

УДК 625.7/.8

¹Семененко В. С., <https://orcid.org/0000-0002-9549-8264>

²Смірнова Н. В., *д-р техн. наук, професор*, <https://orcid.org/0000-0001-8458-1954>

¹ТОВ «БК «Фортіс Груп», м. Харків, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УКОЧУВАНОГО НАДЖОРСТКОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація

Вступ. Встановлено, що зростання вартості бітуму та збільшення навантаження на конструкцію дорожнього одягу спонукає, використання цементобетону для дорожніх покриттів. Аналіз проектів будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування показав, що збільшується кількість проектів з використанням як цементобетонних покриттів, так і конструкцій дорожнього одягу з використанням цементобетонних шарів.

Проблематика. Пошук технологічних та економічних рішень влаштування шарів покриття автомобільних доріг потребує вивчення досвіду застосування нетрадиційних для України технологій, у даному випадку – укочуваного наджорсткого цементобетону. Кожна нетрадиційна та «нова» для України технологія потребує її додаткового вивчення при застосуванні в місцевих умовах. Це і дослідження впливу на довговічність обладнання та механізмів для влаштування покриттів, дослідження місцевих матеріалів, дослідження умов експлуатації тощо.

Мета. Метою дослідження є контент-аналіз світового досвіду досліджень технологій і можливостей використання укочуваного цементобетону в галузях промислового та цивільного будівництва, а також постановка завдань аналогічного застосування матеріалів і технологій в умовах України.

Матеріали та методи. Виконано аналіз публікацій щодо досвіду використання укочуваного цементобетону в різних галузях промислового та цивільного будівництва.

Результати. З'ясовано, що дороги з цементобетону спроможні сприймати навантаження від великовагового транспорту без утворення колійності та руйнування. Проведений аналіз показав, що технологія укочуваного наджорсткого цементобетону дозволяє виконати влаштування цементобетонного покриття з високими експлуатаційними характеристиками із застосуванням асфальтоукладальників і котків та можливістю відкриття руху по влаштованому цементобетонному покриттю через 1-3 доби. Таким чином, у випадках потреби швидкого введення в експлуатацію дороги або майданчика для стоянки автомобілів, технологія укочуваного наджорсткого цементобетону є найбільш ефективною. Проведений аналіз дозволив сформулювати нові задачі дослідження технології укочуваного наджорсткого цементобетону для будівництва автомобільних доріг, а саме – вивчення властивостей укоченого цементобетону у конструкціях автомобільних доріг України та встановлення економічного ефекту від використання місцевих українських матеріалів.

Висновки. Огляд досліджень та досвіду використання укочуваного цементобетону підтвердив ефективність та перспективу використання цієї технології в Україні.

Ключові слова: укочуваний наджорсткий цементобетон, цементобетонне покриття, великоваговий транспорт, шари дорожнього одягу з цементобетону, RCC, Roller Compacted Concrete.

Вступ

Збільшення кількості великовагових автомобілів, постійне збільшення навантаження на вісь стимулює застосовувати в якості покриття цементобетон. Особливо великі навантаження від транспорту відбуваються на дорогах та промислових майданчиках, в портах та під'їздах до них. Застосування бетоноукладальних комплексів потребує значних фінансових вкладень. Технологія будівництва цементобетонних доріг із застосування бетоноукладальних комплексів передбачає перекриття руху на значний час до досягнення бетоном показників міцності, достатніх для відкриття руху. Актуальність проблеми обумовлена зростаючим обсягом вантажних перевезень сільськогосподарської продукції від ланів по місцевих дорогах до елеваторів та портів, ростом інтенсивності руху, використанням сучасних вантажних автомобілів та постійним пошуком здешевлення будівництва цементобетонних покриттів. Для вирішення питання цементобетонних доріг необхідна технологія, яка дозволяє отримати цементобетонне покриття та відкрити рух транспорту на 1-3 добу, що значно перевищує цей показник для цементобетонного покриття з суміші з осадкою конуса 1-3 см (відкриття руху по ділянці через 7-14 діб), стійке до великих навантажень, атмосферних коливань, безпечне та економічне. Ця задача потребує уважного підходу для складових цементобетону, складу цементобетонної суміші та правильного застосування шару з укочуваного цементобетону при проектуванні конструкції дорожнього одягу. Такою технологією може бути технологія укочуваного наджорсткого цементобетону.

