

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ УКОЧЕНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF ROLLED CEMENT CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропорти, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124, id ORCID 0000-0001-9246-7561.



Островерхий Олег Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри аеропорти, Національний транспортний університет, e-mail: oostroverkhii@gmail.com, +380974848976, id ORCID 0000-0003-2182-2209.



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, id ORCID 0000-0001-6144-7533.

Анотація. Стаття присвячена підбору складу цементобетонної суміші та визначенню загального модуля пружності дорожнього покриття із уложеного цементобетону для улаштування покриття та основи автомобільних доріг, автомобільних стоянок та гідротехнічних споруд з високою несною здатністю.

Об'єкт дослідження – процеси проектування складу та забезпечення міцності та несної здатності уложеного цементобетону.

Метою роботи є проектування складу уложеного бетону за методом максимального ущільнення (Проктора) та підбір складу та особливості технології влаштування шарів.

Визначення загального модуля пружності та модуля пружності матеріалу за даними визначення прогину балкою Бенкельмана.

Методи дослідження – науково-експериментальний.

Результати статті можуть бути використані при експлуатації дорожніх і аеродромних одягів в покриттях та основах для підвищення несної здатності та довговічності автомобільних доріг.

Ключові слова: укований бетон, проектування складу, загальний модуль пружності, модуль пружності матеріалу, несна здатність.

Вступ. На початку минулого століття в багатьох країнах бетон у дорожньому будівництві ущільнювали за допомогою котків. Однак наявні тоді котки не забезпечували якості бетону, яка досягалася в тридцять років після впровадження методу віброущільнення. У сімдесяті роки, коли стали замислюватися над відповідними заходами енергозбереження й економічним зміцненням доріг загального користування, поліпшене на той час устаткування зіграло вирішальну роль у повторному відкритті уложеного цементобетону (УЦБ) для дорожнього будівництва.

Визначення: Укочений цементно бетон (RCC - Roller Compacted Concrete) - це шар затверділої бетонної суміші з оптимальним вмістом води (схожа на природну вологість ґрунту), яка визначається модифікованим методом Проктора - укладається та ущільнюється із застосуванням дорожньо-будівельних машин (асфальтоукладача та котків).

У вісімдесяті роки минулого століття почався другий етап досліджень в будівництві доріг з монолітним цементобетонним покриттям. На даному етапі фахівці відзначали, що дорожні одяги з цементобетонним покриттям найбільш перспективні. Протягом тривалого терміну служби при мінімальних витратах на ремонт і утримання доріг зберігаються високі транспортно-експлуатаційні показники. В цей же період вперше з'являється термін «укочений бетон (УЦБ) англ. roller-compacted concrete (RCC)» або іноді його ще називали «пісний бетон». В дорожньому будівництві під терміном «пісний бетон» часто розуміють низькомарочні бетони з жорстких бетонних сумішей, що ущільнюються методом укатки [1-5]. Пісні дорожні бетони призначаються для влаштування основ під асфальтобетонні покриття. Укочений бетон - це не обов'язково «пісний бетон», оскільки останній має понижений вміст цементу і невисоку марку (M75, M100, M200), а укочений бетон можна отримати з марок M300, M400 і більше, при, відповідно, більш високому вмісті цементу.

У дорожньому будівництві укочений бетон при інтенсивних і високих транспортних навантаженнях використовується в якості несного шару основи. Однак його також використовують для паркування, доріг промислового призначення, площ для військових потреб і сільських доріг безпосередньо як несне дорожнє покриття, придатне для руху. Будівництво шарів дорожнього одягу з укоченого бетону отримало найбільшого поширення в Швеції і Фінляндії. У 1984 році в Швеції побудовано 10 тисяч квадратних метрів покриттів, в 1986 році - 100 тисяч м².

Головними вимогами, що пред'являються до покриття з бетону як дорожньо-будівельного матеріалу, є висока зносостійкість і морозостійкість.

Аналіз стану справ.

Призначені для будівництва покриттів, суміші укоченого бетону, в порівнянні з традиційними цементобетонними сумішами містять менше цементу (зниження витрат на 50 - 115 кг / м³). Бетон за 28 діб досягає міцності при стисненні 28 - 35 МПа. Широкому застосуванню укоченого бетону для будівництва доріг може сприяти не тільки істотне зниження експлуатаційних витрат внаслідок високої міцності і довговічності дорожнього одягу, а й те, що поверхня бетонного покриття відображає світла на 44% більше ніж поверхня асфальтобетону. При цьому підвищується безпека дорожнього руху.

Товщина стандартного верхнього шару покриття залежить від категорії дороги по інтенсивності транспорту й несної поверхні нижньої конструкції, наприклад [1-11]:

- у Франції 15-18 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4-9 см,
- в Іспанії 20-25 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4-8 см.

На випробних ділянках у Німеччині надійно показала наступна конструкція (будівельний клас III по нормах Rst0):

- 18-22 см укоченого бетону під асфальтобетонним покриттям 4...8 см.

З технічних міркувань товщина укоченого бетону в ущільненому стані не повинна перевищувати 24 см. На шарах товщиною > 20 см необхідно перевіряти достатній ступінь ущільнення нижньої сторони шару. Мінімальна товщина укладання становить 12 см.

При відсутності бордюрів укочений бетон укладають похило з виступом над крайкою 30 см. Щоб уникнути вдавлень і зсувів бордюри необхідно засипати.

