

УДК 625.848

© Толмачов С. М., докт. техн. наук, професор  
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

## ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПІСНИХ БЕТОНІВ, УЩІЛЬНЮВАНИХ КОТКАМИ В ОСНОВАХ ДОРІГ

**Анотація.** У статті показано переваги основ доріг із пісного цементобетону, який ущільнюють котками. Порівняно зі звичайними важкими бетонами ці бетони містять дуже мало цементу і води. Зазначено, що основи з такого бетону можна будувати за допомогою сучасної дорожньої техніки: асфальтоукладачів та котків. Досліджено властивості бетонів, ущільнюваних котками, серед яких: щільність, міцність, водопоглинання, морозостійкість. Щільність таких бетонів така сама, як і звичайних важких. Міцність бетонів за витрати цементу 120-140 кг/м<sup>3</sup> досягає 10 МПа. Морозостійкість матеріалу відповідає марці F100. Запропоновано використовувати такі бетони для будівництва основ доріг і нижніх шарів їхніх покриттів.

**Ключові слова:** основи доріг, пісний бетон, ущільнення котками, щільність, міцність, водопоглинання, морозостійкість.

**Аннотация.** В статье показаны преимущества оснований дорог из тощего цементобетона, который уплотняют катками. По сравнению с обычными тяжелыми бетонами эти бетоны содержат очень мало цемента и воды. Показано, что основания из такого бетона можно строить с помощью существующей дорожной техники: асфальтоукладчиков и катков. Исследованы свойства бетонов, которые уплотняют катками, такие как: плотность, прочность, водопоглощение, морозостойкость. Плотность таких бетонов такая же, как обычных тяжелых бетонов. Прочность бетонов при расходе цемента 120-140 кг/м<sup>3</sup> достигает 10 МПа. Морозостойкость материала соответствует марке F100. Предложено использовать такие бетоны для строительства оснований дорог и нижних слоев их покрытий.

**Ключевые слова:** основания дорог, тощий бетон, уплотнение катками, плотность, прочность, водопоглощение, морозостойкость.

**Abstract.** The article shows the advantages of the bases of roads from lean cement concrete, which is compacted with rollers. Compared with conventional heavy concrete, these concretes contain very little cement and water. It is shown that the bases of such concrete can be built with the help of existing road machinery: asphalt pavers and rollers. The properties of concrete, which are compacted by rollers, such as: density, strength, water absorption, frost resistance, are studied. The density of such concrete is the same as that of conventional heavy concrete. Concrete strength at cement consumption of 120-140 kg/m<sup>3</sup> reaches 10 MPa. The frost resistance of these concretes corresponds to the grade F 100. It is proposed to use such concretes for the construction of the bases of roads and lower layers of road surfaces.

**Keywords:** bases of roads, lean cement concrete, compacting with rollers, density, strength, water absorption, frost resistance.

### ВСТУП

**Стан проблеми і актуальність.** Різка зміна умов експлуатації дорожніх шляхів протягом останніх трьох десятиліть (зростання навантаження на вісь транспортного засобу та інтенсивності руху) спричинила необхідність підвищення довговічності шарів дорожніх одягів з цементних бетонів. Як показує вітчизняний і світовий досвід, новим вимогам руху найбільше відповідають дорожні покриття жорсткого типу [1].

Цементобетонні дорожні покриття мають низку переваг порівняно з покриттями інших типів, наприклад, високу міцність на розтяг у результаті згинання, малу величину пружних деформацій під навантаженням від автомобілів, високу розподільну здатність, світлий колір, високий стабільний у часі і мало залежний від зволоження коефіцієнт зчеплення з протектором колеса автомобіля, незначний знос унаслідок стирання, високу довговічність, тривалий термін служби. Досить дешевою, швидко і просто влаштованою основою

є шар з цементного бетону, який ущільнено укочуванням. Як показала практика будівництва (рис. 1, 2), такий шар товщиною 16...18 см (на дорозі 1-2 категорії) може замінити два шари укріпленого і неукріпленого щебеню або щебенево-піщаної суміші товщиною 22...26 см кожен.

З огляду на те, що вміст цементу в такому бетоні зазвичай не перевищує 140...150 кг/м<sup>3</sup>, його названо пісним. Свою назву він отримав через малу кількість в'язучої речовини. Цементобетонні основи з пісного бетону, які в подальшому перекривають основним шаром покриття з асфальтобетону або цементобетону мають високу довговічність і забезпечують тривалість служби всієї конструкції дорожнього одягу. Тому актуальним є улаштування таких основ для доріг будь-яких категорій.

