н/мм²;

R_b – середній рівень міцності на розтяг при згині цементобетону $R_b \geq 5,5$ Н/мм² (МПа).

Середній об'єм залученого повітря для розрахунку приймається 50 л/м³.

При застосуванні хімічної добавки вміст води визначають за формулою:

$$B = \frac{K_{H.G.} \times k_{\partial}^2 \times Ц \times H_{\Gamma} + B_n \times \gamma^n (V_p^1 - Ц / \gamma^u) + B_{щ}}{1 + 0,001 \times B_{\Pi} \times \gamma^n}, \quad (2)$$

де: $k_{\partial} = \frac{H_z^1}{H_z}$ – коефіцієнт ефективності добавки;

H_z^1 – нормальна густина цементного тіста із застосуванням хімічної добавки;

H_z – нормальна густина цементного тіста без застосування хімічної добавки.

Уточнену кількість води необхідно обчислювати за формулою:

$$B = B + \frac{B_{\partial}}{\gamma_{\partial}} - B_{щ}, \quad (3)$$

де: γ_{∂} – щільність добавки, кг/м³;

$B_{щ}$ – потреба води на змочування поверхні зерен щебеню, визначається за формулою:

$$B_{щ} = 0,014 \times Щ_{2-5} + 0,008 \times Щ_{5-10} + 0,005 \times Щ_{10-20} + 0,003 \times Щ_{20-40}, \quad (4)$$

де: $Щ_{2-5}$, $Щ_{5-10}$, $Щ_{10-20}$, $Щ_{20-40}$ – вагова витрата щебеню відповідно фр. 2 - 5 мм, фр. 5 - 10 мм, фр. 10 - 20 мм, фр. 20 - 40 мм на 1 м³ віброущільненого цементобетону, кг [5].

З умов отримання матеріалу з максимальною міцністю на розтяг при згині повинна визначатися в залежності від щільності щебеню у віброваному стані, яке залежить від вмісту голчастих та лещадних фракцій.

Найбільш щільна упаковка залежить також від модуля крупності піску та його щільності у віброваному стані з урахуванням фракції 0,315 ...0, 63. Після встановлення оптимального співвідношення Щ:П в контрольному складі підбирається витрата добавки з урахуванням повітря (газо) втягувальних компонентів. Це дає раціональну структуру пор (розподіл втягнутого повітря (газу) переважно в об'ємі розчинної частини. Це призводить до зменшення дефектів в цементному камені (мінімальний вміст повітря навколо крупного заповнювача).

Все це збільшує однорідність і відповідно морозостійкість бетону, а разом із збільшенням міцності на розтяг при згині та зменшенням модуля пружності забезпечує довговічність цементобетону в покритті.

Структура, в'язкість добавки і правильний підбір складу (упаковка) бетонної суміші дають змогу розподілити бульбашки повітря (газу) в розчинній частині бетонної суміші та укладеного цементобетону і призводить до мінімуму розподіл бульбашок повітря біля крупного заповнювача, тобто зменшується структура дефектів. Зменшення структури дефектів призводить до збільшення міцності на розтяг при згині, морозостійкості і водонепроникливості, зменшення капілярної пористості $\leq 1,5$ %. Це дає можливість зменшити кількість повітря при застосуванні повітровтягувальними добавок до 4,0 – 4,5 % або газоутворюючих – 2,8 – 3,5 % при морозостійкості F300 (при випробуванні за II - м прискореним методом ДСТУ Б В.2.7-47).

Нормативні марки за морозостійкістю повинні використовуватися тільки при підборі складу цементобетону, контролі його якості в процесі будівництва і прийманні цементобетонного покриття в експлуатацію.

При випробуванні дорожнього цементобетону на морозостійкість найкращі результати отримано при вмісті піску $r = 0,37 - 0,42$ [3, 4].

У табл. 2 та 3 наведено склади малорухливих та пластичних цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ковзної опалубки та ущільнення віброрейкою.

