

УДК 666.972.2

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.2.12

ПРОЄКТУВАННЯ СКЛАДІВ ДОРОЖНІХ УКОЧУВАНИХ БЕТОНІВ

Балабух Я. А., Марущак У. Д., Бідось В. М.
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Наведено результати проєктування складів жорстких бетонів, що базуються на підборі суміші заповнювачів оптимального гранулометричного розподілення. Встановлено, що розроблені укочувані бетони характеризуються показниками міцності на стиск для класу С32/40, міцності на розтяг при згині – $B_{\text{вб}}5,2$.

Ключові слова: дорожній цементобетон, укочуваний бетон, гранулометричний розподіл, міцність на стиск, міцність на розтяг при згині.

Вступ

Існуюча мережа автомобільних доріг загального користування за протяжністю та щільністю на 1000 км² території на сьогодні задовольняє лише базові національні потреби економіки та потреби населення у перевезеннях [1]. Економічний та соціальний розвиток країни забезпечується приведенням транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг України у відповідність до європейських стандартів та вимог і вимагає поточного чи капітального ремонту існуючих доріг, а також будівництва нових якісних доріг.

Аналіз публікацій

Світовий досвід свідчить, що в умовах інтенсивного руху з великими швидкостями автомобільного транспорту та різким гальмуванням високі експлуатаційні якості дорожніх покриттів забезпечуються впровадженням цементобетонів [2, 3]. Згідно з Концепцією державної цільової економічної програми будівництва автомобільних доріг, частку автомобільних доріг з цементобетонним покриттям у загальній протяжності в довгостроковій перспективі (до 2040 року) планується збільшити до 30 %, в т. ч. в середньостроковій перспективі (2021–2025 роки) – до 5 %.

Забезпечення показників довговічності та надійності доріг з цементобетонним покриттям у складних умовах експлуатації зумовлює використання високоміцних бетонів з витратою портландцементу 350–375 кг/м³ [4, 5].

Останнім часом актуальними є дослідження, пов'язані з отриманням ефективних дорожніх цементобетонів, які спрямовані на мінімізацію вмісту цементу при забезпеченні необхідних технологічних характеристик, міцності та вимог довговічності бетонного покриття; зниження собівартості бетону, досягнення зменшення споживання енергії та

викидів вуглекислого газу [6]. Одним із ефективних рішень спорудження якісних, довговічних, економічних дорожніх покриттів є використання укочуваного бетону (roller-compacted concrete) – жорсткої цементобетонної суміші з низьким водоцементним відношенням, що вкладається асфальтоукладальником та ущільнюється котками подібно до асфальтобетонного покриття [7].

Використання укочуваного бетону характеризується технічними, економічними та екологічними перевагами жорстких дорожніх покриттів порівняно з нежорсткими [8–10]. Серед таких переваг для укочуваного бетону виділяють зниження вартості дорожнього покриття з його використанням на 15–20 % порівняно з покриттям з асфальтобетону чи монолітного цементобетону; підвищення довговічності та відсутність колійності порівняно з асфальтобетонним покриттям; укладання без використання опалубки, виготовлення без застосування імпортованих матеріалів та радикального переоснащення дорожнього підприємства. Крім того, за рахунок високої жорсткості бетонної суміші укочуваного бетону створюється можливість швидшого відкриття руху автомобільного транспорту порівняно з цементобетонним монолітним покриттям.

Враховуючи переваги укочуваного бетону, реалізація проєктів з його використанням у світі постійно зростає [7]. Укочуваний бетон добре зарекомендував себе для дорожнього покриття у портах, контейнерних майданчиків та виробничих підприємств, в т.ч. важкої промисловості, а також на міждержавних магістралях, які призначені для руху важких транспортних засобів з навантаженням на вісь до 120 т, на злітно-посадкових смугах і стоянках в аеропортах, міських вулицях, для швидкої реконструкції місцевих доріг [7–10].

