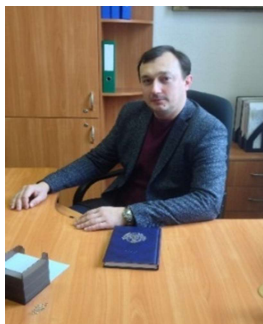


ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ ПЕРЕЗВОЛОЖЕННЯ

RESEARCH OF THE TRANSPORT-MAINTENANCE COAT CONDITION CHANGE WHILE OVER-WATERING



Бубела Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, номер

<https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

Анотація. Переважна більшість автомобільних доріг на території України мають асфальтобетонне покриття, яке є головним контактуючим шаром дорожнього одягу з навколишнім середовищем. Цілісність покриття має суттєвий вплив на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги за рахунок збереження конструктивно-запроектованих міцносних характеристик всіх шарів дорожнього одягу. Під впливом температурних змін, атмосферних опадів, поверхневих та ґрунтових вод, промерзання, відлиг, окислювальних процесів, навантажень, особливо від великовагових транспортних засобів, відбуваються різного виду пошкодження покриття, які скорочують термін його служби, збільшують нерівність поверхні та сприяють виносу зруйнованого матеріалу. Основними факторами, що впливають на розтріскування і механічне пошкодження асфальтобетонних покриттів є знос і втома під впливом багаторазових навантажень та наявність надлишкової вільної води. Найбільших збитків найчастіше завдає вода, що вже знаходиться в шарах дорожньої конструкції, а також в тріщинах асфальтобетонних покриттів. Оскільки практично неможливо уникнути потрапляння води в дорожню конструкцію, то для забезпечення її міцності і довговічності, особливо на перезволожених ділянках, необхідно швидке відведення води за допомогою дренажів мілкого закладання, які є економічно виправданими та істотно зменшують утворення тріщин покриттів.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортно-експлуатаційний стан, дренаж мілкого закладання, асфальтобетонне покриття, перезволоження.

Вступ

На сьогоднішній день більшість автомобільних доріг на території України, побудовані за старими нормами та стандартами, де не враховано швидке збільшення інтенсивності руху та вантажопідйомності транспортних засобів. І хоча збільшення потоку є причиною багатьох проблем, все ж основним фактором передчасного руйнування слід вважати те, що не забезпечується належного відводу води з конструктивних шарів дорожньої конструкції.

Аналіз досліджень, а також результати спостережень показали, що вода є головним чинником, який впливає на виникнення руйнувань в дорожній конструкції. Так в роботі [1] розглядаються різні деформації дорожнього покриття, які виникли через надмірні великі навантаження від транспортних засобів та недоліки структури дорожнього одягу, що негативно впливають на безпеку руху. Проїзд вантажного автомобіля порушує рівновагу стаціонарного стану дорожнього одягу, особливо за наявності в ньому вологи. Це спричиняє перерозподіл навантаження на шари дорожньої конструкції, що призводить до порушення цілісності покриття проїзної частини та деформації [2, 3].

Витрати на ремонт і відновлення зруйнованих ділянок автомобільних доріг майже завжди обумовлені дією важких колісних навантажень і динамічними впливами їх на конструктивні шари, що містять вільну воду. Для того, щоб запобігти або мінімізувати майбутні пошкодження та руйнування, особливо на ділянках за II та III типами зволоження [4], а також підвищити експлуатаційні характеристики автомобільної дороги необхідно обов'язково влаштовувати дренаж мілкого закладання, який забезпечує запобігання накопиченню та швидке відведення будь-якої води з дорожньої конструкції.

Метою даної роботи є дослідження зміни транспортно-експлуатаційного стану покриттів в умовах перезволоження від різних джерел надходження води. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати джерела зволоження дорожньої конструкції;
- дослідити причини руйнування та деформації дорожнього одягу;
- визначити основні фактори забезпечення належного транспортно-експлуатаційного стану.