Традиційний підхід до влаштування таких основ передбачає застосування комплексу бетоноукладальних машин. Це стримує широке застосування шарів основ із пісного бетону в будівництві автодоріг через відсутність таких комплектів в Україні в необхідній кількості та їхню високу вартість. Однак, накопичений нами досвід влаштування таких основ у будівництві доріг в АР Крим (80-ті роки минулого століття), реконструкції аеропортів у м. Донецьку, м. Харкові та м. Львові (2007 – 2012 р.р.) показав, що для будівництва основ з пісного бетону досить ефективно можна використовувати техніку, призначену для влаштування асфальтобетонних покриттів. Зокрема, це асфальтоукладальники і котки (рис. 1). Одержуваний при цьому бетон відрізняється високими фізико-механічними характеристиками (рис. 2). Тому одним із перспективних напрямків розвитку дорожньої інфраструктури України є будівництво не тільки основ, але й верхніх шарів доріг з жорстких цементобетонних сумішей з використанням наявної дорожньої техніки.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Укочений бетон відомий як різновид важких цементних бетонів, але відрізняється від них значно меншим вмістом цементу і води, що дозволяє покращити його властивості [2]. До переваг цього бетону також можна віднести: менші витрати цементу, малу усадку і високу тріщиностійкість, які пов'язані зі зниженим водоцементним відношенням, допустимим у зв'язку зі способом його ущільнення; можливість перекриття його іншими конструктивними шарами безпосередньо після укочування, після невеликої технологічної перерви; ущільнення бетонної суміші укочуванням (віброукочуванням), що здешевлює технологію будівництва.

Існує думка [3], що укочений бетон є більш технологічним матеріалом, аніж звичайний бетон, хоча і дещо менш зручним для дорожніх конструк-



Рис. 1. Укладання пісної бетонної суміші асфальтоукладальником



Рис. 2. Керн з пісного бетону, випиляного з основи через 18 годин

цій, зважаючи на його більшу чутливість до зміни погодних факторів і порушень технологічного процесу. Ефективність цього композиту досягається за рахунок зменшення витрат цементу – до 30 % і трудовитрат майже в два рази. Насамперед усе це стосується пісних укочених та малоцементних пресованих бетонів.

Пісний бетон – це будівельний матеріал, у якому порівняно з традиційними важкими бетонами не тільки значно зменшена кількість цементу і води, але й збільшено вміст заповнювачів (щебеню, піску) [4]. Він використовується у будівництві в тих випадках, коли застосування традиційного важкого бетону економічно недоцільно. Це приводить до суттєвої економії найдорожчого компонента бетонної суміші – цементу. До того ж здешевленню продукції сприяє збільшення об'ємного вмісту в бетоні щебеню.

Пісний цементний бетон відомий досить давно, а дослідження його властивостей велися досить широко [5 – 8]. У роботах різних авторів зазначено, що влаштування шарів дорожніх одягів із пісного бетону має свої переваги і недоліки, які

створюють певні проблеми у його застосуванні. Але на сьогодні можна цілком впевнено сказати, що в будівництві, а можливо, і в реконструкції автошляхів в Україні найбільш доцільним є улаштування основ і шарів дорожніх одягів (зкорема нижнього шару двошарових покриттів) з пісного бетону, що ущільнюється методом укочування.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є проведення дослідження якості пісних бетонів, що ущільнюються пресуванням або укочуванням.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дослідження проводили на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів (ТДБМ) Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ – ХАДІ). Були досліджені щільність та міцнісні характеристики пісних укочених бетонів з різними витратами цементу: 120, 160, 200 кг/м<sup>3</sup>.

Зразки бетону виготовляли за різних показників тиску: 30, 45, 60 МПа, дослідження щільності проводили на 28 добу, зразки тверділи в нормальних умовах за температури + 20 ± 3 °С і відносної вологості 95±5 %. Результати досліджень щільності показано на рис. 3. Як видно з наведених даних, за умови тиску пресування бетонної суміші 30 МПа і витрати цементу 120 кг/м<sup>3</sup> щільність бетону склала 2099 кг/м<sup>3</sup> (рис. 3). Зі збільшенням тиску пресування до 45 і 60 МПа за цих же витрат цементу щільність бетону збільшилася до 2136 і 2154 кг/м<sup>3</sup> відповідно, тобто на 1,8 і 2,6 %. За витрати 160 кг/м<sup>3</sup> цементу та показників тиску пресування 30 МПа і 45 МПа щільність бетону становить 2111 і 2159 кг/м<sup>3</sup> відповідно. Зі зростанням тиску пресування до 60 МПа і за тієї ж витрати цементу щільність бетону

