https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.085

УДК 625.841

Кривобок О. В., *https://orcid.org/0000-0002-5424-8664*
Биковець М. М., *https://orcid.org/0000-0002-7490-7479*

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

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ УЛАШТУВАННЯ ШАРІВ ЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ СУМІШЕЙ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ УКОЧУВАНИХ ДОРОЖНІХ І ТРАДИЦІЙНИХ СУМІШЕЙ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ДОРОЖНІХ

Анотація

Вступ. Цементобетон укочений дорожній — багатокомпонентний, каменевидний матеріал, який отримуємо із суміші цементобетонної укочуваної дорожньої, що характеризується підвищеними вимогами до міцності на розтяг при згині, водонепроникненості, водопоглинання, стираності і морозостійкості.

Застосовуючи технологію влаштування шарів дорожнього одягу із цементобетону укоченого дорожнього, можна домогтися значної економії енергоємності при застосуванні машин і обладнання, забезпечити меншу усадку бетону в процесі твердіння через низьке водоцементне відношення.

Проблематика. Здійснити порівнння фізико-механічних характеристик та технології улаштування цементобетону традиційного порівняно з укоченим цементобетоном дорожнім. Оскільки в Україні, на теперішній час, відсутній, за виключенням окремих ділянок, практичний досвід улаштування та утримання автомобільних доріг із покриттям з укочуванного цементобетону, встановити його переваги та недоліки.

Мета. Виконати аналіз технології улаштування укоченого цементобетону. Порівняти фізико-механічні характеристики укоченого цементобетону та традиційного цементобетону.

Матеріали і методи. У роботі виконано аналіз вітчизняних і зарубіжних джерел за тематикою, проведені лабораторні дослідження. Проведено експериментальне дослідження цементобетону укоченого дорожнього, проаналізовано українські й іноземні літературні джерела.

Результати. Визначено фізико-механічні характеристики укоченого цементобетону та виконано їх порівняння з традиційним цементобетоном.

Висновки. Проведений огляд та аналіз наукових публікацій і технічної документації, виконані екпериментальні дослідження, підтвердили перспективу й економічну доцільнсть застосування в Україні покриття із укочуваного цементобетону.

Ключові слова: автомобільна дорога, віброущільнений цементобетон, міцність, морозостійкість, покриття, цементобетон укочуваний дорожній.

Вступ

Цементобетон укочений дорожній — багатокомпонентний, каменевидний матеріал, який отримуємо із суміші цементобетонної укочуваної дорожньої, що характеризується підвищеними вимогами до міцності на розтяг за згину, водонепроникненості, водопоглинання, стираності і морозостійкості.

Цементобетон укочений дорожній, у міжнародній практиці Roller Compacted Concrete (RCC), використовують у багатьох країнах світу, зокрема улаштування шарів дорожнього одягу з укоченого цементобетону отримало широкого поширення в Швеції і Фінляндії. Ще у 1984 році в Швеції улаштовано 10 тисяч м^2 покриття, у 1986 році — 100 тисяч м^2 [8].

У США інтерес до покриття з укоченого цементобетону пояснювався наступними причинами. Перша — пошук методів швидкого будівництва дорожього покриття у воєнний час. У цьому випадку головними були швидкість будівництва доріг і застосування нескладного обладнання у мінімальній кількості. Друга — отримання економічного і довговічного покриття, яким могла б пересуватися військова техніка, забезпечення рівності та шорсткості на цьому етапі не були головною вимогою [4].

Цементобетон укочений дорожній відрізняється від цементоґрунту тим, що він містить більш крупні зерна заповнювача, а від ЩПС, обробленого цементом, — вищим вмістом в'яжучого. Улаштоване з цього матеріалу дорожнього покриття розраховують на сприйняття більш високих навантажень від транспортних засобів, а тому вони повинні мати вищу міцність на стиск і розтяг за згину, бути більш морозостійкими та зносостійкими.

Витрати часу на улаштування шару покриття з такого бетону майже на 30 % менші, порівняно з витратами на спорудження шарів з традиційного цементобетону [7].

На сучасному етапі, у зв’язку зі зростанням цін на бітум, широким застосуванням місцевих будівельних матеріалів, розвитком техніки для укладання й ущільнення жорстких бетонних сумішей, це питання набуває ще більшої актуальності.