Проектування якісних сумішей укочуваного бетону базується на врахуванні експлуатаційних властивостей, будівельних вимог та економічної ефективності. Властивості укочуваного бетону подібні до властивостей звичайного цементобетонного покриття, але досягаються за допомогою різних співвідношень компонентів суміші та будівельних технік [11–13].

Суміші укочуваного бетону повинні характеризуватися певною жорсткістю, щоб витримувати вагу вібраційного котка під час вкладання; при цьому кількість води та цементного тіста повинні забезпечити рівномірний розподіл компонентів бетонної суміші, отримання міцного і довговічного покриття.

Пісний укочуваний бетон (діапазон витрат цементу – 120–180 кг/м³) широко використовується для влаштування основ дорожніх одягів з асфальтобетону та цементобетону. При цьому клас за міцністю на стиск такого бетону, згідно з Р В.2.7-02071168-870:2016, не перевищує В5–В12,5, а міцність на згин повинна бути класів від В_{тб} 0,8 до В_{тб} 2,0.

Суміші укочуваного бетону містять ті самі компоненти, що і традиційні бетони, проте, як правило, мають меншу кількість цементуючих матеріалів, крупного заповнювача та води, ніж звичайні бетонні суміші, і більший об'єм дрібних заповнювачів, які заповнюють порожнечу в системі покриття [7].

При проектуванні жорстких бетонних сумішей істотного значення набуває підбір заповнювачів [15]. Дрібні заповнювачі в укочуваному бетоні упаковані щільніше, ніж у звичайному бетоні. Таке упакування частинок заповнювачів забезпечує тертя між ними та сприяє початковій несучій здатності покриття. Однак рух, за винятком випадкових легких транспортних засобів, не рекомендується, поки укочуваний бетон не досягне міцності на стиск, як правило, 14–17 МПа [3, 12].

Мета і постановка завдання

Метою роботи є проектування складів укочуваного бетону та дослідження їх міцнісних показників.

Матеріали та методи досліджень

Для приготування бетонних сумішей укочуваного бетону використовували портландцемент ПЦ І-500 Р-Н ПрАТ «Івано-Франківськцемент», що характеризується показниками міцності через 2 та 28 діб відповідно 31,8 та 52,1 МПа. Як дрібний заповнювач використано відсів щебеню та природний кварцовий пісок Миколаївського родовища з

модулем крупності 1,32. Як крупний заповнювач використано щебінь фракції 5–20 мм. Кількість води встановлювали експериментально для одержання бетонної суміші жорсткої консистенції.

Зразки бетону випробовували на міцність при стиску та розтяг при згині згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

Проектування складів дорожніх укочуваних бетонів

Для підбору оптимального складу укочуваного цементобетону запроєктовано три варіанти сумішей заповнювачів з різним гранулометричним складом (рис. 1).

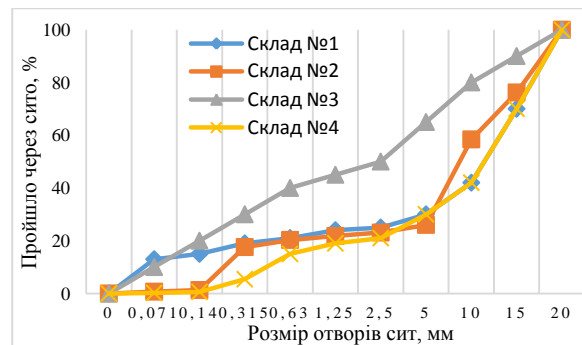


Рис. 1. Криві розсіву суміші заповнювачів

В основі складу 1 використано гранулометричне розподілення зерен заповнювачів мінеральної частини ЦМА-20 (нижня крива) згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015, що відповідає рекомендаціям Р В.2.7-02071168-870:2016 з підбору укочуваного цементобетону. Склад 2 запроєктовано як склад важкого цементобетону класу С25/30 з урахуванням рекомендацій ДСТУ Б В.2.7-215:2009 та ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Цей склад характеризується пониженим вмістом фракцій, менших 0,16 мм. Для покращення легкоукладальності запроєктовано склад 3 зі збільшеним вмістом піщаної фракції (понад 50 %).