збільшується до 2180 кг/м<sup>3</sup>, тобто на 3,3 %. Для складів бетону з витратою цементу 200 кг/м<sup>3</sup> за умови тиску пресування 30 МПа щільність бетону склала 2154 кг/м<sup>3</sup>, а за 45 МПа і 60 МПа щільність практично однакова і становить 2193 і 2206 кг/м<sup>3</sup>, тобто зростає на 1,8 і 2,4 %.

Дослідження міцності пісних укочених бетонів показали, що за умови тиску пресування 30 МПа міцність бетонів у віці 7 діб природного твердіння в нормальних температурно-вологісних умовах (температура +20±2 °С, відносна вологість 95 %) склала: за витрати цементу 120 кг/м<sup>3</sup> – 49,6 кг/см<sup>2</sup>; за витрати цементу 160 кг/м<sup>3</sup> – 74,5 кг/см<sup>2</sup>; за витрати 200 кг/м<sup>3</sup> – 90,7 кг/см<sup>2</sup> (табл. 1).

Очевидна тенденція зростання міцності бетону зі збільшенням витрати цементу в складі бетонних сумішей (рис. 4, 5). На цьому добу твердіння (рис. 4) за витрат цементу 120 кг/м<sup>3</sup> за умови тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 49,6 кг/см<sup>2</sup>. Зі збільшенням тиску пресування до 45...60 МПа та за тих самих показників витрат цементу міцність бетону зростає на 28...30 % порівняно з бетоном, пресованим під тиском 30 МПа. Аналогічна тенденція збільшення міцності зі збільшенням тиску пресування спостерігається і за умови витрат цементу 160 кг/м<sup>3</sup> та 200 кг/м<sup>3</sup>. Для витрат цементу 160 кг/м<sup>3</sup> і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 74,5 кг/см<sup>2</sup>. Зі зростанням тиску пресування до 45 МПа та 60 МПа міцність збільшується до 95 кг/см<sup>2</sup> та 93,7 кг/см<sup>2</sup> відповідно, тобто на 27 % та 24 %. Для витрат цементу 200 кг/м<sup>3</sup> і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 90,7 кг/см<sup>2</sup>. Зі збільшенням тиску пресування до 45 МПа міцність зростає на 8 %, а за умови тиску пресування 60 МПа – на 39 %.

Тенденція збільшення міцності бетонів зі збільшенням тиску пресування та кількості цементу проявляється і у віці 28 діб твердіння (рис. 5). Для витрат цементу 120 кг/м<sup>3</sup> та тиску пресування 30 МПа міцність становить 68,1 кг/см<sup>2</sup>, зі збільшенням тиску пресування до 45 та 60 МПа міцність зростає на 21 % та 38 % відповідно. Зі збільшенням витрат цементу до 160 кг/м<sup>3</sup> та тиску пресування з 30 МПа до 45...60 МПа міцність пісного бетону збільшується на 13 % та 20 % відповідно. Для витрат цементу 200 кг/м<sup>3</sup> і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 126 кг/см<sup>2</sup>. За умови тиску пресування 45 МПа та 60 МПа міцність збільшується на 18 % та 31 % відповідно порівняно з бетоном, пресованим під тиском 30 МПа. Таким чином, максимальний приріст міцності пісних бетонів на 28 добу твердіння спостерігається за показників витрат цементу 120 кг/м<sup>3</sup> та тиску пресування 45 та 60 МПа.

В останні роки для поліпшення властивостей бетонів, що виготовляються методом укочування або різними способами пресування, набувають