Укочений бетон укладають в один шар і розподіляють на окремі плити щоб уникнути великих тріщин. Дюбелями або анкерами плити не скріплюють. На несних шарах із укоченого бетону після ущільнення ще у свіжоприготовленій будівельній суміші вдавлюються або пізніше надріжються зарубки (карби) (напр., ручною котком з ріжучою крайкою різця).

Необхідно відзначити, що практично у всіх країнах при приготуванні жорсткої бетонної суміші використовують золи виносу. Під золою виносу розуміються відходи промисловості, що залишаються після спалювання твердого палива. Встановлено, що більшість зол віднесення ТЕЦ, котелень мають

деяку активність, яка позитивно позначається в кінцевому підсумку на міцності бетону. Мета застосування зол віднесення - знизити витрату цементу за рахунок заміни частини в'язучого, при цьому міцність бетону не повинна зменшуватися. Друга причина, що змушує фахівців експериментувати з даної добавкою, це утилізація відходів промисловості. У деяких країнах рекомендується замінювати високомарочний портландцемент на шлакопортландцемент та використовувати золи теплових електростанцій. Крім цього відзначається, що маломіцні карбонатні породи в деяких випадках більш ефективні, ніж міцніші наповнювачі: вони відрізняються мінімальною гідралічною і термічною усадкою. Однак область застосування матеріалу на таких компонентах дещо обмежена: це сільськогосподарські дороги, місцеві дороги з невисокою інтенсивністю руху (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1 - Приклади сільськогосподарської дороги з цементобетонним покриттям
Figure 1 - Examples of an agricultural road with cement-concrete pavement

Технологія укоченого бетону успішно використовується при зведенні дамб і гребель в гідротехнічному будівництві та дозволяє:

- проєктантам зменшити обсяг тіла греблі завдяки можливості побудувати вертикальну напірну грань греблі;
- збільшити кількість укладеного матеріалу в день та зменшити само розігрів конструкції;
- при правильному виконанні відмовитися від укладання водонепроникної мембрани на напірну грань.

Найбільша в світі дамба ГЕС в долині ріки Омо (Ефіопія) – найбільш знаковий проєкт гідроелектроенергетики побудована із УБ має потужність 6,000 МВатт. Висота 175 м та довжина 1,780 м. В тіло дамби вкрито 10,5 млн. м³ УБ. Замовник: корпорація ЕЕРСо.

На думку німецьких фахівців, одна з головних переваг укоченого бетону як матеріалу - це те, що відразу після ущільнення по ньому можуть рухатися автомобілі. Ця здатність обумовлена консистенцією суміші (жорсткістю суміші) і зниженим вмістом води.

Протягом терміну служби цементобетонного покриття (30 років) асфальтобетонне покриття буде потрібно ремонтувати три рази з інтервалом 8 років, вважають австрійські дорожники, тому вартість цементобетонних покриттів складе 50% вартості асфальтобетонних покриттів. Ефективність влаштування цементобетонних покриттів, включаючи витрати на утримання і ремонт в Англії оцінюють до 75%.

Основна частина.

1. Проектування конструкцій дорожнього одягу із укоченого бетону.

Проектування дорожнього одягу з шарами із УЦБ не відрізняється від традиційного підходу.

В Каталогі конструкцій дорожнього одягу Німеччини укочений бетон рекомендується використовувати як для покриття жорсткого так і основи нежорсткого дорожнього одягу.

Стандартний профіль дороги з бетонним покриттям для місцевих доріг наведено на рис. 2.



Рисунок 2 – Влаштування шару із укоченого бетону: а) односмугової з'єднувальної (з високою інтенсивністю руху); б) сільськогосподарської дороги

Figure 2 - Arrangement of a layer of hardened concrete: a) single-lane connecting (with high traffic intensity); b) agricultural road

2. Склад та властивості суміші укоченого цементобетону. Укочений бетон складається з недроблених і/або дроблених мінеральних матеріалів, гідралічних в'язучих речовин і за потреби наповнювачів і добавок до бетонної суміші. Найчастіше для досягнення максимально можливого ступеня ущільнення суміш підбирається за правилами механіки ґрунтів.

Опір укоченого бетону при стиску відповідає опору бетону для дорожніх покриттів і досягає значення від 30 до 50 Н/мм² (клас міцності В 25 ... В 40).

Укочений бетон морозостійкий. Проте, необхідна стійкість до розморозуючих солей забезпечується тільки при дуже високому ступені ущільнення. Повітров'язувальна добавка й кремнеземний пил підвищують опір атмосферним впливам.

При класичному способі дорожнього будівництва укочений бетон вимагає тонкого асфальтобетонного (бітумно – мінерального) покриття або поверхневої обробки для підвищення рівності й шорсткості поверхні.

Максимальна щільність ($\rho_d^{\max}$), оптимальна вологість суміші та відношення між масою щебеню та піску (n), встановлюється експериментально шляхом ущільнення проб по модифікаційному методу Проктора.

Візуально оптимальне водоцементне відношення та відношення мас, що складають при виготовленні зразків проявляється в тому, що поверхня штампу після завершення ущільнення суміші виглядає вологою.