Основна частина

Переважає більшість конструкцій автомобільних доріг не розраховані на швидке відведення води. Вільна вода, перебуваючи в асфальтобетонних покриттях, сприяє виникненню тріщин, окислення і збільшення жорсткості шару покриття, що може привести до зниження міцності, розтріскування і загального руйнування шарів зносу та основи.

Серйозну небезпеку для транспортних засобів і великі додаткові затрати, пов'язані з утриманням доріг, викликають тріщини, які є першопричиною виникнення вибоїн. Тріщини на асфальтобетонних покриттях можуть бути поперечні, повздовжні, косі, ромбовидні, локальні, наскрізні, температурні та у вигляді сітки [5]. В багатьох випадках утворення тріщин пов'язано з дією навантаження та наявністю вільної води в шарах дорожнього одягу, де виникають небезпечні за розмірами деформації, які спричиняються наступними причинами:

утворення сіткових тріщин

- конструктивні недоліки, тобто недостатні розміри або недостатня несна здатність основи;
- дуже тверде в'язуче;
- відсутність контакту між шарами дорожнього одягу.

виникнення повздовжніх тріщин

- недостатні розміри або невірне виконання будівельних робіт;
- передчасні утомлені явища в асфальті.
- утворення лінз з льоду в несучій конструкції.

виникнення поперечних тріщин

- використання неузгоджених з районом експлуатації будівельних матеріалів, наприклад, дуже твердого в'язучого;
- глибокі тріщини після укочування.

За глибиною, більшість тріщин поширюються на товщину шарів покриття, однак, при недостатній міцності дорожнього одягу, тріщини можуть поширюватися і в шари основи. Результати цього впливу приховані під поверхнею і не обов'язково виявляються безпосередньо. Зниження міцності покриття через його перезволоження – це поступовий процес, і протягом перших кількох років його результати можуть залишатися непоміченими.

Коли вільна вода потрапляє в проміжки між конструктивними шарами дорожньої конструкції, багатшарова система під впливом вібрації покриттів, яка створюється навантаженнями від транспорту, починає діяти подібно діафрагмовому насосу [6]. Під дією навантажень від транспортних засобів швидкість пошкодження зростає в багато разів у порівнянні зі швидкістю при їх відсутності (рис 1).

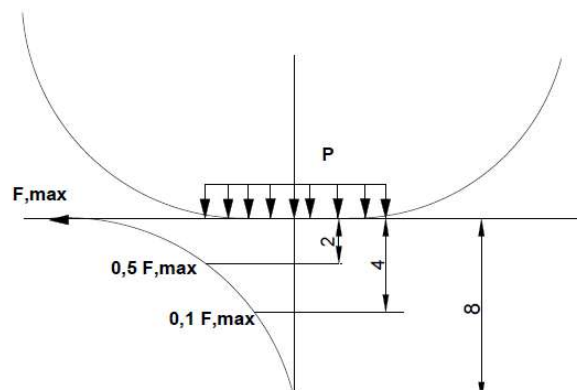


Рисунок 1 – Дія навантаження від колеса автомобіля

Figure 1 – The effect of the car wheel load

В результаті навантажень від коліс автомобілів дорожній одяг прогинається, потім поступово відновлюється. При великій інтенсивності і високій швидкості руху навантаження від коліс вантажних автомобілів можуть повторюватися через кожні 1,5–6 с. Прогин від колеса важкого вантажного автомобіля розповсюджується в усі напрямки, створюючи чашу, яка переміщується в напрямку руху автомобіля (рис. 2). Чаші прогинів частково перекривають одна одну, охоплюючи всю ширину смуги руху. При цьому в шарах дорожнього одягу виникають напруження стиску, розтягу, згину та зсуву.