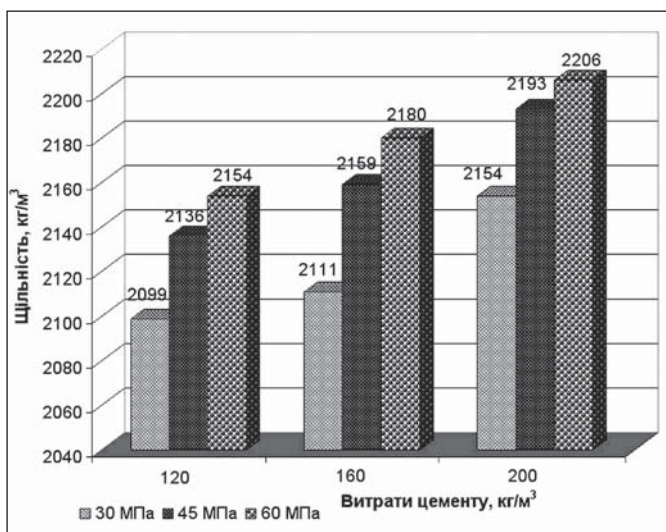


Рис. 3. Щільність пісного укоченого бетону залежно від витрат цементу

Міцність пісних укочених бетонів

№ складу	Тиск пресування, МПа	Витрати цементу, кг/м <sup>3</sup>	Міцність у віці, діб, R <sub>ср</sub> , кг/см <sup>2</sup>	
			7	28
1	30 МПа	120	49,6	68,1
2		160	74,5	100,5
3		200	90,7	126,0
1	45 МПа	120	63,7	82,4
2		160	95,0	113,7
3		200	98,1	149,7
1	60 МПа	120	64,5	93,8
2		160	93,7	120,6
3		200	126,4	165,0

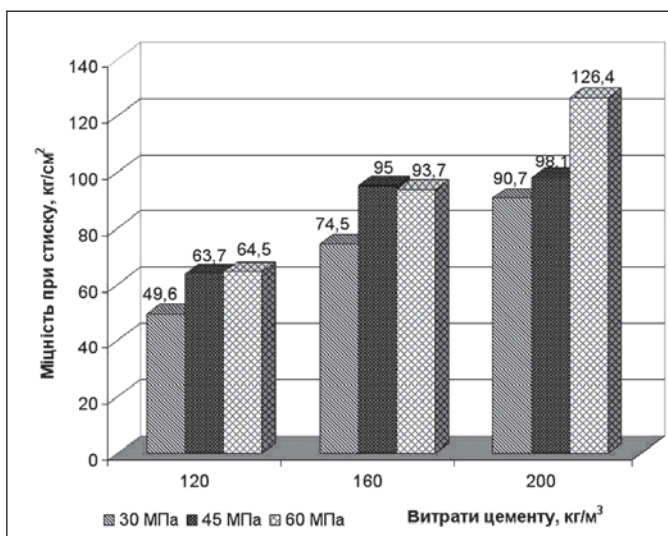


Рис. 4. Міцність пісних укочених бетонів у віці семи діб природного твердіння залежно від витрат цементу

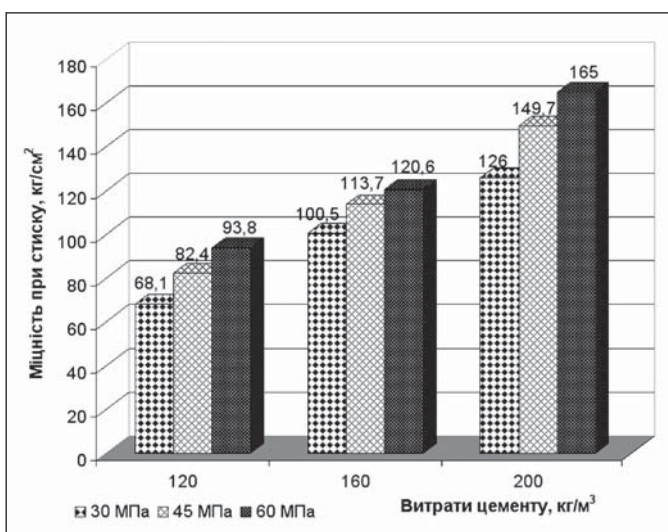


Рис. 5. Міцність пісних укочених бетонів у віці 28 діб природного твердіння залежно від витрат цементу

поширення різні хімічні добавки нового типу. Вони призначені для застосування в бетонах, які ущільнюються тільки пресуванням і укочуванням. Їхня ефективність для віброущільнених бетонів дуже низька. До таких добавок відносяться, наприклад, розробки фірми MC-Bauchemie (Німеччина) пластифікатор Murasan BWA 14 і спеціально розроблена добавка Techniflow 12. Названі добавки сприяють більш якісному ущільненню бетонних сумішей.