Кількість портландцементу ПЦ І-500 становила 11 % у складі бетонної суміші, що в перерахунку на 1 м³ відповідає витраті 280–290 кг. При цьому водопотреба складає 0,72–0,74, що зумовлено значним вмістом фракцій розміром меншим, ніж 0,16 мм. Слід відзначити, що суміш складу 1 при формуванні мала гладку поверхню (рис. 2, а). У той же час поверхня суміші складу 2 після формування була неоднорідною (рис. 2, б), що зумовлено наявністю підвищеної кількості крупного заповнювача. Рівність поверхні складу 3 не вдалось забезпечити вібруванням (рис. 2, в).

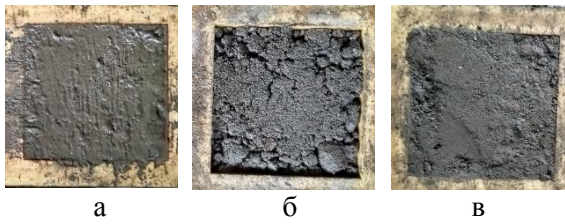


Рис. 2. Свіжоукладені уочувані цементобетонні суміші: склад 1 (а); склад 2 (б); склад 3 (в)

Результати визначення середньої густини бетонів показали, що середня густина бетону складу 1 становить 2390 кг/м^3 , у той час як складу 2 знижується на 5 %, а складу 3 – на 7 %, порівняно зі складом 1 (рис. 3). Показники міцності на стиск через 2 доби запроєктованих бетонів добре корелюють зі значеннями середньої густини. Так, міцність складу 1 становить 12,9 МПа, складу 2 знижується в 2 рази, складу 3 – в 4 рази.

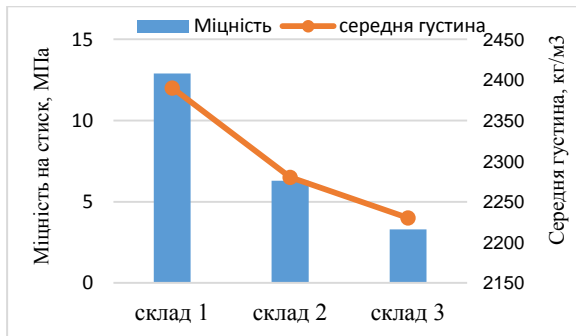


Рис. 3. Міцність на стиск через 2 доби та середня густина бетонів

Для зменшення водопотреби у складі 1 замінили дрібнодисперсну фракцію відсіву на пісок (склад 4) (рис. 1). Кількість цементу в бетонній суміші становила 11 % від маси компонентів. Водопотреба суміші при цьому знизилась до 0,48. Отриману бетонну суміш вкладали у форму 2 варіантами: в один прийом (варіант 1), а також у 2 шари з інтервалом 30 хв, щоб дослідити, чи не буде розшарування цементобетону під час укладання з технологічною перервою.

Як видно з результатів випробувань (рис. 4), заміна частини відсіву на природний пісок дає змогу збільшити в 2,6 рази міцність на стиск через 2 доби порівняно з складом, що містить тільки відсів (склад 1), за рахунок зменшення вмісту пилюватих частинок.

Слід відзначити, що для бетону, який укладали пошарово з інтервалом 0,5 год, не спостерігається розшарування, а його міцність дещо перевищує міцність бетону, укладеного за 1 раз. Через 28 днів тверднення

міцність уочуваного бетону становить 54,2 МПа, що відповідає класу за міцністю С32/40. За показником питомої міцності $f_{cm2}/f_{cm28}=0,61-0,62$ розроблені бетони відносяться до швидкотверднучих.