Крім того, застосовуючи технологію влаштування шарів дорожнього одягу з цементобетону укоченого дорожнього, можна домогтися значної економії енергоємності при застосуванні машин і обладнання, забезпечити меншу усадку бетону в процесі твердіння через низьке водоцементне відношення [2].

Основна частина

Улаштування покриття із укоченого цементобетону включає укладання та ущільнення цементобетонної суміші з використанням обладнання, схожого з тим, яке використовують для улаштування шарів нежорсткого дорожнього одягу із асфальтобетонних сумішей. Це значно скорочує строки улаштування цементобетонного покриття. Крім того, для улаштування цього покриття не використовують арматуру та опалубку. Ці аспекти дозволяють зменшити вартість такого покриття порівняно з вартістю традиційного цементобетонного покриття.

Улаштування покриття із укоченого цементобетону включає в себе такі етапи:

– підготовку шару основи;
– приготування та транспортування до об’єкта цементобетонної суміші;
– укладання, ущільнення, улаштування швів (за необхідності) та догляд [3].

Вимоги для шарів основи дорожнього одягу такі самі, як і для традиційного цементобетонного покриття.

Шар основи (за необхідності) використовують для водовідведення з нижньої частини дорожнього одягу, щоб запобігти водонасиченню цементобетону в тих місцях, де нижня частина дорожнього одягу зазнає процесу замерзання-розмерзання. Поверхню шару основи зволожують перед початком укладанням цементобетонної суміші. Це особливо важливо для даного різновиду цементобетону. За необхідності копірні струни закріплють паралельно осі дороги [6].

Цементобетонні шари основи дорожнього одягу влаштовують комплексом механізмів, які передбачають укладання та ущільнення «пісного» укочуваного цементобетону. До них відносяться:

– асфальтоукладачі, які застосовують для розподілення і попереднього ущільнення укладеної цементобетонної суміші;

– котки гладковальцеві, на пневматичних шинах, вібраційні та комбінованої дії для остаточного ущільнення цементобетонної суміші;

– механізми для здійснення догляду за «пісним» цементобетоном, який твердіє: розподільники плівкоутворювальної речовини, поливально-мийні машини;

– механізми для нарізання швів.

Під час улаштування шару основи дорожнього одягу із «пісного» цементобетону методом укочування слід дотримуватись наступної послідовності виконання основних технологічних операцій:

– встановлення копірної струни;
– транспортування цементобетонної суміші, її розподілення та ущільнення;
– догляд за свіжоукладеним цементобетоном.

Догляд повинен починатися відразу після ущільнення цементобетону і продовжуватися до набору критичної міцності (70 % від проєктної міцності) протягом (7–10) діб. У цей період твердіння цементобетон необхідно проливати водою для забезпечення нормальних умов твердіння. Норму витрат води встановлюють залежно від складу нижнього шару основи. Відразу після укочування на поверхню цементобетону бажано нанести плівкоутворювальний розчин за нормою від 200 г/м^2 до 400 г/м^2.

Цементобетонну суміш укладають на (3–5) см вище проєктної товщини нижнього шару в щільному тілі, залежно від типів котків, які використовують, та прийнятої технології ущільнення суміші. Висоту перевищення цементобетонної суміші над проєктною відміткою коригують на початковому етапі робіт під час улаштування першої ділянки.

Товщина шару укоченого, зокрема «пісного», цементобетону в проєктних відмітках не повинна перевищувати 18 см. При більшій товщині шару укоченого цементобетону влаштування цементобетонної основи слід виконувати в два шари [5].

Виробництво суміші цементобетонної укочуваної дорожньої рекомендується здійснювати на сучасних пересувних або мобільних цементобетонних заводах, продуктивність яких залежить від необхідного об’єму суміші для постачання на будівельну ділянку. Конструкція бетонозмішувачів та режим виробництва повинні забезпечувати одержання цементобетонної суміші, яка за своїми властивостями задовольняє вимоги ДСТУ 8858.