Дослідження проводили на дрібнозернистих бетонах, що виготовляються методом пресування за умови  $P = 40$  МПа і витрати цементу марки 400 у кількості  $120$  кг/м<sup>3</sup>. Результати дослідження впливу витрат добавок на щільність та міцність бетонів наведені в табл. 2. Дослідження показали, що введення пластифікатора приводить до зростання щільності пресованого бетону за оптимальної кількості добавки з  $2145$  кг/м<sup>3</sup> до  $2225$  кг/м<sup>3</sup>, тобто на 5%. Оптимум добавки склав 0,3% від маси цементу. Зі збільшенням витрати добавки до 0,6 і далі до 0,9% щільність пресованих бетонів починає знижуватися. Для добавки Techniflow притаманний такий самий ефект приросту щільності бетонів, як і в бетонів з оптимальною кількістю пластифікатора, але цей приріст спостерігається незалежно від витрати добавки. Таке підвищення щільності можна пояснити кращим ковзанням частинок суміші один щодо одного, що забезпечується адсорбцією добавок на частинках цементу. Цементне тісто забезпечує цього разу мастило і якісну упаковку частинок.

Аналогічні закономірності спостерігаються і в процесі визначення міцності пресованих пісних бетонів (табл. 2). максимальний приріст міцності спостерігається за показників витратах добавок 0,3% від маси цементу. Зі збільшенням витрати добавок до 0,6 і далі до 0,9% міцність пресованих бетонів починає знижуватися.

**Вплив витрати пластифікатора Murasan BWA 14 і добавки Techniflow 12 на властивості пресованих пісних бетонів**

№ з/п	Вид і кількість добавки, % від $m_c$	Щільність, $\rho$ кг/м <sup>3</sup>	Міцність у віці, діб, $R_{ct}$ , кг/см <sup>2</sup>	
			7	28
1	Без добавок	2145	58,8	62,8
2	Murasan BWA 14 – 0,3 % від $m_c$	2225	62,3	67,3
3	Murasan BWA 14 – 0,6 % від $m_c$	2207	60,1	65,2
4	Murasan BWA 14 – 0,9 % від $m_c$	2173	49,3	51,5
5	Techniflow 12 – 0,3 % від $m_c$	2232	59,4	64,0
6	Techniflow 12 – 0,6 % від $m_c$	2233	55,6	62,5
7	Techniflow 12 – 0,9 % від $m_c$	2234	48,3	59,3

У дослідженнях морозостійкості пісних укочених бетонів використовували склади, які відрізнялися витратою цементу і наявністю хімічної добавки (табл. 3). Як хімічну добавку застосовували Murasan BWA 14, яка сприяє більш якісному ущільненню бетонних сумішей. За більш якісного ущільнення сумішей, відповідно, повинні поліпшуватися показники якості пісних укочених бетонів, такі як міцність, водопоглинання і морозостійкість. Це підтверджують дані табл. 3. Так, наприклад, міцність пісних укочених бетонів за умови введення хімічної добавки збільшується на 10 % за витрати цементу 120 кг/м<sup>3</sup> і на 11 % за витрати цементу 160 кг/м<sup>3</sup>. Ця величина приросту міцності значно менша, ніж для віброущільнених бетонів, у які вводять суперпластифікатори. Але слід врахувати, що суперпластифікатори мають водознижувальну дію, а добавки цього типу призначені для поліпшення ущільнення жорстких бетонних сумішей і мають свій, зовсім інший механізм дії. Тому невеликий приріст міцності бетонів з добавкою порівняно з бетонами без добавки, пояснюється лише однією причиною - створенням більш щільної структури пісних укочених бетонів.

Введення добавки Murasan BWA 14 до складу пісних укочених бетонів приводить до зниження водопоглинання, що підтверджує висловлене припущення. У бетонах з витратою цементу 120 кг/м<sup>3</sup> водопоглинання знижується на 16 %, а в бетонах з витратою цементу 160 кг/м<sup>3</sup> це зниження менш помітне - на 5 %. Менше зниження

водопоглинання можна пояснити наявністю в складі останніх більшої кількості цементу, який на початковій стадії (скомпонування частинок наповнювачів) грає роль тонкого наповнювача і сприяє створенню більш щільної структури бетону, ніж за умови меншої витраті цементу.

Крім досліджень у лабораторії кафедри проводили порівняльні випробування кернів, відібраних з основи, що будувалася в цей період в Курській області, дороги 2 категорії (рис. 6). Співробітниками кафедри ТДБМ ХНАДУ було проведено науковий супровід будівництва цього та низки інших об'єктів, який показав, що фактична щільність зразків бетону, що укладаються в основу доріг і майданчиків, становить 2300...2450 кг/м<sup>3</sup>, залежно від застосовуваних матеріалів і ущільнювальної техніки. Така щільність відповідає щільності важких цементних бетонів.