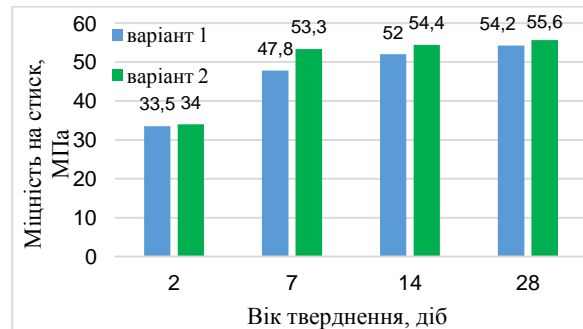


Рис. 4. Міцність на стиск уочуваного бетону складу 4

Як видно з рис. 5, міцність на розтяг при згині через 2 доби становить 3,9–4,2 МПа, що відповідає нормативній для класу бетону за міцністю С25/30.

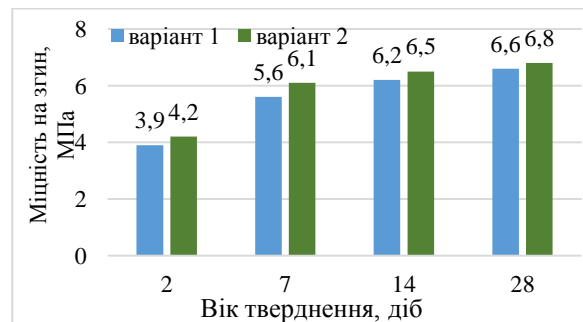


Рис. 5. Міцність на розтяг при згині уочуваного бетону складу 4

Через 28 днів показники міцності уочуваного бетону складу 4 зростають до 6,6–6,8 МПа, що задовольняє вимоги для класу за міцністю на розтяг при згині $B_{btb}5,2$ при коефіцієнті варіації 13,5 %. Слід відзначити, що через 2 доби тверднення бетони складу 4 набирають 59–62 % проектної міцності.

Висновки

Запроєктовано дорожній уочуваний бетон С32/40 $B_{btb}5,2$ Ж1, який характеризується швидким набором ранньої міцності, що дає можливість відкриття руху автомобілів через 1–3 доби. За результатами випробувань запроєктовані суміші відповідають вимогам щодо міцності на стиск і розтяг при згині для влаштування дорожнього одягу. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення будівельно-технічних властивостей уочуваного бетону, зокрема модуля пружності, стираності, морозостійкості.

Література

1. Гамеляк І. П., Райковський В. Ф. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення. *Автошляховик України*, №1. 2014. С. 24–28.
2. Толмачев С. Н. Строительство автодорог с цементобетонным покрытием в Украине – реальность сегодняшнего дня. *Автошляховик України*. 2013. №4. С. 36–40.
3. Солодкий С. Й., Толмачов С. М. Бетонні дорожні та аеродромні покриття: навч. посібник, 2017. 132 с.
4. Математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва / І. П. Гамеляк, А. Г. Шургая, Я. М. Якименко, Н. П. Чиженко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 169. С. 103–110.
5. Солодкий С. Й., Гуняк О. М., Марків Т. Є. Тріщиностійкість модифікованих високоміцних дорожніх бетонів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2016. Вип. 98. С. 247–255.
6. Yurdakul E., Taylor P. C., Ceylan H., Bektas F. Minimizing cementitious content for performance and sustainability in rigid pavements. Civil, construction and environmental engineering conference presentations and proceedings. 2011. P. 11.
7. 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 10.10.2020).
8. Толмачев С. Н. До питання застосування пісних бетонів, ущільнюваних котками, в основах доріг. *Автошляховик України*. 2017. №3. С. 45–50.
9. Семененко В. С., Смірнова Н. В. Застосування технології укочуваного наджорсткого цементобетону для будівництва автомобільних доріг // Дороги і мости. 2019. Вип. 19-20. С. 138-146.
10. Мишутин А.В., Солоненко І.П., Леонова А.В. Жесткие дорожные покрытия из цементобетона для автомобильных дорог. *Дороги і мости*, 2018. Вип. 18. С. 119-127.
11. Vahidi E. K., Malekabad M. M. Joints in roller compacted concrete pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012). 2012. P. 93-96.
12. Zollinger C. Recent advances and uses of roller compacted concrete pavements in the united states. URL: <http://www.rollconllc.com/wp-content/uploads/Recent-Advances-Uses-of-RCC-in-US.pdf> (дата звернення 3.10.2020).
13. Sanytsky M., Marushchak U., Olevych Y., Novytskyi Y. Nano-modified ultra-rapid hardening Portland Cement compositions for high strength concretes. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 47. 2019. P. 392–399.
14. Гамеляк І. П., Волощук Д. В. Про необхідність встановлення розрахункових характеристик зернистих сумішей для основ дорожніх одягів. *Вісник НТУ*. №31. 2015. С. 86-95.