В Україні відсутній досвід використання укочуваного цементобетону, тому необхідно виконати контент-аналіз світового досвіду досліджень технологій і можливостей використання укочуваного цементобетону в галузях промислового та цивільного будівництва, а також зробити постановку завдань аналогічного застосування матеріалів і технологій в умовах України.

Виклад основного матеріалу

У радянські часи цементобетонна суміш, що укладається асфальтоукладальниками та укочується котками, почала масово використовуватись у 1984-1985 роках для улаштування основ асфальтобетонних доріг. Максимальна марка цього бетону, що використовується, досягає М150 (межа міцності на стиск у $\text{кг}/\text{см}^2$). У той же час марка за міцністю цементобетонного покриття сучасних доріг складає М400 – М450. На даний час щебенево-пісчана суміш, що укріплена цементом, широко використовується для влаштування основ дорожніх одягів з цементобетону та асфальтобетону. Також пісний бетон застосовується для влаштування міських вулиць та доріг з подальшим перекриттям асфальтобетоном або використовується бітумомінеральна суміш. При цьому марка за міцністю не перевищує М150 [1]. Технологія пісного бетону, що укладається асфальтоукладальником, є різновидом укочуваного бетону, але тільки у тому, що використовується ті самі компоненти та приготування відбувається у бетонозмішувачі. Як верхній шар дорожнього одягу укочуваний бетон на території України не використовувався [2].

Використання укочуваного цементобетону для покриття майданчиків та доріг має свій початок ще у 1930-х роках у Швеції. У США укочуваний цементобетон вперше був застосований в аеропорту Якіма, Вашингтон на початку 1940-х. В аеропорту було споруджено злітно-посадкову смугу. Але найбільшого розвитку технологія укочуваного цементобетону набула у 1970-х у Канаді [3], на площадках для сортування деревини на лісозаготівлях. Основною вимогою було швидке влаштування покриття для проїзду лісовозів та роботи перевантажувачів. При цьому біли відсутні

вимоги до швів та комфортності проїзду (рівності). У 1980-х роках Інженерний корпус армії США провів масштабні дослідження укочуваного цементобетону на морозостійкість та витривалість у різних природних умовах. Перший великий проект – стоянка для важкої військової бронетехніки був реалізований в Форт Худ, Техас [4]. Звіти по цих випробуваннях дали «зелене світло» для використання цього цементобетону у цивільному будівництві. У 1990-ті роки промисловість почала випускати асфальтоукладальники з важкою віброплитою та котки, що дозволяють ущільнення жорстких цементобетонних сумішей. Зростаюче навантаження на покриття автомобільних доріг та майданчиків дало поштовх у пошуку покриття, стійкого до навантажень та у той же час економічного. Укочуваний цементобетон RCC (Roller Compacted Concrete) став відповіддю на це питання.

У 1990-х у США було реалізовано лише 22 проекти (418063 м²) із застосуванням укочуваного цементобетону [4]. У першому десятиріччі XXI сторіччя (2000-2010 роки) їх було вже 70 (7,4 млн. м²) [5]. Це в основному були проекти промислові, військові та портові. На початку другої декади укочуваний бетон отримав нові сфери застосування: велодоріжки, місцеві дороги та проїзди, комерційні парковки, сектор газо- та нафтовидобування. Також продовжилось використання його на промислових майданчиках. З 2011 по 2016 було вже влаштовано 8,4 млн. м² покриттів з укочуваного цементобетону в США [6].

Щільна структура укочуваної цементобетонної суміші дозволила зменшити використання в'язучого у складі без втрати міцносних та технологічних характеристик. Граничні вимоги до властивостей суміші дозволяють використовувати місцеві матеріали та відходи виробництв [7].