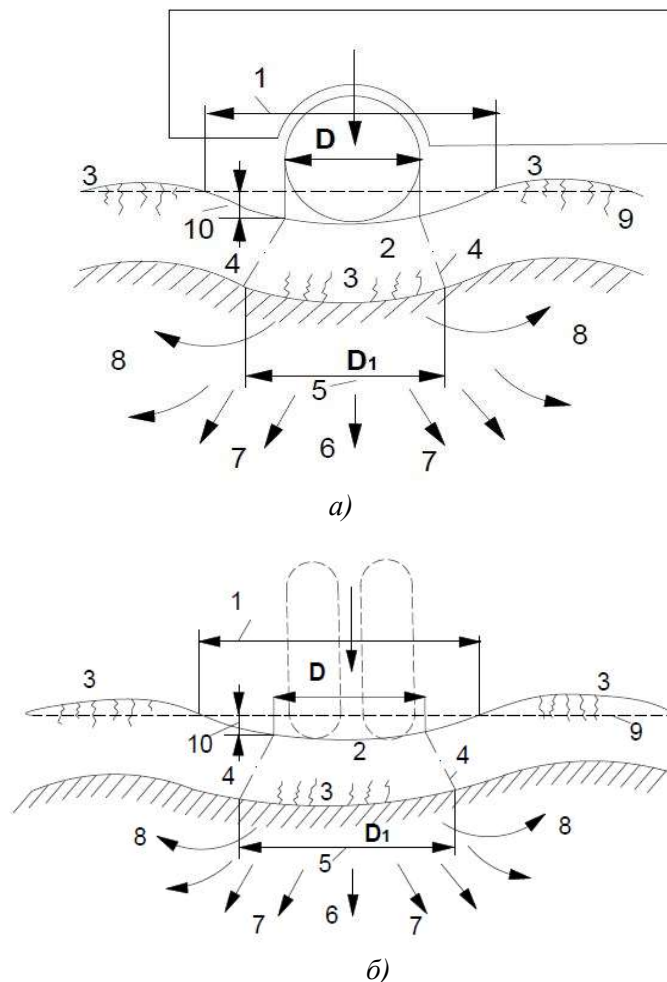


Рисунок 2 – Виникнення деформації та руйнувань під дією навантаження від автомобіля: а) – повздовжня дія; б) – поперечна дія; 1 – чаша прогину; 2 – зона стиску одягу; 3 – зона розтягування; 4 – поверхня зрізу одягу; 5 – площа передачі тиску на ґрунт; 6 – ущільнення ґрунту в основі дорожнього одягу; 7 – напрямок стиску ґрунту; 8 – напрямок випирання ґрунту; 9 – тріщини в дорожньому одязі (а – повздовжні; б – поперечні); 10 – деформації дорожнього одягу

Figure 2 – Occurrence of deformation and destruction under the action of the car load: a) - longitudinal action; b) - transverse action; 1 - bowl deflection; 2 - pavement compression zone; 3 - stretching zone; 4 - cut surface of pavement; 5 - the area of pressure transfer to the ground; 6 - soil compaction at the base of the pavement, 7 - the direction of soil compression; 8 - direction of soil protrusion; 9 - cracks in the pavement (a - longitudinal; b - transverse); 10 - deformation of pavement

Дорожній одяг повинен розподіляти діюче на нього навантаження від колеса автомобіля на велику площу. У весняний чи осінній періоди, коли внаслідок перезволоження знижується міцність ґрунту, існуюча товщина дорожнього одягу не забезпечує необхідну величину тиску, і при проїзді дуже важких автомобілів можуть виникати його руйнування. Величина тиску залежить, безсумнівно, від величини прогину дорожнього одягу і ступеня защемлення води під покриттям. Кожен прогин покриття під впливом великого навантаження змушує воду рухатися по поверхні розділу між верхнім шаром покриття і основою, що призводить до розмивання матеріалу, виштовхування і розбризкування

його через тріщини на поверхню та в результаті утворюються порожнечі і порожнини, що викликають руйнування покриття.