Таблиця 2 – Склади малорухливих цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ковзної опалубки

Table 2 – Compositions of sedentary cement-concrete mixtures for arrangement of cement-concrete coverings at technology of sliding formwork

Найменування	П1 В40 F200 W6	П1 В45 F200 W6	П1 В50 F200 W6
Цемент, кг	340	365	390
Пісок річковий, кг	180	170	165
Пісок Вознесенський, кг	530	520	495
Щебінь 10-20, кг	615	615	618
Щебінь 5-10 / Щебінь 2-5, кг	410 / 205	410 / 205	410 / 208
Вода, л	128	129	130
Добавка пластифікатор, % / кг	1,03 / 3,5 кг.	1,03 / 3,8 кг.	1,03 / 4,0 кг.
Кількість залученого повітря, %	5,7	5,4	5,1
Міцність на стиск, МПа			
3 доба	30,2	34,2	38,1
7 доба	42,5	47,7	53,0
28 доба	54,9	61,0	66,3

Примітка. Хімічна добавка комплексної дії SR3M.

Таблиця 3 – Склади пластичних цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ущільнення віброрейкою

Table 3 – Warehouses of plastic cement-concrete mixtures for the arrangement of cement-concrete coatings with vibration compression technology

Найменування	П4 В40 F200 W6	П4 В45 F200 W6	П4 В50 F200 W6	П4 В55 F200 W6
Цемент, кг	365	390	415	440
Пісок річковий, кг	170	160	155	150
Пісок Вознесенський, кг	510	490	475	460
Щебінь 10-20, кг	600	600	600	600
Щебінь 5-10 / Щебінь 2-5, кг	400 / 200	400 / 200	400 / 200	400 / 200
Вода, л	143	145	146	146
Добавка пластифікатор, %	0,8 / 2,9	0,8 / 3,1	0,8 / 3,3	0,8 / 3,5
Кількість залученого повітря, %	5,9	5,5	5,2	4,9
Міцність на стиск, МПа				
3 доба	22,5	26,0	28,7	32,3
7 доба	37,2	43,1	48,0	52,8
28 доба	53,9	61,2	66,7	73,6

Примітка. Хімічна добавка комплексної дії SR3M1

Вимоги до цементобетонної суміші та цементобетону

Бетонна суміш. Бетонна суміш повинна мати підібраний зерновий склад, достатню легкоукладальність, які забезпечують одержання рівної і замкнутої поверхні покриття при заданій рухомості або жорсткості. Вона не повинна розшаровуватись під час транспортування і при розподіленні по основі.

Легкоукладальність бетонної суміші залежить від обраного устаткування для її приготування, комплекту бетоноукладального обладнання, та обраної технології транспортування, укладання і ущільнення. Марка за рухомістю чи жорсткістю бетонної суміші повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-96.

При рухомості 3-5 см або жорсткості 3-5 с як вказано в табл. ДСТУ Б В.2.7-96 неможливо ущільнити бетонну суміш без застосування машин.

Бетонні суміші, які укладаються з використанням віброущільнення, повинні мати рухомість на місці укладання (ОК) від 1 см до 4 см і жорсткість (Ж) від 3 с до 8 с.

При використанні цементобетонних сумішей з сучасними хімічними та мінеральними добавками і засобів малої механізації (віброрейки, площадкові вібратори, глибинні вібратори) дозволяється застосовувати рухомі суміші з ОК = (5 - 9) см та високорухомі та литі суміші з ОК = (16 - 22) см згідно з ДСТУ Б В.2.7-96.

Вказані обмеження не стосуються безвібраційного укладання бетонної суміші, зокрема при використанні литих цементобетонних сумішей (ОК більше ніж 16 см). Для досягнення необхідного осідання конусу слід використовувати суперпластифікатори, які забезпечують збільшення рухомості бетонної суміші основного складу відносно показника рухомості контрольної суміші від P1 до (P4 - P5) згідно з ДСТУ Б В.2.7-96-2000 або S1 -S4 ДСТУ EN 206-1:2000, EN 12350-2.

Для забезпечення необхідної морозостійкості дорожнього цементобетону до бетонних сумішей висувають вимоги, що регламентують їх водоцементне відношення (В/Ц) і вміст втягнуеного повітря (V_n).