Ущільненість суміші характеризується коефіцієнтом ущільнення (K) та визначається за формулою:

$$K_{\text{ущ}} = \rho_d^{\max} / \rho_d^T, \quad (1)$$

де: $\rho_d^{\max}$ - теоретична щільність суміші при її оптимальній вологості, що визначається за формулою:

$$\rho_d^T = \frac{\rho_B \cdot \rho_{33}}{\rho_B + \rho_{33} \cdot W_{\text{осм}}}, \quad (2)$$

де: ρ_{33} - середня щільність мінеральних часток заповнювача, т/м³;

$\rho_B = 1,0$ - щільність води, т/м³.

Коефіцієнт ущільнення сумішей повинен бути не менше 0,95 для нижніх шарів покриття та шарів основ дорожніх одягів та 0,97 для покриттів.

Зменшення степеня ущільнення цементобетонної суміші на 1% веде до зниження міцності бетону на 10-15%.

Модифікований показник водоцементного відношення - $(B/C)^*$ визначають за формулою 3 з врахуванням вмісту пилюватої фракції в складі суміші ($ПФ$)

$$(B/C)^* = \frac{W_{OCM} \cdot \rho_d^{\max}}{C + ПФ}, \quad (3)$$

де: $C + ПФ$ - в $т/м^3$.

Орієнтовні значення $(B/C)^*$ для укочених бетонів знаходяться в межах 0,30 - 0,35.

Жорсткість піщаної бетонної суміші повинна бути не менше 20 с, а щебенистої не менше 50 с. Жорсткість суміші змінюється в залежності від щільності заповнювачів, приведеної до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції, (ρ_{d3}^*) та визначається за формулою:

$$Ж = 20 + 400 \cdot \frac{\rho_{d3}^*}{\rho_{d3}^{\min*}}, \quad Ж = 20 + 400 \cdot (\rho_{d3}^* - \rho_{d3}^{\min*}), \quad (4)$$

де: $\rho_{d3}^{\min*} = 2,0 \text{ т/м}^3$ - мінімально допустима щільність заповнювачів, що приведена до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції в укоченому бетоні.

Щільність заповнювачів, що приведена до нульового вмісту цементу та пилюватої фракції, визначається за формулою:

$$\rho_d^* = \frac{П + Щ}{1 - C / \rho_{SC} - ПФ / \rho_{S3}}, \quad (5)$$

де: ρ_{SC} , ρ_{S3} - середня щільність часток цементу та пилюватої фракції відповідно, $т/м^3$.

Орієнтовну витрату цементу встановлюють за табл. 1 та уточнюють за результатами випробувань контрольних зразків.

Таблиця 1 - Орієнтовну витрату цементу в складі укоченого бетону

Table 1 - Approximate consumption of cement in the composition of hardened concrete

Марка цементу за ДСТУ Б В.2.7-46	Максимальна витрата цементу, $кг/м^3$, для бетону марок (класів)					
	75 (B5)	100 (B7.5)	150 (B10)	200 (B15)	250 (B20)	300 (B25)
300	110-120	165-180	220-240	310-340	350-410	430-450
400	100-110	145-160	190-210	380-300	320-350	380-400
500	90-100	125-140	160-180	240-260	270-320	330-350

3. Проектування складу укоченого бетону

Склад бетону визначається розрахунково експериментальним методом в такій послідовності:

- визначають вихідні характеристики цементу, піску та щебеню;

1) марку цементу за ДСТУ Б.В.2.7 – 43, ДСТУ Б.В.2.7 – 176, ДСТУ Б.В.2.7 – 46;

2) середню щільність часток цементу (ρ_c), орієнтовні значення якої знаходяться у межах - 3,0-3,2 $т/м^3$;

3) гранулометричний склад піску та щебеню;

4) марку щебеню по подрібненню за ДСТУ Б В.2.7-71;

- за табл. 1 залежно від гранулометричного складу піску та щебеню визначають оптимальне співвідношення між ними $n = П/Щ$;

- визначають максимальну щільність ($\rho_{dcm}^{\max}$) та оптимальну вологість (W_{OCM}) заповнювача за модифікованим методом Проктора;

- визначають вміст пилюватої фракції в заповнювачі з максимальною щільністю за формулою:

$$P_{\phi} = \rho_{d3}^{\max} \cdot n\phi, \quad (6)$$

де: P_{ϕ} - вміст пилюватої фракції у суміші заповнювачів, дол.од;

- за формулою 5 визначають щільність заповнювача, приведену до нульового вмісту пилюватої фракції, при нульовому вмісті цементу $\Pi=0$;

- за формулою 3 визначають жорсткість суміші і якщо вона не задовільняє вимогам здійснюють корегування співвідношення між крупним та дрібним заповнювачами (n);

- визначають витрату цементу (Π) за табл. 1 залежно від потрібної марки бетону;

- визначають максимальну щільність ($\rho_{dcm}^{\max}$) і оптимальну вологість (W_{ocm}) бетонної суміші при ущільненні по модифікованому методу Проктора;

- витрату матеріалів на 1 куб.м. ущільненої суміші визначають залежно від її максимальної щільності за формулами

$$B = \rho_{dcm}^{\max} \cdot W_{ocm}, \quad (7)$$

$$\Pi = \frac{B}{B / \Pi}, \quad (8)$$

$$\Pi\phi = (\rho_{dcm}^{\max} - \Pi) \cdot \phi, \quad (9)$$

$$\Pi = (\rho_{dcm}^{\max} - \Pi) \cdot n, \quad (10)$$

$$P_{\phi} = (\rho_{dcm}^{\max} - \Pi) \cdot n\phi, \quad (11)$$

$$(B / \Pi)^* = \frac{B}{(\Pi + P_{\phi})}, \quad (12)$$

де: $\Pi\phi$, Π , P_{ϕ} - вміст щебеню, піску та пилу в заповнювачі, %.