Укочуваний цементобетон, відповідно до термінології АСІ (Американський Інститут Бетону, США [8]) це «бетон, що укочується котками; бетон, що у неущільненому стані витримує під час укочування, вагу катка». Особливості технології влаштування покриттів з укочуваного цементобетону базується на граничних поняттях, що відрізняються від звичайного цементобетону. Довговічність та міцність укочуваного цементобетону спирається на особливості добору складу, що потребує тільки достатньої кількості частини розчину для заповнення простору між кам'яним заповнювачем [9].

Укочуваний цементобетон є результатом пошуку спрощення існуючих технологій влаштування бетонних покриттів та доріг, пошуку методів будівництва без використання бітумовмісних матеріалів, намаганням використання місцевих матеріалів та відходів виробництва.

Технологія приготування суміші для укочуваного цементобетону дозволяє використання змішувачей великої продуктивності для забезпечення роботи асфальтоукладальників. Це дозволяє задавати великий темп укладання цементобетонної суміші, скорочуючи час на реалізацію проекту та витрати на експлуатацію обладнання. Для завдання необхідного темпу роботи асфальтоукладальника на великих об'єктах у США рекомендується використання змішувачів з продуктивністю 250 тонн/годину. Відповідно швидкість влаштування цементобетонного покриття велика. Разом із раннім набором міцності та збільшенням віком можливості нарізання швів дає змогу пришвидшити відкриття руху транспорту по покриттю (Рисунок 1).

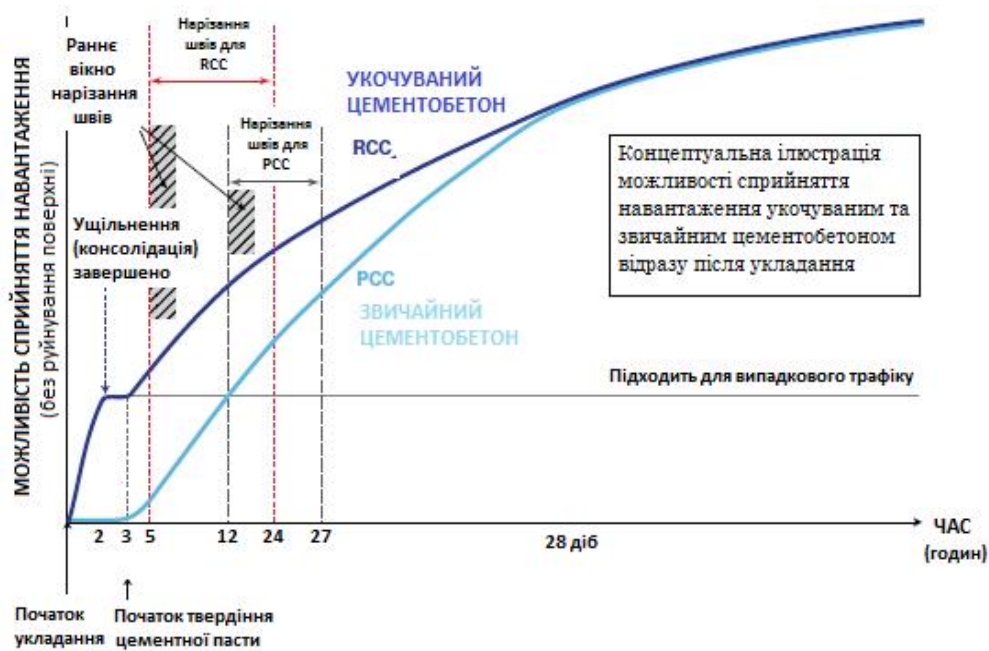


Рисунок 1 – Порівняння у часі можливості сприйняття навантаження покриттям з укочуваного та звичайного цементобетону [10]

Транспортування, укладання та ущільнення укочуваної цементобетонної суміші відбувається розповсюдженою технікою: автосамоскидами, асфальтоукладальниками, котками. Можливість транспортувати великими автосамоскидами допомагає підтримувати темп укладання. Сучасні асфальтоукладальники допомагають досягти 90 – 98 % ущільнення, надати необхідний ухил та уникнути сегрегації цементобетонної суміші (Рисунок 2). Ущільнення котками різного типу та маси надають поверхні необхідної гладкості та доущільнюють верхній шар.