Бетон. Вимоги до цементобетону дорожнього покриття та основи для конкретного об'єкту встановлюються проектом відповідно до вимог ДБН Б В 2.3-4, ДСТУ Б В.2.7-43, а також згідно з ДСТУ Б В.2.7-176 в залежності від призначення та умов роботи. Порівняння норм до цементобетону для дорожнього покриття (I категорія) в Україні та європейських країн наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняння вітчизняних і європейських вимог до цементобетону для покриття доріг

Table 4 – Comparison of national and European requirements for cement concrete to road pavements

Показники	Вимоги	
	ДБН В.2.3-4:2015	EN 206-1:2000
Марка цементу	М 500	ЦЕМ І 52,5 Н
Водоцементне співвідношення	≤ 0,5	≤ 0,4
Вміст залученого повітря в суміші, %	≤ 7 %	4 - 7
Клас міцності при стиску	B35	52,5 Н
Клас міцності розтягу при згині	4,4	6,5
Морозостійкість	≥ F 200	-
Стирання, г/см ³	≤ 0,7	-

Морозостійкість бетону покриття повинна відповідати F 150-200 в залежності від температури повітря найхолоднішого місяця. Але така марка морозостійкості недостатня через використання для зимового утримання доріг хлоридів, щоб забезпечити довговічність дорожнього цементобетону. Тому мінімальна марка за морозостійкістю для всіх регіонів України повинна бути не менше ніж F200. Слід відмітити про відсутність в нормативних документах ЕС і США вимоги щодо морозостійкості цементобетону для покриття доріг. Проте в EN 206-1:2000 введено показник якості цементобетонів в залежності від середовища експлуатації і виду корозії – XD3, XF3-XF4.

Необхідна морозостійкість цементобетону забезпечується обов'язковим застосуванням повітровтягувальних добавок, а також пластифікуючих, або пластифікуючо-повітровтягувальних добавок згідно ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008, застосуванням заповнювачів згідно ДСТУ Б В.2.7-43, проектуванням складу бетонної суміші згідно ДСТУ Б В.2.7-215, дотриманням правил приготування, транспортування, розподілення та ущільнення суміші, а також своєчасним і ефективним доглядом за бетоном протягом строку його твердіння.

Випробування бетону на міцність, морозостійкість, а також, при необхідності на стираність і водонепроникність, проводяться до початку будівництва під час підбору складу бетону на матеріалах, які будуть використовуватись при будівництві.

Для підвищення міцності, морозо- і корозійної стійкості бетону, у тому числі проти спільної дії розчинів хлористих солей, що застосовуються для боротьби з зимовою слизькістю, а також для покращення технологічних властивостей бетонної суміші повинні застосовуватись добавки згідно ДСТУ Б В.2.7-171, ДСТУ-Н Б В.2.7-175 та інструкцій щодо їх застосування у відповідності вказівками нормативних документів.

Особливості технології та засоби механізації при влаштуванні малорухливих, пластичних та литих цементобетонних сумішей

Приготування цементобетонної суміші. Залежно від складу цементобетонної суміші і виду змішувача час змішування після додавання всіх вихідних матеріалів становить від 25 с до 50 с (при цьому необхідно врахувати, що перемішування 50 с може призвести до зниження продуктивності, саморозігріву суміші та можливого випаровування води з неї).

При виробництві високоміцного цементобетону через клейку консистенцію суміші може знадобитися додаткове очищення змішувача.

Мінімальний час змішування становить 1 хв/м³, але не менше ніж 5 хв. Перед наповненням бетонозмішувач необхідно звільнити від промивної води, якщо така залишилась.

Додавання пластифікатора. У товарну цементобетонну суміш, транспортування якої здійснюється на далекі відстані, для досягнення литої або текучої консистенції, зручної для укладання, пластифікатор дозволяється додавати на будівельному майданчику.

Пластифікатор повинен рівномірно розподілятися в барабані бетонозмішувача, наприклад, за допомогою розпилювальної трубки.

Укладання цементобетонної суміші. При укладанні високоміцної цементобетонної суміші необхідно дотримуватися таких вимог:

- укладанням суміші повинні виконувати працівники, які мають досвід роботи по укладанню цементобетону класу \geq С 30/37;

- перед кожним етапом бетонування необхідно проводити інструктаж працівників будівельного майданчику.

На сьогоднішній день значного поширення набула технологія будівництва з використанням малорухливих сумішей (ОК 0 – 2 см).

Для укладання бетону використовуються бетоноукладачі з ковзною опалубкою (рис.1). Їх середня добова продуктивність становить 500 м дорожнього покриття. Умовою для цього є в будь-якому випадку стійка робоча основа для бетоноукладача і безперервна доставка бетонної суміші.