References

1. Hamelyak I. P., Raykovskyy V. F. (2014). Analiz transportno-ekspluatatsiynykh pokaznykiv stanu avtomobilnyh dorih derzhavnoho znachennya [Analysis of transport and operational indicators of state of roads of national importance]. *Avto-shlyahovyk Ukrayiny*, 1, 24–28 [in Ukrainian].
2. Tolmachev S. N. (2013). Stroitelstvo avtodorog s tsementobetonnyim pokrytiyem v Ukraine – realnost segodnyashnego dnya [Construction of highways with cement concrete pavement in Ukraine - the reality of today]. *Avto-shlyakhovik Ukraïny*, 4, 36–40 [in Russian].
3. Solodkiy S. Y., Tolmachov S. M. (2017). Concrete roads and aerodrome pokrittya [Concrete road and airfield paverment]. Navch. posibnik [in Ukrainian].
4. Hamelyak I. P., Shurhaya A. H., Yakymenko Y. M., Chyzenko N. P. (2017). Matematychni modeli vlastyvostey vysoko-mitsnykh tsementobetoniv dlya dorozhn'oho budivnytstva [Mathematical models of properties of high-strength cement concrete for road construction]. Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu, 169, 103-110 [in Ukrainian].
5. Solodkiy S. Y., Hunyak O. M., Markiv T. Y. (2016). Trishchynostiyst' modyfikovanykh vysokomitsnykh dorozhnikh betoniv [Crack resistance of modified high-strength road concretes]. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*, 98, 247–255 [in Ukrainian].
6. Yurdakul E., Taylor P. C., Ceylan H., Bektas F. (2011). Minimizing cementitious content for performance and sustainability in rigid pavements. Civil, construction and environmental engineering conference presentations and proceedings, 11.
7. Guide for roller-compacted concrete pavements. USA, 2010. 105 p. Retrieved from: https://www.irmca.com/wp-content/uploads/2014/12/cp_tech_center_rcc_guide.pdf (accessed: 10.10.2020).
8. Tolmachev S. N. (2017). Do pytannya zastosuvannya pisnykh betoniv, ushchil'nyuvanykh kotkami, v osnovakh dorih [On the use of lean concrete compacted by rollers in the bases of roads] *Avto-shlyahovyk Ukrayiny*, 3, 45–50 [in Ukrainian].
9. Semenenko V. S., Smirnova N. V. Zastosuvannya tekhnolohiyi ukochuvanoho nadzhorstkoho tsementobetonu dlya budivnytstva avtomobil'nykh dorih [Application of technology of rolled ultra-rigid cement concrete for construction of highways]. *Dorohy i mosty*, 19-20, 138-146 [in Ukrainian].
10. Mishutin A. V., Solonenko I. P., Leonova A. V. (2018). Zhestkiye dorozhnyye pokrytiya iz tseme-