- сумарна витрата цементу, щебеню, піску та пилюватої фракції повинна бути рівною максимальній щільності суміші.

- склад бетону уточнюють за результатами випробувань контрольних зразків.

Склад бетонної суміші, залежно від матеріалів, які застосовуються, рекомендується підбирати в сертифікованій лабораторії.

4. Виготовлення бетонної суміші та влаштування шарів із дорожнього укоченого бетону

Укочений бетон можна змішувати в цементобетонних (ЦБЗ) або асфальтобетонних (АБЗ) змішувальних установках. Для укладання не потрібно ніякого спеціального устаткування. Достатньо устаткування, яким укомплектована дорожньо – будівельна організація. Укочений бетон дає меншу усадку, ніж вібрований бетон, що веде до менших усадочних напружень і тим самим скорочує небезпеку появи тріщин (рис. 3).

Слід враховувати підвищене зношування обладнання при використанні стандартних асфальтоукладальників, тому для технології укоченого бетону необхідне удосконалення їх конструкції.

Укладання укоченого бетону. Будівельна суміш повинна: добре ущільнюватися за допомогою наявної в розпорядженні техніки (бетоноукладальні машини, асфальтоукладальники); незважаючи на землісто-вологу консистенцію не розшаровуватися при обробці; забезпечувати міцність у не просушеному стані, достатню для негайного руху укладальників та будівельної техніки.

Будівельна суміш виготовляється в змішувальних установках. Час змішування повинний становити не менше 60 секунд. При транспортуванні до будівельної ділянки або простоях свіжоприготовлену суміш необхідно захищати від атмосферних впливів. Перевезення, укладання й ущільнення повинні бути погоджені між собою таким чином, щоб укочений бетон був покладений і ущільнений не пізніше ніж через 90 хвилин після змішування.



а)



б)



в)

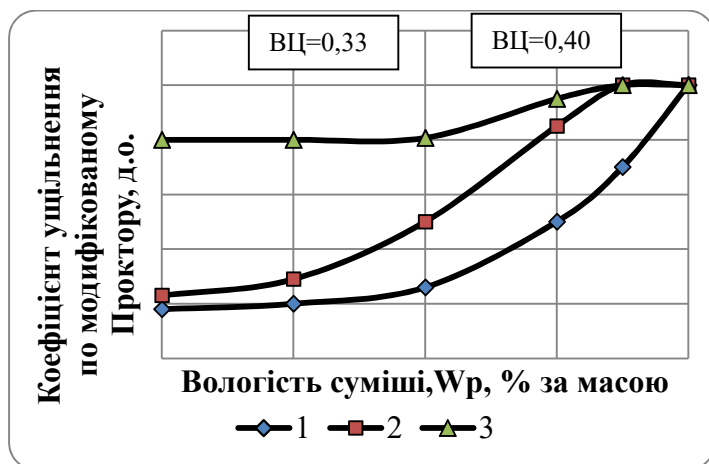


г)

Рисунок 3 – Влаштування шару із укоченого бетону: а) вивантаження бетону на будівельній ділянці; б) розподілення суміші асфальтоукладачами; в) укочення бетону котками; г) догляд за УЦБ
Figure 3 - Arrangement of a layer of RCC: a) unloading of concrete on the construction site; b) distribution of the mixture by asphalt pavers; c) rolling of concrete by rollers; d) care for UB

Укочений бетон укладають дорожніми укладальними машинами, оснащеними брусом з високим ступенем стиску й автоматикою вирівнювання. Чим вище ступінь ущільнення укладальника, тем рівніша виходить поверхня. ступінь ущільнення, що досягається за допомогою укладальника, не повинна бути нижче 93 %.

Способи ущільнення укоченого бетону. Укочений бетон укладають дорожніми укладальними машинами, оснащеними брусом з високим ступенем стиску й автоматикою вирівнювання. Чим вище ступінь ущільнення укладальника, тем рівніша виходить поверхня. ступінь ущільнення, що досягається за допомогою укладальника, не повинна бути нижче 93 %. Остаточне ущільнення укоченого бетону мінімум до 96 % модифікованої щільності по Проктору виконується гладким котком вагою ≥ 8 т, спочатку у два проходи без вібрації, а потім у кілька проходів з вібрацією. Цей каток повинен рухатися відразу після укладальника й не залишати видимих слідів. Під час прокатки необхідний ступінь ущільнення слід постійно перевіряти (рис. 4).



1. Укладка та ущільнення асфальтоукладачем TITAN 410S виробника АВГ з брусом високого ущільнення
 2. 6 проходів 17 – тонним пневмокатком, тиск на обод колеса 8 бар
 3. 2 статичних проходи і 4 проходи 10 – тонного віброкатка
- При $W_p=6\%$ дуже волога суміш, що має слабку стійкість до навантаження

Рисунок 4 - Результати ущільнення укованого бетону із суміші гравію, дрібного щебеню і піску 0/22 мм

Figure 4 - The results of compaction of roller-compacted concrete from a mixture of gravel, fine gravel and sand 0/22 mm

Схема прокатки при укладанні в кілька смуг (рис. 5).