Прийом бетону в захватку здійснюють безпосередньо з міксера через воронку або лоток видачі бетонної суміші (відповідно до рис. 2). Можливий прийом бетонної суміші в захватку через бетононасос.

При влаштуванні бетонних доріг, сумішами з маркою за легкоукладальністю ПЗ і вище її слід ущільнювати з використанням віброрейки, віброгребка та іншого технологічного обладнання.

При використанні віброрейки необхідно стежити, щоб вона постійно ковзала по поверхні бетону.

Віброрейку (типу AtlasCopcoBT90 чи ін.) встановлюють на вирівняну поверхню бетонної суміші, на металеві (*дерев'яні*) напрямні рейки - форми.

Віброрейку, щоб уникнути появи провалів або горбів, слід переміщати з постійною швидкістю від 1 м/хв. до 2 м/хв. Товщина валика бетону перед віброрейкою повинна бути від 2 до 3 см. У тих місцях, де бетонна суміш осідає нижче рівня віброрейки, бетонну суміш, в необхідних кількостях, додають вручну.

З використанням бетоноукладачів MANIPAV-2000 цього робити не потрібно, тому що віброрейка встановлена безпосередньо на ньому і її висота та ухил регулюються за допомогою лазерної системи (рис. 3).

Лазерний бетоноукладач MANIPAV M-2000. Дана машина сконструйована для влаштування цементобетонних покриттів та основ автомобільних доріг, площадок та підлог. Машина призначена для рівномірного розподілу свіжеукладеної цементобетонної суміші безпосередньо після її подачі. Тягове зусилля, необхідне для руху машини, створює бензиновий двигун Honda, який призводить до роботи трисекційний гідронасос. Насос направляє гідравлічну рідину під високим тиском в різні циліндри машини для роботи бетоноукладача (колеса, шнек, рейка та ін.). Максимальна швидкість пересування машини рівна 0,6 км / год. (10 м / хв.).



Рисунок 1 – Бетоноукладач з ковзною опалубкою при укладанні цементобетонного покриття для місцевих доріг

Figure 1 – Concrete placement with sliding formwork at laying cement-concrete cover for local roads



Рисунок 2 – Прийом цементобетонної суміші в захватку. Відсутність розшарування суміші.

Figure 2 – Admission of cement-concrete mixture into capture. Absence of stratification of the mixture.

Головні переваги бетоноукладача MANIPAV M-2000 це невелика вага (470 кг) і висока продуктивність. Роботи можуть проводитися безпосередньо на ущільненій основі, армованих сітках чи каркасах або монтованих плитах перекриття з середньою швидкістю 200 кв. м. в годину. У табл. 5 наведено порівняння технічних характеристик лазерного бетоноукладача MANIPAV M-2000 з бетоноукладачами аналогами, які представлені на міжнародному ринку.

Таблиця 5 – Порівняння технічних характеристик лазерних бетоноукладачів
 Table 5 – Comparison of the technical characteristics of laser concrete pavers

Технічні характеристики	MANIPAV M - 2000	SOMERO S - 840 Laser screed SOMERO S-22 EZ Laser screed	ROADWAY RWJP 12 ROADWAY RWJP 31	STRONG CONCRETE R SCL - 1080	WIRTGEN SP 62 WIRTGEN SP 82	GOMACO GHP-2800 GOMACO GT-3600
Максимальна висота, мм	1250/1750	<u>1390</u> 2460	<u>1422</u> 3575	1422	<u>3100</u> 3100	<u>3100</u> 2500
Максимальна довжина, мм	2600/2900	<u>2650</u> 5230 -10950	<u>2400</u> 5600	2400	<u>5750</u> 10050	<u>5900</u> 6800
Максимальна ширина, мм	1700/2500	<u>2500</u> 2190	<u>2500</u> 4375	2500	<u>3500</u> 3500	<u>3700</u> 2600
Маса, кг	520	<u>695</u> 6123 - 6622	<u>1120</u> 8200	1080	<u>2400</u> 3200	<u>39700</u> 9250
Максимальна швидкість, м/хв.	10	<u>8</u> 6,9	<u>8,5</u> 8	7,5	<u>18</u> 20	<u>25</u> 12,8
Ширина укладки, м	2,5	<u>1,83-2,44</u> 4.47-5,02	<u>2,5</u> 4,375	2,5	<u>3,5-7,5</u> 2-8	<u>3,66-9,75</u> 0,8-1,6
Продуктивність, м ² /год	200	<u>460</u> 500	<u>300</u> 500	400-450	<u>1260/2700</u> 1260/2700	<u>800</u> 400
Потужність двигуна, л/с	15,0	<u>20,5</u> 65,0	<u>20,0</u> 75,0	20,0	<u>211</u> 211	<u>250</u> 99