У початковий період вода може вийти тільки через відкриті тріщини. Однак з часом в разі виникнення умов, сприятливих для утворення підсосу води з ґрунту основи, вона зазвичай прокладає собі шлях для виходу між узбіччям і кромкою покриття. В покриттях, покладених на дрібнозернистому ґрунті природної основи, викид або витікання води супроводжується змішуванням дрібних фракцій ґрунту з водою, яка забирає з собою і дрібні фракції. В результаті утворюється порожнеча, яка під впливом багаторазового застосування транспортних навантажень поступово стає все більше і більше.

Надмірні напруження від транспортних навантажень призводять до виникнення деформацій [7], а накопичення залишкових деформацій призводить до руйнування дорожнього покриття. Такі деформації майже ніколи не проявляються відразу після будівництва. Їм, як правило, передують тривалі внутрішні процеси, які в кінцевому підсумку знижують міцнісні властивості ґрунтів і сприяють утворенню ослаблених зон в тілі земляного полотна. Іноді на перший погляд дрібні порушення і пошкодження переростають в дефекти, що створюють аварійні ситуації і тягнуть за собою значні економічні збитки.

При обстеженні дорожніх конструкцій було встановлено, що найбільша неоднорідність вологості та щільності спостерігається у верхній частині земляного полотна в місцях утворення тріщини. В цих місцях середня вологість ґрунту полотна на 15–30% вища, ніж в місцях де немає порушення поверхні покриття, що веде до значного зниження щільності і міцності ґрунту, а також ослаблення в цих місцях дорожніх конструкцій в цілому [8].

Негативний вплив тріщин у шарі асфальтобетонного покриття полягає в тому, що вода проникає через весь дорожній одяг в основу, порушуючи його цілісність. Проникнення води обумовлює розвиток наступних процесів:

- підвищення вмісту води в неукріплених шарах знижує несну здатність конструктивних шарів дорожньої конструкції;

- замерзаючи, вода в дорожній конструкції може призвести як до відшаровування та місцевого руйнування асфальтобетонного покриття, так і до здимання у нижніх шарах, викликаних морозом.

Особливо активно процес виникнення тріщин розвивається у весняний період, коли відбувається коливання температури повітря та покриття. Проникаючи в раковини та мікротріщини покриття, вода здійснює розклинюючу дію, за рахунок фізико-механічних властивостей при її замерзанні. Зв'язки між частками матеріалу послаблюються і під впливом коліс автомобіля утворюється вибоїна, яка може швидко збільшитися (рис. 3).

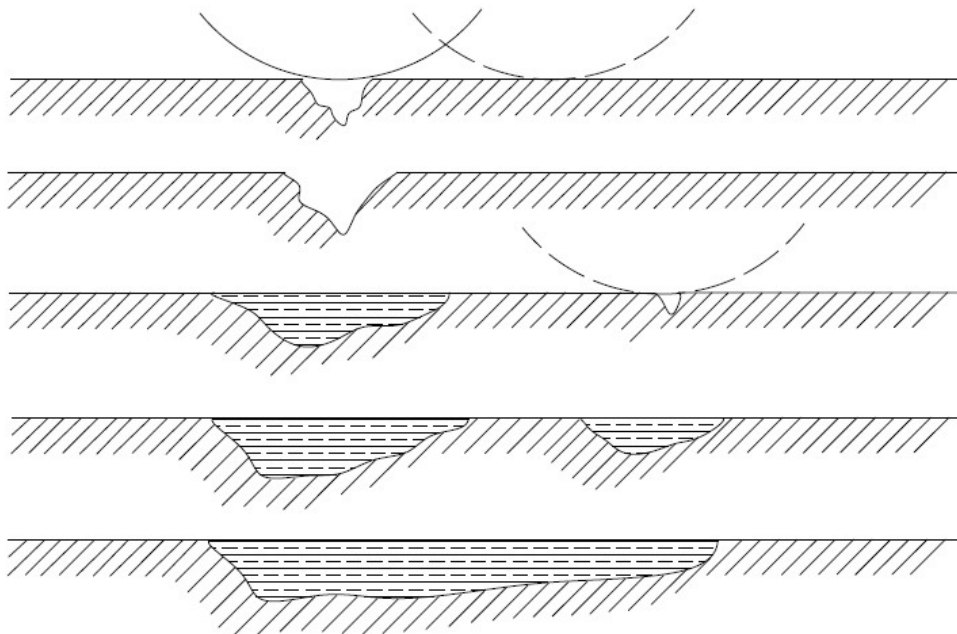


Рисунок 3 – Динаміка розвитку тріщин та утворення вибоїн
Figure 3 – Dynamics of crack development and pothole formation