По укованому бетону можна їздити ще у свіжому укладеному стані. У зв'язку із цим він особливо придатний для опоряджувальних робіт і зміцнення існуючих автомобільних доріг саме в тих місцях, де необхідний швидкий запуск транспорту або зміна напрямку руху на час будівництва неможлива.

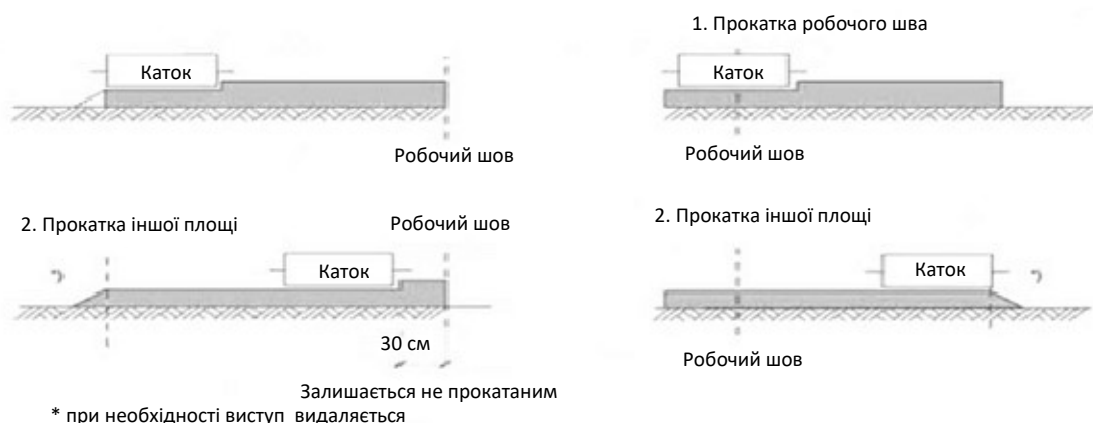


Рисунок 5 - Схема прокатки УЦБ при укладанні в кілька смуг

Figure 5 - Scheme of rolling roller-compacted concrete when laying in several strips

Догляд за укованим бетоном. Через незначний вміст води в суміші укованого бетону потрібна ретельна обробка водою. При цьому необхідно переконаватися, що в'язуча речовина повністю розчинилася у воді.

Дану обробку слід починати безпосередньо після уковання. Щоб уникнути вимивання з поверхні свіжого укованого бетону важливо спочатку розприскувати воду тонким струменем.

Поверхня повинна піддаватися вологій обробці не менше 3 днів.

Для швидкого запуску транспорту укований бетон може обприскуватися аніонною бітумною емульсією (з розрахунку 600-800 г/м²). Якщо по обробленому в такий спосіб покриттю до наступної обробки поверхні рух транспорту повинен здійснюватися протягом тривалого часу, необхідно нанесену бітумну емульсію посипати дробленим піском з розрахунку 7 л/м² і прикатати його легким катком. Початок руху транспорту вважається можливим при міцності УБ більше 30 МПа.

Укочений бетон економічний, тому що може виготовлятися з високою продуктивністю (кожний укладальник 2500 м² у день), а також з недорогих будівельних матеріалів, при виявленні істотних ознак якості стандартного бетону для дорожніх покриттів.

5. Будівництво та випробування дослідних ділянок в Україні

В Україні укочений бетон перебуває в процесі вивчення і експериментального апробування.

У 1994 році на кафедрі ДБМ та хімії НТУ виконано науково-дослідні роботи за темами: "Розробка конструкції, технології та нормативної документації на будівництво дорожніх одягів з цементобетону, ущільненого катками" та "Удосконалення та впровадження технології будівництва щебеневих основ, омонолічених способом просочення цементовмісними сумішами". В рамках виконання цих робіт були розроблені рекомендації по ремонту дослідних ділянок автомобільних доріг в Чернігівській області. У вересні-жовтні 1994 року Чернігівський Облшляхбуд виконав ремонт дослідних ділянок з використанням шарів з цементобетону, ущільненого катками та щебеню, просоченого цементовмісними сумішами. На основі цих розробок у серпні-вересні 1994 р. в Чернігівській області при ремонті автомобільної дороги Левковичі-Льгов побудовані декілька дослідних ділянок.

Для перевірки правильності вибору розрахункових схем роботи конструкцій, розрахункових характеристик нових матеріалів та оцінки ефективності технології будівництва влітку 1995 р. проведені інструментальне обстеження дослідних ділянок.

Інформація, одержана при обстеженні дослідних ділянок доріг, мала би використовуватись при проектуванні, будівництві та ремонті автомобільних доріг.

Метою обстеження було:

- дослідження стану дослідних ділянок;
- оцінка міцності конструкції в розрахунковий період;
- перевірка правильності вибору розрахункових схем і міцнісних та деформаційних характеристик матеріалів дорожнього одягу.

Перед початком випробувань дорожнього одягу вивчались [12]:

- поздовжній профіль і план траси;
- особливості будівництва дороги, включаючи погодно-кліматичні умови під час влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу, технологія виконання робіт;
- дані про час проведення ремонтних робіт, про види ремонтів і стан дорожнього одягу перед ремонтом;
- дані про склад і інтенсивність руху за період експлуатації дороги.