Технологія влаштування місцевих доріг з використанням пластичних сумішей вперше в Україні реалізована ТОВ "Техноізол Буд" у 2017 р. (директор Артеменко Р.В.). Продуктивність за добу становила 180 ... 400 м, шириною 4,5 ... 5 м при товщині шару 16 ... 20 см. Площа укладки за добу до 2000 м². Дана технологія може широко використовуватися при будівництві місцевих доріг III

– IV категорії з використанням цементобетону класу В30-35, на портландцементі ПЦ ІІ - 400 АШ (шлаку до 18%, помелу до 3500 ... 4000 г/м²) з добавками (табл. 6).



Рисунок 3 – Влаштування цементобетонного покриття із пластичної суміші бетоноукладачем MANIPAV-2000

Figure 3 – Arrangement of a cement-concrete coating from a plastic mixture with a MANIPAV-2000 concrete mixer

Незважаючи на велику осадку конусу, що не рекомендується нормами в дорожньому будівництві, отримано суміш, яка забезпечує однорідність бетонної суміші без розшарування. Отримані бетони подібні бетонам ПЗ – П4, що широко використовуються в мостовому будівництві останні десятиліття. Для цього використовуються різні добавки модифікатори в залежності від осадки конуса (табл. 2 - 3).

Оптимальний час ущільнення суміші визначають візуально – за появою на поверхні покриття цементного молока.

Таблиця 6 – Склади цементобетонних сумішей для влаштування покриттів при роботі MANIPAV-2000.

Table 6 – Composition of cement-concrete mixtures for coatings under MANIPAV-2000.

Найменування	В30 F150 W4 - 6
Цемент ПЦ ІІ - 400 АШ, кг	350
Пісок річковий, кг	700
Щебінь 10-20, кг	770
Щебінь 5-10, кг	380
Вода, л	160
Добавка пластифікатор, % / кг	3,5
В/Ц	≤ 0,45
Осадка конуса, см	20 - 22
Кількість залученого повітря, %	4,2 - 4,5
Міцність на стиск (при t = 5°C / t = 15°C), МПа	
3 доба	8,9 / 19,5
7 доба	21,9 / 28,8
28 доба	32,4 / 38,8

Якщо товщина шару, який ущільнюється становить 100 мм і більше, а також при вібрації шару цементобетонного покриття уздовж встановлених напрямних рейок - форм обов'язкове застосування глибинних вібраторів. Відстані між місцями занурення глибинних вібраторів повинні дорівнювати п'ятикратному діаметру булави і становити від 30 см до 50 см.

Контроль властивостей цементобетонної суміші та цементобетону виконують згідно з [7].

Рекомендований час витримування внутрішніх будівельних елементів становить як мінімум 2 доби, а зовнішніх – 3 доби. Для отримання цементобетону високої якості необхідний догляд протягом перших днів затвердіння. Доцільним є витримування з підведенням води, що дозволяє уникнути

висихання бетону в результаті низького водоцементного відношення, яке може привести до утворення мікротріщин. Заходи щодо витримування цементобетону необхідно починати проводити відразу ж після його ущільнення.

Догляд за свіжоукладеним цементобетонним покриттям виконується згідно п. 5.7 [8].

При обробці захватки, що примикає до вже готової захватки, слід захистити свіжу поверхню від механічного впливу.

Не допускається:

- полив полотна водою в першу добу після закінчення робіт;
- механічний вплив на поверхню свіжовкладеного полотна, потрапляння побутових і будівельних абразивів (піску, щебеню, металевої стружки тощо).

Затирання поверхні у важко доступних місцях відбувається вручну (рис. 5 а).