- ntobetona dlya avtomobil'nykh dorog [Rigid cement concrete pavements for highways]. *Dorogi i mosty*, 18, 119-127 [in Russian].
11. Vahidi E. K., Malekabadi M. M. (2012). Joints in roller compacted concrete pavements. *International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012* (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012).
 12. Zollinger C. Recent advances and uses of roller compacted concrete pavements in the united states. Retrived from: <http://www.rollconllc.com/wp-content/uploads/Recent-Advances-Uses-of-RCC-in-US.pdf> (accessed: 3.10.2020).
 13. Sanytsky M., Marushchak U., Olevych Y., Novytskyi Y. (2019). Nano-modified ultra-rapid hardening Portland Cement compositions for high strength concretes. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 47, 392-399.
 14. Hamelyak I. P., Voloshchuk D. V. (2015). Pro neobkhdnist' vstanovlennya rozrakhunkovykh kharakterystyk zernistykh sumishey dlya osnov dorozhnykh odyahiv [About the need to establish the design characteristics of granular mixtures for the bases of road clothes]. *Visnyk NTU*, 31, 86-95 [in Ukrainian].

Балабух Ярослав Андрійович, к.т.н., ст. викл. каф. автомобільних доріг та мостів, balajar55@gmail.com, тел. +38 068-699-15-88,

Марущак Уляна Дмитрівна, д.т.н., проф. каф. будівельного виробництва, ulmarushchak@ukr.net, тел. +38 067-675-75-37

Бідось Володимир Миколайович, студент, каф. автомобільних доріг та мостів, vova.27077@gmail.com, тел. +380673479722

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, 79013, м. Львів.

Design of roller compacted concrete composition

Abstract. Problem. World experience shows that high operational performance of road coverings in the conditions of intensive traffic with high speeds of motor transport and sharp braking are provided by introduction of cement concrete. One of the effective solutions for the construction of high-quality, durable, economical pavements is the use of roller-compacted concrete - a no slump concrete with low

water-cement ratio, that is placed by an asphalt paver similar to asphalt pavement construction. The design of quality mixtures of roller-compacted concrete is based on performance, construction requirements and economic efficiency. **Goal.** The purpose of the work is design the compositions of roller compacted concrete and investigation of their strength. **Methodology.** Roller compacted concrete samples were tested for compressive strength and tensile bending in accordance with DSTU B B.2.7-214:2009. **Results.** The four variants of mixtures are designed to select the optimal composition of roller compacted cement concrete. The first of one is based on the particle size distribution of aggregate grains in accordance with DSTU B B.2.7-127:2015, the second variant shows the composition of normal-weight cement concrete class C25/30, the third variant is characterized by increased sand fraction and in the fourth composition fine fractions replaced with sand. Road rolled concrete C32/40 Bbtb5.2 is designed. **Originality.** Roller compacted cement concrete for effective road construction technologies is designed, which allows to perform the installation of high performance cement-concrete pavement with the use of asphalt pavers and rollers and the possibility of rapid commissioning of cement-concrete pavement. **Practical value.** Designed composition of roller compacted concrete with the use of local Ukrainian materials allow to ensure the construction of cost-effective, durable road pavement with the possibility to carry out the movement on the cement concrete pavement after 1-3 days.

Key words: road cement concrete, roller compacted concrete, particle size distribution, compressive strength, tensile strength.

Balabuh Yaroslav, CScTec., Assoc. Prof., Department of highways and bridges, tel. +38 068-699-15-88, balajar55@gmail.com

Marushchak Uliana, DScTech, Prof., Department of building production, tel. +38 067-675-75-37, ulmarushchak@ukr.net,

Bidos Volodymyr, student, Department of highways and bridge, vova.27077@gmail.com, тел. +38067347972

Lviv Polytechnic National University, st. S. Bandera 12, Lviv.