Під час виготовлення суміші цементобетонної укочуваної дорожньої потрібно використовувати бетонозмішувальні установки зі змішувачем примусового перемішування з одним або двома горизонтальними валами циклічного типу. При виготовленні цементобетонної суміші для основи допускається застосування циклічних змішувачів примусового перемішування з вертикально розташованим валом або безперервного типу.

Суміш цементобетонну укочувану дорожню потрібно транспортувати в автосамоскидах для зручного і швидкого її розвантаження в приймальний бункер асфальтоукладача. Під час транспортування цементобетонної суміші особливу увагу потрібно приділити захисту суміші від втрат вологи, чи зволоження атмосферними опадами, для цього суміш в кузові автосамоскида вкривають вологим брезентом. Після вивантаження цементобетонної суміші кузов автосамоскида потрібно очистити та промити водою.

Ущільнення суміші здійснюють за допомогою гладковальцевих котків массою від 7 т до 9 т та від 12 т до 16 т. Спочатку ущільнення здійснюють легкими або середніми котками, завершують ущільнення важкими котками. Кількість проходів кожного котка по одному сліду визначають шляхом відбору проб з влаштованого шару. При цьому фізико-механічні властивості зразків цементобетону укоченого дорожнього повинні відповідати проєктним вимогам і властивостям зразків, виготовлених у лабораторних умовах.

Для дослідження фізико-механічних характеристик цементобетону укоченого дорожнього було проведено його лабораторні дослідження з метою визначення міцності на стиск та морозостійкості. Одночасно були виконанні відповідні випробування традиційного (віброущільненого) цементобетону (**табл. 1**, **табл. 2**).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика міцності на стиск цементобетонів

Витрати цементу, кг/м³	Віброущільнений цементобетон			Укочений цементобетон		
	Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		Середня міцність на стиск, МПа, у віці, діб	Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		Середня міцність на стиск, МПа, у віці, діб
	7	28	28	7	28	28
280	23,5	29,1	29,2	24,1	31,1	31,3
	24,1	29,3		25,8	30,9	
	23,8	28,6		24,8	31,5	
330	29,1	34,2	36,5	29,3	36,3	39,1
	30,7	37,2		30,1	39,8	
	29,4	35,8		29,6	38,4	
380	31,1	39,2	39,4	34,1	41,1	42,4
	31,6	39,6		35,4	42,2	
	29,5	38,8		35,6	42,6	

Таблиця 2

Значення показників морозостійкості віброущільненого цементобетону

Назва складу	Ч.ч.	Міцність на стиск контрольних зразків, МПа	Середня міцність, МПа	Міцність на стиск, МПа		Зміна міцності після 20 циклів, не більше, %		Зміна маси після 20 циклів, не більше, %	
				Після 20 циклів	Середня міцність	вимоги ДСТУ Б В.2.7-49	фактична	вимоги ДСТУ Б В.2.7-49	фактична
Контрольний склад	1-1	34,2	35,78	–	–	–	–	–	–
	1-2	35,3							
	1-3	36,1							
	1-4	35,8							
	1-5	34,6							
	1-6	35,9							
Основний склад	1-7	–	–	34,2	34,08	5,0	мінус 4,75	3,0	мінус 2,4
	1-8			35,1					
	1-9			33,4					
	1-10			32,8					
	1-11			33,6					
	1-12			32,5					

Таблиця 3

Фактичні значення показників морозостійкості укоченого цементобетону

Назва складу	Ч.ч.	Міцність на стиск контрольних зразків, МПа	Середня міцність, МПа	Міцність на стиск, МПа		Зміна міцності після 20 циклів, не більше, %		Зміна маси після 20 циклів, не більше, %	
				Після 20 циклів	Середня міцність	вимоги ДСТУ Б В.2.7-49	фактична	вимоги ДСТУ Б В.2.7-49	фактична
Контрольний склад	2-1	36,5	37,68	–	–	–	–	–	–
	2-2	36,4							
	2-3	37,1							
	2-4	38,2							
	2-5	37,8							
	2-6	37,6							
Основний склад	2-7	–	–	35,9	36,30	5,0	мінус 3,66	3,0	мінус 2,8
	2-8			36,8					
	2-9			36,1					
	2-10			36,4					
	2-11			35,2					
	2-12			35,8					

Дослідження на морозостійкість виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-47-96 «Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги» і ДСТУ Б В.2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні». Результати випробувань показали, що дослідні зразки із обох цементобетонних сумішей відповідають за морозостійкістю марці F200. Також зразки відповідають вимогам пункту 6.3 ДСТУ 8858:2019 «Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови», проте значення міцності на стиск у зразків з укочуванного цементобетону, за однакових умов, виявились на (2–3) МПа вищими.