Рисунок 2 – Влаштування покриття з укочуваного наджорсткого цементобетону з формуванням кромки

Знижений вміст цементу в укочуваному цементобетоні дає змогу збільшити відстань між деформаційними швами. [11] Коли не потрібне досягнення рівності та високого комфорту проїзду великовагового та технологічного транспорту при укладанні укочуваного цементобетону шви не влаштовуються.

Покриття з укочуваного цементобетону влаштовують найчастіше товщиною до 20 см в один шар. При необхідності влаштування покриття більшої товщини укладання відбувається у 2 шари. Напівсуха консистенція цементобетонної суміші дозволяє укладання послідовно двох шарів.

Типи кінцевої обробки покриття укочуваного цементобетону залежать від вимог комфортності проїзду, швидкості руху, наявної техніки та типу об'єкта. Сучасні підходи до складу суміші та сучасне обладнання дозволяє отримати якісне покриття без додаткової обробки. Для надання рівності укладеному покриттю проводяться додаткові операції. Перший варіант це фрезерування бетонної поверхні: вирівнює профіль укладеного покриття та надає необхідної шорсткості. Другий варіант це укладання додаткового бітумовмісного шару: надає рівності покриттю, працює як шар зносу. Третій варіант це обробка затиральною машиною та надання шорсткості спеціальними щітками (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Обробка покриття з укочуваного цементобетону затиральною машиною

Основними перевагами цієї технології є вартість улаштування, швидкість запуску руху транспорту, застосування місцевих матеріалів та наявного обладнання для укладання та ущільнення. Основним недоліком є рівність укладеного покриття, але світовий досвід його використання дозволяє заздалегідь передбачити усунення цього недоліку.

В результаті ми отримуємо цементобетонне покриття без армування, що витримує великі навантаження та стійке до атмосферного впливу, а також відкрите до експлуатації за кілька днів.

Фахівцями кафедри «Будівництва та експлуатації автомобільних доріг» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та «Будівельної компанії «Фортіс Груп» був розроблений нормативний документ – Технічні умови. Суміші цементобетонні і цементобетон наджорсткі укочувані [12].

Авторами було проведено лабораторні дослідження місцевих матеріалів (цементу, щебеню, піску). Зроблений добір складу укочуваного цементобетону та заформовані зразки для випробування на характеристики міцності укочуваного цементобетону.

Основними об'єктами, де застосовується укочуваний цементобетон, є автомобільні дороги, логістичні центри, порти, майданчики для стоянки великовагового транспорту, під'їзні та внутрішні дороги промислових підприємств, з'їзди та розділювальні смуги автомагістралей, комплекси заготівлі та складування та інше.

Висновки

1. Аналіз існуючого досвіду використання укочуваного цементобетону довів його економічну ефективність при влаштуванні доріг та майданчиків для руху великовагового транспорту.
2. Основними перевагами використання укочуваного цементобетону є зменшений вміст цементу, відсутність армування, можливість застосування місцевих матеріалів, швидкість влаштування покриття, швидкість введення в експлуатацію, стійкість до великих навантажень та атмосферного впливу.
3. Зроблений добір складу укочуваного цементобетону та виготовлені зразки для випробування на міцність складають передумови застосування даної технології в Україні
4. Розроблені ТУ У 42.1-40708558/02071168-001:2019 «Суміші цементобетонні і цементобетон наджорсткі укочувані» дають можливість застосування цієї технології в Україні, а також дослідити технічні показники покриття, влаштованого за зазначеною технологією, що в подальшому дозволить розробити в Україні галузеві норми застосування сумішей цементобетонних і цементобетону наджорсткого укочуваного.