Після цього візуально оцінювався стан дорожнього одягу, поверхневий стік і відповідність земляного полотна вимогам будівельних норм.

Обладнання для випробування одягу. Випробування проводились методом статичного навантаження колесом автомобіля групи А (ЗИЛ-ММЗ 45065, N 96-67 ЧНП Чернігівського РайДРБУ):

- загальна вага автомобіля - 14,170 т; - навантаження на задню вісь - 11,370 т;
- навантаження на передню вісь - 3,120 т; - тиск повітря в задніх колесах - по 5,0 атм;
- діаметр круга рівновеликого по площі відбитку заднього колеса автомобіля - 42 см.

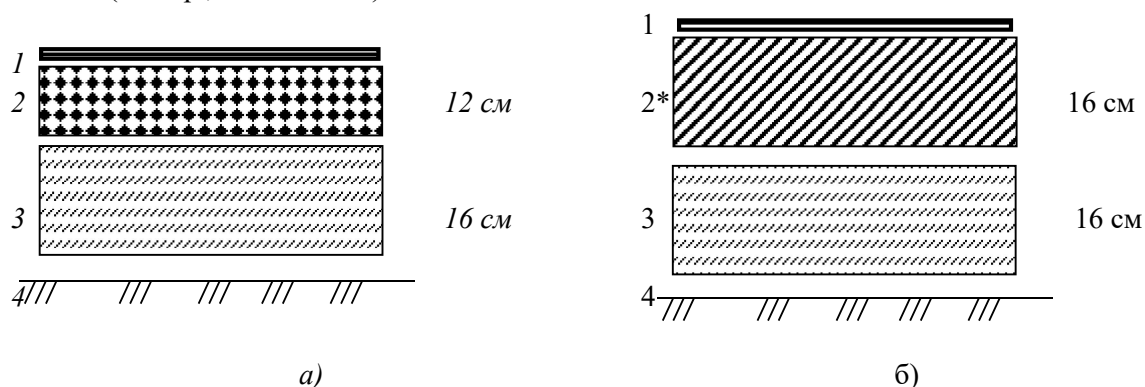
Для замірювання пружного прогину поверхні покриття використовувався важільний прогиномір (балка Бенкельмана) конструкції КП-204 з індикатором годинникового типу.

Методика випробувань. Прогин поверхні замірювався під лівим заднім колесом автомобіля, яке розміщувалось на віддалі 1 м від лівої кромки проїжджої частини. Наконечник прогиноміра встановлювався між двома балонами колеса приблизно по центру чаші прогину. Станина приладу вивірялась в горизонтальній площині після чого знімався перший відлік по індикатору. Після від'їзду автомобіля, коли пружна частина прогину відновлювалась (приблизно 1 хв), знімався другий відлік по індикатору. Різниця цих відліків показувала величину пружного прогину поверхні покриття.

Експериментальні дані. Об'єкт: автомобільна дорога Левковичі-Льгов, Чернігівська обл. Категорія дороги: IV. Дата обстеження: 19.04.1995 р. Погода: хмарно, сирі, температура повітря + 11 °С; 16-18.04.1995 р. були опади у вигляді дощу.

Ділянка № 1 (ПК0+00-ПК9+00) - капітальний ремонт виконувався у 1994 р.; верхній шар дорожнього одягу - щебінь просочений піскоцементною сумішшю (рис. 6).

Ділянка № 2 із покриттям з уложеного цементобетону товщиною 16 см (1994р.). Ділянка № 2 - просочування щебеню ЦВС на глибину 12 см (1994р.) Для порівняння випробувано дорожній одяг із щебеню просоченого 8см бітумом (1985-87рр) (ділянка № 4) та з асфальтобетонним покриттям товщиною 5 см (1984 р., ділянка № 5).



1 - подвійна поверхнева обробка; 2 - щебінь просочений цементоводною суспензією (ЦВС) або піскоцементною сумішшю (ПЦС), $E_{щ}=450$ МПа; 2* - цементобетон ущільнений котками класу міцності B_{btb} 2,0 марки за морозостійкістю F75; $E_{зг}=20000$ МПа, $E_{зс}=1140$ МПа, $R_{зг}=2,5$ МПа; 3 - ґрунт, укріплений дьогтем, $E_d=160$ МПа; 4 - ґрунт земляного полотна - пісок пилюватий, $E_{гр}=72$ МПа, $\phi=36$, $C=0,014$ МПа.

Примітка: Конструкція підсилення дорожнього одягу розраховувалась на інтенсивність руху 150 од/добу.

Рисунок 6 - Конструкція дорожнього одягу, що ремонтується: а) із ЦВС; б) з уложеного цементобетону

Figure 6 - Construction of repaired pavement: a) with CWS; b) from roller-compacted concrete

Обробка експериментальних даних. Після отримання експериментальних даних з метою виявлення грубих помилок робилась очистка статистичного ряду з надійністю 0,90 за відомими формулами [2, 3].

На основі очищених статистичних даних обраховувались дійсні значення величин (рис. 7).

Загальний модуль пружності дорожнього одягу, що випробовується за допомогою здвоєного колеса автомобіля, знаходиться за формулою [12]:

$$E_y = (1 - \mu^2)P / (0,4\pi \cdot l \cdot D), \quad (13)$$

- де P — загальне навантаження на колесо;
 μ — коефіцієнт Пуассона, приймається рівним 0,30
 l — пружний прогин конструкції між балонами колеса;
 D — діаметр умовного круглого гнучкого штампа, що передає навантаження на покриття, рівний 0,42 м.