План забезпечення якості цементобетону. Для безперервного забезпечення якості продукції необхідно скласти план забезпечення якості, який буде містити наступну інформацію:

- доставка вихідних матеріалів;
- виробництво і транспортування цементобетону;
- обробка цементобетону на будівельному майданчику при влаштуванні дорожнього одягу або на заводі готових конструкцій;
- дії при відхиленні від заданого плану;
- визначення граничних значень міцності для нарізки швів, секції бетонування (відстань між поздовжніми та поперечними швами) і особисту відповідальність працівників.

Обов'язковим є нарізання швів згідно ГБН В.2.3-37641918-557:2016 за табл. 7 (рис. 4б).

Таблиця 7 – Визначення часу нарізання швів
 Table 7 – Determining the time of cutting the joints

Середня температура повітря, °С	від 1 до 5	від 5 до 15	від 15 до 25	від 25 до 30
Кількість годин від укладання бетонної суміші до набірної міцності 10 МПа (М 100)	від 20 до 30	від 15 до 20	від 10 до 15	від 6 до 10

Після всіх технологічних процесів та набирання технологічної міцності цементобетонне покриття має наступний вигляд (рис. 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Ручне затирання поверхні цементобетонного покриття (а) та вигляд цементобетонного покриття готового до експлуатації (б)

Figure 4 – Manual rubbing of the surface of the cement-concrete coating (a) and the appearance of the cement-concrete coating of the ready-to-use (b)

Висновки та рекомендації. Основні переваги цементобетонних покриттів у порівнянні з асфальтобетонними: більша міцність і довговічність; відсутність явища колійності; забезпечення

більшої безпеки руху; наявність вітчизняної сировини; менше нагрівання за рахунок світлої поверхні; можливість переробки та повторного використання тощо.

Область раціонального використання цементобетонних покриттів: під'їзди до аеропортів та аеродромні покриття, під'їзди до морських портів, митниці, стоянки великовагових ТЗ, логістичні центри, об'їзні дороги великих, найбільших міст та міст-мільйонерів, дороги промислових підприємств, під'їзди до сільськогосподарських підприємств (ферм, цукрових заводів, пекарень, токів тощо), маршрути руху контейнерів та зерновозів.

В умовах стрімкого зростання навантажень на покриття та нестабільності цін на нафтопродукти і відповідно органічні в'язучі, відсутності власних сировинних запасів нафти для виробництва дорожнього бітуму, практично доведено, що замість асфальтобетонних покриттів доріг та аеродромів необхідно будувати жорсткі цементобетонні покриття, в тому числі покриття з дренажного та укоченого бетону.

Для будівництва місцевих доріг з цементобетонним покриттям необхідно розробити:

- технічний регламент приготування цементобетонної суміші з використанням сучасних добавок та домішок;

- внести зміни в ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування в частині проектування доріг з високоміцного бетону та пластичних сумішей в частині розрахункових характеристик або окремі Методичні рекомендації з проектування жорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг місцевого значення;

- ДСТУ Н Настанова з влаштування жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг місцевого значення;

- технологічна карта влаштування шарів основи та покриття з використанням малорухливих та пластичних цементобетонних сумішей;

- Альбом (каталог) раціональних конструкцій дорожнього одягу автомобільних доріг місцевого значення.

Важливим є рішення юридично-правових питань щодо вишукування, будівництва та експлуатації місцевих доріг, які пов'язані з передачею доріг у відання Об'єднаним територіальним громадам (ОТГ)

Перелік посилань

1. Переваги цементобетонних доріг в Україні. Економічна оцінка [Електронний ресурс] – Доступно з http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyi-stil-na-temu-betonni-dorohy-realist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-pershoho-zastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transport-vasiunyka-iv-za-uch.html?published_fv=-1.

2. ТУ У В.2.7-20.5-38564866-001:2017 Добавки для бетонів та будівельних розчинів комплексні «ШАГ»

3. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П., Карпюк О.А. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 92. – К.: НТУ, 2014. – С. 38 – 49.

4. Гамеляк І. П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні. – Автошляховик України 5/ 201, Науково-технічний збірник, 2013 – С. 24 – 26.

5. Шургая А.Г., Чиженко Н.П. Высокопрочный бетон в дорожном строительстве (теоретические аспекты) // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 96. – К.: НТУ, 2016. – С. 43 - 49.