Рис. 6. Ділянка основи з пісного укоченого бетону на дорозі 2 категорії в Курській області

Таблиця 3

**Властивості пісних укочених бетонів**

№ з/п	Кількість цементу, кг/м <sup>3</sup>	Добавка BWA 14, % від $m_c$	$R_{ct}$ , МПа	Водопоглинання, W, %	Коефіцієнт морозостійкості після кількості циклів		
					100	150	200
1	120	-	85,5	3,64	0,99	0,95	0,78
2	120	0,4 %	93,7	3,15	1,04	0,95	0,92
3	160	-	132,0	2,84	1,03	1,0	0,92
4	160	0,4 %	146,0	2,7	1,04	0,99	0,94

Швидкість набору міцності пісних бетонів з правильно підібраним складом у реальних умовах будівництва через 18 годин становила 30...35 кг/см<sup>2</sup>, що дозволяло пересуватися по укладеній основі важкій техніці – навантаженим автосамоходам з бетонними сумішами і 24-тонним кот-

кам. Міцність бетону у віці 28 діб за умови витрат цементу не більше 120...140 кг/м<sup>3</sup> перевершила марку М100. Водопоглинання бетону не перевищувало 4...5 %. Морозостійкість бетону кернів відповідала маркам F75...F100, що значно вище за вимоги до бетону основ (F25).

#### ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що максимальний приріст щільності пресованих пісних бетонів спостерігається за умови витрати цементу 200 кг/м<sup>3</sup>. А найпомітніше зростання щільності бетонів зі збільшенням витрати цементу забезпечується за умови тиску пресування 60 МПа.
2. Показано, що максимальний приріст міцності пісних бетонів на 28 добу твердіння спостерігається за умови витрати цементу 120 кг/м<sup>3</sup> та тиску пресування 45 та 60 МПа. Міцність пісного бетону збільшується на 21 % та 38 % відповідно.
3. Введення спеціальних добавок для пресованих бетонів дозволяє підвищити їхні щільність і міцність за рахунок кращої упаковки зерен заповнювача.
4. Встановлено, що морозостійкість пісних укочених бетонів з витратами цементу 120...160 кг/м<sup>3</sup> відповідає марці F150 і не залежить від наявності або відсутності хімічної добавки *Murasan BWA 14* у складі бетону.
5. Результати лабораторних і практичних досліджень показали безсумнівну ефективність улаштування основ, а також нижніх шарів покриттів автомобільних доріг усіх категорій з пісного бетону, що укладається за допомогою асфальтоукладальників і ущільнюється котками. З деяким збільшенням витрат в'язучого та коригуванням складу цим способом можна влаштовувати не тільки основи та нижні шари покриттів, але й верхні шари проїжджої частини автомобільних доріг.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лесовик Р. В. Разработка укатываемого бетона на техногенном сырье для дорожного строительства / Р. В. Лесовик, В. В. Строкова, М. С. Ворсина // Строительные материалы. – 2004. – № 9. – С. 8 – 9.
2. Лесовик Р. В. Пути снижения материалоемкости в дорожном строительстве / Р. В. Лесовик // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 4. – С. 6 – 7.
3. Петрович П. П. Укатываемый бетон в дорожном строительстве / П. П. Петрович // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. – М. Ассоциация «Железобетон», 2001. – Кн. 3. Секционные доклады: секции III – VII. – С. 1727 – 1731.
4. Что такое тощий бетон. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tolkobeton.ru/beton/toshhij-beton.html>
5. Фролов А. Б. Опыт использования укатываемого бетона в дорожном строительстве / А. Б. Фролов // Энергетическое строительство за рубежом, 1985. – № 1. – С. 30 – 35.
6. Пинус Э. Р. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог / Э. Р. Пинус. – М.: Высшая школа, 1975. – 303 с.
7. Корюков В. П. Жесткий цементобетон / В. П. Корюков // Автомобильные дороги, 1988. – № 9. – С. 20 – 21.
8. Костенко Ю. А. Цементные бетоны, уплотняемые катками / Ю. А. Костенко, И. М. Грушко, В. А. Бирюков, С. Н. Толмачев // Автошляховик України, 1996. – № 2. – С. 34 – 37.