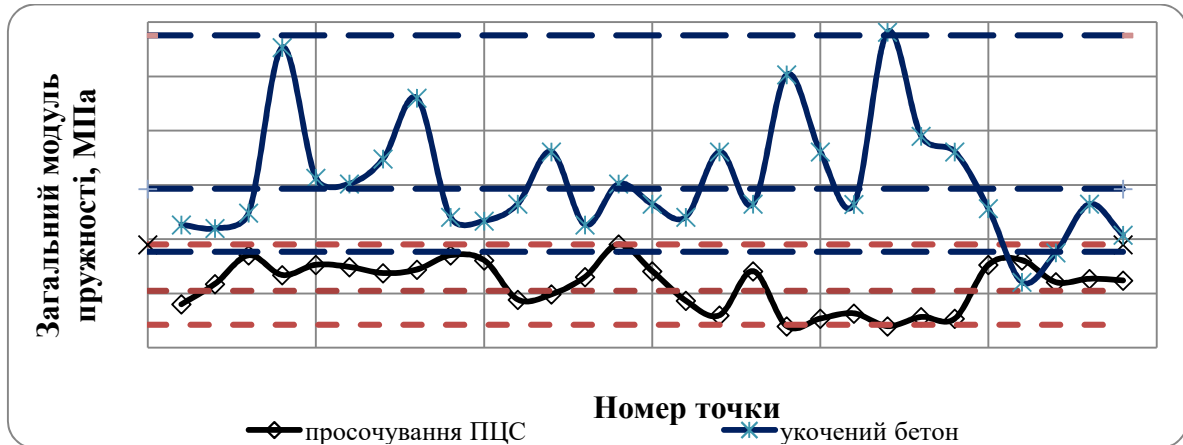


Рисунок 7 – Порівняння даних випробувань дорожнього одягу з покриттям із щебеню просоченого ПЦС та укоченого бетону

Figure 7 - Comparison of test data of pavement with gravel coating impregnated sand-cement mixture and roller-compacted concrete

У табл. 2 наведено аналіз результатів випробувань та визначення модуля пружності матеріалу покриття дорожнього одягу.

Таблиця 2 – Результати випробувань та визначення модуля пружності матеріалу покриття дорожнього одягу

Table 2 - Test results and determination of the modulus of elasticity of the pavement material

№ ділянки	Матеріал верхнього шару дорожнього одягу	Прогин поверхні l, мм	Коеф. варіації прогину %	Загальний модуль пружності дорожнього одягу Езаг, МПа			Вологість ґрунту на узбіччі, W, %	Модуль пружн. покриття, Е ₁ , МПа
				мін	ср	мах		
1	Просочування (12 см) щебеню ПЦС (1994 р.)	0,76±0,34	21,98	142	205	366	16,0±3,8	1 750
2	Укочений 16 см цементобетон (1994р.)	0,40±0,17	21,60	275	394	693	15,9±4,4	8 100
3	Просочування (12 см) щебеню ЦВС (1994р.)	0,43±0,20	23,54	247	363	686	16,2±2,7	14 000
4	Щебінь просочений 8см бітумом (1985-87рр)	0,86±0,26	15,00	140	182	260	15,7±4,7	1 500
5	Асфальтобетон (5 см) 1984 р.)	0,99±0,26	13,38	126	159	217	15,9±0,8	2 000

Модуль пружності верхнього шару дорожнього одягу (табл. 1) для ділянок 1-5 перевірявся за точним рішенням теорії пружності за програмою "LESY_NDC", яка реалізує точне рішення теорії пружності та номограмами ГБН. Порівняння результатів досліджень і розрахунків показали достатню схожість теоретично встановлених і фактичних значень модулів пружності шарів дорожнього одягу, які оброблені піскоцементною сумішшю а також шарів із укоченого цементобетону. Модуль пружності шару щебеню, обробленого водоцементною суспензією (ділянка 3), має великий розкид значень, що свідчить про недосконалість запропонованої технології спорудження щебених шарів, просочених ЦВС.

На всіх дослідних ділянках влаштовувалась двійна поверхнева обробка яка має добре щеплення з щебеним покриттям, влаштованим за методами просочення (ділянки 1 і 3), і дещо гірше зчеплення з шаром укоченого цементобетону (ділянка 2).

Висновки. Покриття із укоченого бетону побудовані в 1986 р. в Чернігівській обл. в рамках програми Цемент. Керівник роботи - Борисенко А.А. Випробування показали, що модуль пружності на поверхні шару 16 см становив в середньому 394 МПа. Для забезпечення морозостійкості поверх шару свіжого бетону влаштована двійна поверхнева обробка. Покриття прослужило 25 років та в 2020 р. виконано капітальний ремонт.

На основі виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Використання піскоцементних сумішей для укріплення верхньої частини щебеневого шару є ефективним засобом підвищення його міцності та зсувостійкості. Заповнення пор верхньої частини щебеневого шару ПЦС збільшує у 3-4 рази модуль пружності, знижує залишкові деформації та надає йому жорсткість.

2. Укочений цементобетон - достатньо міцний та довговічний конструктивний шар дорожнього одягу, міцність якого наближається до монолітного цементобетону.