6. Саканделидзе А.А. Новый способ рационального проектирования высокопрочных бетонов марок 500-1000. – Тбилиси, 1978.

7. МР В.2.7-37641918-885:2017 Методичні рекомендації щодо забезпечення надійності конструкцій жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг при використанні високоміцного цементобетону.

8. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016 Настанова з влаштування жорстких дорожніх одягів.

ROAD CEMENT CONCRETE FOR BUILDING LOCAL ROADS

Gameliak Igor Pavlovich, National Transport University, Doctor of technical science, Professor, Airports department, gip65n@gmail.com, +380503524124. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

Shurgaya Anzori Gievich, private enterprise "Alioni", Head of Laboratory, alioni@ukr.net, +380993787380. <https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>.

Dmytrychenko Andrei Mykolayovych, National Transport University, Candidate of engineering science, Associate Professor, Senior Scientific Scientist, Airports department, andrew_d@ukr.net, +380502816006. <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Summary:

The article is devoted to construction of local concrete roads. These are the requirements for raw materials of concrete mixtures for concrete roads and conducted a comparison with European norms. Improved technology installing concrete coatings of local roads at use of plastic and flowable concrete mixtures.

Region of rational use concrete pavements: entrances to the airports and airport pavements, entrances to sea port, customs, parking of heavy vehicle, logistics centers, access roads of large settlements, roads of industrial enterprises, entrances to agricultural enterprises (farms, sugar refineries, bakeries etc.), the routes of containers and grain.

For the construction of local roads with cement concrete pavements should develop:

- technical regulations installing concrete mixture with the use of modern additives and impurities;
- make changes in GBN V.2.3-37641918-557:2016 Highways. Rigid pavement. Designing in a part of the design roads with high strength concrete and plastic mixtures in terms of computational characteristics or separate methodological recommendations for the design of local roads rigid pavement;
- DSTU N Counsel on arranging the local roads rigid pavement;
- engineering (technological) map installation base layers and pavements using sedentary and plastic concrete mixes;
- the Album (catalog) rational constructions of local roads pavement.

It is important to resolve legal issues related to the design, construction and exploitation of local roads that are related with the transfer of roads to the United Territorial Communities (UTC).

Key words: rigid pavement, high-strength concrete cement, chemical additives, plastic cement-concrete mixtures.

References

1. Benefits of cement-concrete roads in Ukraine. Economic appraisal [Electronic resource] - Available with http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyi-stil-na-temu-betonni-dorohy-realnist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-pershoho-zastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transport-vasiunyka-iv-za-uch.html?published_fv=-1.
2. Additives for concrete and building solutions complex "SHAG", TU U V.2.7-20.5-38564866-001: 2017.
3. Gameliak I.P., Shurgaya AG, Yakimenko Y.M., Chyzhenko N.P., Karpyuk O.A. Comparison of modern additives for high-speed road concrete // Highways and Road Construction: Scientific and technical collection. Volume 92. - K.: NTU, 2014. - P. 38 - 49.
4. Gameliak I.P., Koretsky A.C., Koretsky S.C. On the necessity of building cement-concrete coatings in Ukraine. - The road car of Ukraine 5 / 201, Scientific and Technical Collection, 2013 - P. 24 - 26.
5. Shurgaya AG, Chyzhenko N.P. High-strength concrete in road construction (theoretical aspects) // Highways and Road Construction: Scientific and technical collection. Volume 96. - K.: NTU, 2016. - P. 43 - 49.
6. Gameliak I.P., Shurgaya AG, Yakimenko Y.M., Chyzhenko N.P., Karpyuk O.A. Comparison of modern additives for high-strength road concrete "Highways and Road Construction" Scientific and technical collection
7. Gameliak I.P., Koretsky A.C., Koretsky S.C. On the necessity of building cement-concrete coatings in Ukraine. - The car of Ukraine 5
8. Shurgaya A.G., Chyzhenko N.P. High-strength concrete in road construction (theoretical aspects)
9. Sakanelidze AA New way of rational design of high-strength concrete grades 500-1000. - Tbilisi, 1978.
10. Methodical recommendations for ensuring the reliability of constructions of rigid road pavement of highways with the use of high-strength concrete cement, MP B.2.7-37641918-885: 2017.
11. Guidelines for the installation of rigid road clothing, DSTU-N B V.2.3-36: 2016.