Список літератури

1. Технологічний регламент будівництва та ремонту міських вулиць та доріг з використанням пісного бетону (КТМ 204 України 011-95): технологічний регламент Державного комітету України по житлово-комунальному господарству. Київ, 1995. 12 с. (Інформація та документація).
2. Современное состояние и перспективы применения технологии укатываемого бетона. Обзорная Информация. Автомобильные дороги и мосты. 6-2004. Москва, 2004. 87 с.
3. Пижко Р. Укатанный бетон дорожных покрытий в провинции Британская Колумбия (Канада): перевод с французского (под редакцией Акуловой). Москва, 1984. 21 с.
4. Pittman D. W., Anderton G. L. The Use of Roller-Compacted Concrete (RCC) Pavements in the United States. Mairepav 6. (Turin, Italy, 8-10.07.2009). 2009. URL: [https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Sixth%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%20\(MAIREPAV6\)%22#/View/899345](https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Sixth%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%20(MAIREPAV6)%22#/View/899345) (дата звернення 13.04.2019).
5. Pittman D. W., Anderton G. L. Characteristics of roller compacted concrete pavements in the United States. Seventh International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (Auckland, New Zealand, 28-30.08.2012). 2012. URL: <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Seventh%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%22#/View/1224171> (дата звернення 13.04.2019).
6. 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 13.04.2019).

7. Report on Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11). USA, 2011. 73 p. URL: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=207511&Format=PROTECTED_PDF&Language=English&Units=US_AND_METRIC (дата звернення 13.04.2019).
8. American Concrete Institute. URL: <https://www.concrete.org/aboutaci.aspx> (дата звернення 01.06.2019).
9. 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 13.04.2019).
10. Dale Harrington, Fares Abdo, Wayne Adaska, Chetan V. Hazaree, Halil Ceylan. Guide for Roller Compacted Concrete Pavements. USA, 2010. URL: https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=intrans_reports (дата звернення 13.04.2019).
11. Ebrahim. Khalilzadeh Vahidi, Maryam. Mokhtari Malekabadi. Joints in roller compacted concrete pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012). 2012. URL: <http://psrcentre.org/images/extraimages/27%20812511.pdf> (дата звернення 13.04.2019).
12. ТУ У 42.1-40708558/02071168-001:2019 Суміші цементобетонні і цементобетон наджорсткі укочувані. Технічні умови. Харків, 2019. 17 с. (Інформація та документація).

REFERENCES

1. Tekhnolohichniy rehlyament budivnytstva ta remontu miskykh vulyts ta dorih z vykorystanniam pisnogo betonu (KTM 204 Ukrainy 011-95) (Technological regulation of construction and repair of city streets and roads using lean concrete (KTM 204 of Ukraine 011-95)): technological regulations of the State Committee of Ukraine for Housing and Communal Services. Kyiv, 1995. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy primeneniya tehnologii ukatyivaemogo betona. Obzornaya Informatsiya. Avtomobilnyie dorogi i mostyi (The current state and prospects of using roller compacted concrete technology. Overview Information. Highways and bridges). 6-2004. Moscow, 2004. 87 p. [in Russian].
3. Pijjo R. Ukatannyiy beton dorojnyih pokrytity v provintsii Britanskaya Kolumbiya (Kanada): perevod s frantsuskogo (pod redaktsiey Akulovoy) (Roller compacted concrete paving in the province of British Columbia (Canada): translation from French (edited by Akulova)). Moscow, 1984. 21 p. [in Russian].
4. Pittman D. W., Anderton G. L. The Use of Roller-Compacted Concrete (RCC) Pavements in the United States. Mairepav 6. (Turin, Italy, 8-10.07.2009). 2009. URL: [https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Sixth%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%20\(MAIREPAV6\)%22#/View/899345](https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Sixth%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%20(MAIREPAV6)%22#/View/899345) (Last accessed 13.04.2019) [in English].
5. Pittman D. W., Anderton G. L. Characteristics of roller compacted concrete pavements in the United States. Seventh International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (Auckland, New Zealand, 28-30.08.2012). 2012. URL: <https://trid.trb.org/Results?q=&serial=%22Seventh%20International%20Conference%20on%20Maintenance%20and%20Rehabilitation%20of%20Pavements%20and%20Technological%20Control%22#/View/1224171> (Last accessed 13.04.2019) [in English].