3. Дослідно-експериментальна перевірка конструкції, технології та засобів механізації показали, що розроблені методики влаштування щебеневих шарів просоченням ПЦС і укоченого цементобетону можна рекомендувати для спорудження дорожнього одягу автомобільних доріг.

4. Просочування щебеню цементоводною суспензією дає достатню міцність конструктивного шару, але великий розкид значень модуля пружності, що, очевидно, відбувається через недосконалість технології приготування. Тому запропоновану технологію необхідно доопрацювати.

Перелік посилань

1. ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee 325. – 32 p.
2. ACI 309.5R-00 (Reapproved 2006). Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309. – 19 p.
3. ACI 327R-14 (Reapproved 2015). Guide of Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee. – 55 p.
4. Петрович П.П., Дмитричев А.В. Современное состояние и перспективы применения технологии укочуемого бетона. Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. 6-2004. – 87 с.
5. Rst 01 Норми по стандартизації верхньої конструкції доріг загального користування, видання 2001 року.
6. RLW 1999 Норми по будівництву сільських доріг, видання 1999 року.
7. ZTV T-stb 95 Додаткові технічні договірні умови й норми по виготовленню несних шарів у дорожньому будівництві, видання 1995 року в редакції 1998.
8. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements (2004). Portland Cement Association.
9. Р В.2.7-02071168-870: 2016 Рекомендації щодо приготування пісних cemento-бетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону.
10. ТК 37641918/02071168-198:2016 Типова технологічна карта на влаштування шару основи дорожнього одягу із пісного укочуваного цементобетону.
11. ТУ У 42.1-25422297-055:2016 Суміші бетонні жорсткі з добавкою «FSP» для улаштування шарів дорожнього одягу. Технічні умови.
12. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. - М.: Транспорт, 1985. - 157 с.
13. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. -М.: "Наука", 1970.-104 с.
14. Вентцель Е.С. Теория вероятностей, - М.: "Физматгиз", 1962. - 564 с.

EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF ROLLED CEMENT CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION

Gameliak Ihor P., Dr. Tech. Sci., Professor, National Transport University, Head of Airports Department, e-mail: gip65n@gmail.com, тел. +380503524124, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 344. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

Ostroverkhyy Oleg Grigorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of «Airports», National Transport University, e-mail: oostroverkhyy@gmail.com, +380974848976, id ORCID 0000-0003-2182-2209.

Dmytrychenko Andij Mykolayovich, Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Annotation. The article is devoted to the selection of the composition of the cement-concrete mixture and the determination of the general modulus of elasticity of the pavement made of hardened cement concrete for paving and foundation of roads, parking lots and hydraulic structures with high load-bearing capacity.

The object of research is the processes of composition design and ensuring the strength and load-bearing capacity of hardened cement concrete.

The purpose of the work is to design the composition of hardened concrete by the method of maximum compaction (Proctor) and the selection of the composition and features of the technology of layers. Determination of the total modulus of elasticity and modulus of elasticity of the material according to the determination of the deflection of the Benkelman beam.

Research methods - scientific and experimental.

The results of the article can be used in the operation of road and airfield clothing in coatings and bases to increase the load-bearing capacity and durability of roads.

Key words: roller-compacted concrete, composition design, general modulus of elasticity, modulus of elasticity of material, bearing capacity.

References

1. ACI 325.10R-95 (Reapproved 2001). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee 325. – 32 p.
2. ACI 309.5R-00 (Reapproved 2006). Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309. – 19 p.
3. ACI 327R-14 (Reapproved 2015). Guide of Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee. – 55 p.
4. Petrovych P.P., Dmytrychev A.V. Sovremennoe sostoianye y perspektivy pryumeneniya tekhnolohy ukatываемого бетона. Obzornaia ynformatsiia. Avtomobylnye dorohy y mosty. 6-2004. – 87s.
5. Rsto 01 Normy po standartyzatsii verkhnoi konstruktsii dorih zahalnoho korystuvannia, vydannia 2001.
6. RLW 1999 Normy po budivnytstvu silskykh dorih, vydannia 1999 roku.
7. ZTV T-stb 95 Dodatkovy tekhnichni dohovirni umovy y normy po vyhotovlenni nesnykh shariv u dorozhnomu budivnytstvi, vydannia 1995 roku v redaktsii 1998/
8. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements (2004). Portland Cement Association.
9. R V.2.7-02071168-870: 2016 Rekomendatsii shchodo pryhotuvannia pisnykh tsemento-betonnykh sumishei ta vlashtuvannia osnov dorozhnykh odiahiv iz pisnoho ukochuvanoho tsementobetonu.
10. TK 37641918/02071168-198:2016 Typova tekhnolohichna karta na vlashtuvannia sharu osnovy dorozhnoho odiahu iz pisnoho ukochuvanoho tsementobetonu.
11. TU U 42.1-25422297-055:2016 Sumishi betonni zhorstki z dobavkoiu «FSP» dlia ulashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu. Tekhnichni umovy.
12. Ynstruktsiia po proektyrovanyi dorozhnykh odezhd nezhestkoho typu. VSN 46-83. - M.: Transport, 1985. - 157 s.
13. Kassandrova O.N., Lebedev V.V. Obrabotka rezultatov nabliudenyi. -M.: "Nauka", 1970.- 104 s.
14. Venttsel E.S. Teoriia veroiatnostei, - M.: "Fyzmatyhz", 1962. - 564 s.