Висновки

1. Виконані порівняльні лабораторні випробування засвідчили, що зразки із обох видів цементобетонної суміші відповідають вимогам норм, що є підтвердженням можливості використання сумішей цементобетонних укочуваних дорожніх для влаштування шарів дорожнього одягу.

2. Аналіз існуючого міжнародного досвіду також доводить актуальність використання технології укочуваного цементобетону і пітверджує її економічну ефективність порівняно з традиційним цементобетоном.

3. Основними перевагами використання укочуваного цементобетону є зменшений вміст цементу, відсутність армування, швидкість улаштування конструктивного шару дорожнього одягу і відкриття руху по ньому, стійкість до великих навантажень і впливу кліматичних чинників.

Список літератури

1. Anderson, R. Roller-Compacted Concrete Pave-ments—Physical Properties (Belaggningar av valtbetong- fysikaliskaengenskaper). CBI Report No. Ra 3:86. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Stockholm, 1986.

2. McCormick, W. N., Jr., Engineer Technical Letter 1110-1-126, Chief, Engineering Division, Directorate of En-gineering and Construction, Department of the Army, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 1985.

3. Holder, R., Roller Compacted Concrete Pavement Tactical Equipment Hardstand, Line Item 434. Contract No. DACA83-C-0188, Fort Hood, Tex., 1984, Fort Worth District, Corps. of Engineers.

4. Guide for roller-compacted concrete pavements. USA, 2010. 105 p. URL: https://www.irmca.com/wp-content/uploads/2014/12/cp_tech_center_-_rcc_guide.pdf (дата звернення: 18.07.2022).

5. Р В.2.7-02071168-870:2016 Рекомендації з приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуванного цементобетону. Київ, 1016. 48 с. (Інформація та документація).

6. ТТК 37641918/02071168-198:2016 Типова технологічна карта на влаштування шару основи дорожнього одягу із пісного укочуванного цементобетонну. Київ, 2016. 56 с. (Інформація та документація).

7. Євгеній Маргайлик. Покриття автомобільних доріг з жорстких укочуваних бетонних сумішей. *Будівництво та нерухомість.* URL: https://nestor.minsk.by/sn/1998/17/sn81725.htm (дата звернення: 18.07.2022).

8. Гамеляк І. П., Островерхий О. Г., Дмитриченко А. М. Досвід впровадження укоченого цементобетону в дорожньому будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* Київ, 2018. Вип. 108. 2020. С. 96–108.

9. Корецький А. С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям. *Автошляховик України*. Вип. 2. Київ. 2013. С. 24–31.

10. Гамеляк І. П., Шургая А. Г., Дмитриченко А. М. Дорожній цементобетон для будівництва місцевих доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* Київ, 2019. Вип. 106. С. 12–23.

References

1. Anderson, R. Roller-Compacted Concrete Pave-ments—Physical Properties (Belaggningar av valtbetong-fysikaliskaengenskaper). CBI Report No. Ra 3:86, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1986 [in Swedish].

2. McCormick, W. N., Jr., Engineer Technical Letter 1110-1-126, Chief, Engineering Division, Directorate of En-gineering and Construction, Department of the Army, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 1985 [in English].

3. Holder, R., Roller Compacted Concrete Pavement Tactical Equipment Hardstand, Line Item 434. Contract No. DACA83-C-0188, Fort Hood, Tex., 1984, Fort Worth District, Corps. of Engineers [in English].

4. Guide for roller-compacted concrete pavements. USA, 2010. 105 p. URL: https://www.irmca.com/wp-content/uploads/2014/12/cp_tech_center_-_rcc_guide.pdf [in English].