6. 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> (Last accessed 13.04.2019) [in English].
7. Reporton Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11). USA, 2011. 73 p. URL: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=207511&Format=PROTECTED_PDF&Language=English&Units=US_AND_METRIC (Last accessed 13.04.2019) [in English].
8. American Concrete Institute. URL: <https://www.concrete.org/aboutaci.aspx> (Last accessed 01.06.2019) [in English].
9. 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 (Last accessed 13.04.2019) [in English].
10. Dale Harrington, Fares Abdo, Wayne Adaska, Chetan V. Hazaree, Halil Ceylan. Guide for Roller Compacted Concrete Pavements. USA, 2010. URL: https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=intrans_reports (Last accessed 13.04.2019) [in English].
11. Ebrahim. Khalilzadeh Vahidi, Maryam. Mokhtari Malekabadi. Joints in roller compacted concrete pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering - ICTECE 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia, 25-26.08.2012). 2012. URL: <http://psrcentre.org/images/extraimages/27%20812511.pdf> (Last accessed 13.04.2019) [in English].
12. Technical terms (TU U 42.1-40708558/02071168-001:2019). Sumishi tsementobetonni i tsementobeton nadzhorstki ukochuvani. Tekhnichni umovy (Concrete mixes and rolled compacted extrastiff concrete. Technical terms). Kharkiv, 2019. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

¹Vyacheslav Semenenko, <https://orcid.org/0000-0002-9549-8264>

²Nataliya Smirnova, D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0001-8458-1954>

¹LLC «BC «Fortis Group», Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

ROLLED EXTRA HARD CEMENT CONCRETE APPLICATION FOR ROAD CONSTRUCTION

Abstract

Introduction. It was established that the increase of the bitumen cost and the load on the pavement design prompts the use of cement concrete for road pavement. Analysis of construction, reconstruction and overhaul projects of public roads has showed that the number of projects using both the cement concrete pavement and pavement designs using cement concrete layers is increased.

Problem statement. The search for technological and economic solutions for arrangement of road pavement layers requires to study the experience of using the non-traditional technologies for Ukraine, in this case – rolled extra hard cement concrete. Each non-traditional and «new» technology for Ukraine needs for further studied during application in the local conditionals. It is also a study of the impact on the durability of equipment and mechanisms for pavement arrangement, study of local materials, study of operational conditions, etc.

Purpose. The purpose of the article is content analysis of world experiences of the research of technologies and possibilities for using the rolled cement concrete in industrial and civil construction, as well as the task statement for the application of the same materials and technologies in Ukraine.

Materials and methods. Provided domestic and foreign Analysis of publications related to experience of using the rolled cement concrete in industrial and civil construction.

Results. It is established that cement concrete roads are able to take the loads from heavy good vehicles without rutting and destruction. The analysis showed that the technology of rolled extra hard cement concrete allows carrying out the arrangement of cement concrete pavement with high operational performance using the asphalt pavers and rollers and the possibility to carry out the movement on the cement concrete pavement after 1-3 days. Thus, in cases of the need for the rapid commissioning of a road or a parking, the technology of rolled extra hard cement concrete is most effective. The analysis allows forming the new tasks of research of the technology of rolled extra hard cement concrete for road construction, namely, the study of the properties of rolled cement concrete in the Ukrainian highway structures and the establishment of the economic effect of the use of local Ukrainian materials.

Conclusions. Review of the research and experience of using the rolled cement concrete has confirmed the efficiency and prospects of using this technology in Ukraine.

Key words: rolled extra hard cement concrete, cement concrete pavement, high good vegicle, cement concrete pavement layers, RCC, Roller Compacted Concrete.