5. R V.2.7-02071168-870:2016 Rekomendatsii z pryhotuvannia pisnykh tsementobetonnykh sumishei ta vlashtuvannia osnov dorozhnikh odiahiv iz pisnoho ukochuvannoho tsementobetonu [Recommendations (R V.2.7-02071168-870:2016) Recommendations for the preparation of lean cement concrete mixtures and the arrangement of the bases of road clothing from lean rolled cement concrete]. Kyiv, 1016. 48 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

6. TTK 37641918/02071168-198:2016 Typova tekhnolohichna karta na vlashtuvannia sharu osnovy dorozhnoho odiahu iz pisnoho ukochuvannoho tsementobetonnu [Typical Technological Map (TTK 37641918/02071168-198:2016) A typical technological map for the arrangement of the base layer of road clothing from lean rolled cement concrete]. Kyiv, 2016. 56 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

7. Yevhenii Marhailyk. Pokryttia avtomobilnykh dorih z zhorstkykh ukochuvanykh betonnykh sumishei [Covering roads from hard rolled concrete mixtures]. *Budivnytstvo ta nerukhomist.* URL: https://nestor.minsk.by/sn/1998/17/sn81725.htm (Last accessed: 18.07.2022) [in Ukrainian].

8. Hameliak I. P., Ostroverkhyi O. H., Dmytrychenko A. M. Dosvid vprovadzhennia ukochenoho tsementobetonu v dorozhnomu budivnytstvi [Experience of introduction of hardened cement concrete in road construction]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo.* Kyiv, 2018. Iss. 108. 2020. P. 96–108 [in Ukraine].

9. Koretskyi A. S., Koretskyi S.S. Pro neobkhidnist budivnytstva v Ukraini avtomobilnykh dorih iz tsementobetonnym pokryttiam [About the need to build roads with a concrete pavement in Ukraine]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. Iss. 2. Kyiv. 2013. P. 24–31 [in Ukrainian].

10. Hameliak I. P., Shurhaia A. H., Dmytrychenko A. M. Dorozhnii tsementobeton dlia budivnytstva mistsevykh dorih [Road concrete for the construction of local roads]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2019. Iss. 106. P. 12–23 [in Ukrainian].

Oleksandr Kryvobok, *https://orcid.org/0000-0002-5424-8664*
Mykola Bykovets, *https://orcid.org/0000-0002-7490-7479*

M.P. Shulgin State Road Research Institute – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE TECHNOLOGIES OF ARRANGEMENT OF RIGID PAVEMENT LAYERS FROM ROLLER-COMPACTED CONCRETE MIXTURES AND TRADITIONAL PAVING CONCRETE MIXTURES

Abstract

Introduction. Paving roller-compacted concrete is a multi-component, artificially obtained stone-like material that is obtained from a paving roller-compacted concrete mixture, which is characterized by increased requirements for tensile strength at bending, waterproofing, water absorption, abrasion and frost resistance.

Applying the technology of arrangement of pavement layers from paving roller-compacted concrete, allows to achieve significant savings in energy consumption when using machines and equipment, to ensure less shrinkage of concrete during curing due to low water-cement ratio.

Problem statement. To compare the characteristics and arrangement of traditional cement concrete and paving roller-compacted concrete, to find out whether roller-compacted concrete is an alternative to traditional concrete. Since Ukraine currently lacks, with the exception of certain areas, practical experience in the construction and maintenance of roads with a surface of rolled-compacted concrete, to establish its advantages and disadvantages.

Purpose. Perform an analysis of the technology of arrangement of roller-compacted concrete. Compare the physical and mechanical characteristics of roller-compacted concrete and traditional cement concrete.

Materials and methods. In the work, the analysis of domestic and foreign sources by topic was carried out, laboratory research was carried out. An experimental study of paving roller-compacted concrete was performed, literary sources of Ukrainian and foreign origins were analyzed.

Results. The physical and mechanical characteristics of hardened cement concrete were determined and compared with traditional cement concrete.

Conclusions. The conducted review and analysis of scientific publications and technical documentation, performed experimental studies, confirmed the perspective and economic feasibility of using of rolled-compacted concrete pavement in Ukraine.

Keywords: road, vibro-compacted cement concrete, strength, frost resistance, pavement, paving roller-compacted concrete.