Наїжджаючи на вибоїну, колесо отримує поштовх, що призводить до повторних динамічних навантажень на дорожнє покриття. При багаторазовому повторенні цього навантаження утворюється наступна раковина або тріщина, які потім зливаються в одну велику вибоїну.

Збиток, заподіяний у результаті цього, зв'язаний, як правило, з ремонтом шару асфальтобетонного одягу, або навіть із повним відновленням дорожньої конструкції. Крім того, через проникнення кисню крізь тріщини прискорюється процес старіння бітуму.

Повністю уникнути появи тріщин в дорожніх покриттях важко. Цей процес пов'язаний з дією транспортних навантажень, перепадами температур, наявністю тріщин в нижчих шарах, слабкої основи, відмінністю теплофізичних властивостей матеріалів суміжних шарів.

Відомо про кілька напрямків щодо забезпечення тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів, основні з яких на стадії проекту – матеріалознавчий (пов'язаний з покращенням властивостей асфальтобетонів на сприйняття напружень) і конструктивно-технологічний (заснований на виборі ефективного конструктивного рішення).

На сьогоднішній день існують наступні заходи для зниження руйнування дорожнього одягу, від дії надлишкової води:

- істотно збільшити товщину конструктивних шарів дорожнього одягу, що призводить до його подорожчання;

- влаштування дренажів мілкового закладання (ДМЗ), що є ефективним способом зниження зволоження, який зарекомендував себе як надзвичайно позитивний і економічний.

Для того щоб витрати на будівництво і експлуатацію покриттів з урахуванням терміну їх служби були зведені до мінімуму, треба так проектувати конструктивні шари дорожньої конструкції, щоб забезпечити можливість їх самостійного швидкого осушення за короткий проміжок часу. Дану функцію забезпечують дренажі мілкового закладання, які влаштовуються в робочій зоні дорожньої конструкції, де має місце накладання двох видів найбільшого навантаження: від рухомого транспорту та власної ваги конструкції.

На теперішній час існуючі методи визначення параметрів дренажних систем мілкового закладання в дорожній конструкції носять розрізнений характер і, в першу чергу, направлені на забезпечення достатньої водопрпускнує спроможності.

Основним завданням ДМЗ є забезпечення оптимального водно-теплового режиму дорожньої конструкції, шляхом акумулювання та відведення вільної води, при цьому не зменшуючи її міцнісні характеристики.

Конструкція ДМЗ можлива з різних матеріалів, які характеризуються фізико-хімічними властивостями, що впливають на інтенсивність водовідведення.

Індивідуальні проектно-конструктивні параметри шарів дорожнього одягу та дренажів мілкового закладання, на відміну від стандартних підходів, дозволяють збільшити строк експлуатації автомобільної дороги, зменшити утворення тріщин, пошкоджень та витрати на експлуатаційне утримання.

Висновки. Міцність дорожньої конструкції є найбільш важливим показником транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги, який необхідно регулярно перевіряти та підтримувати протягом усього терміну її експлуатації. Основним елементом забезпечення міцносних характеристик автомобільної дороги є цілісність дорожнього одягу, яка забезпечується за рахунок влаштування дренажної системи мілкового закладання у відповідності до проектно-конструктивних параметрів. Добре спроектована дренажна система обумовлює зменшення витрат на експлуатаційне утримання дороги, за рахунок зменшення пошкоджень та тріщин покриття, і, відповідно, дозволяє значно скоротити майбутні роботи з капітального ремонту та реконструкції.

Перелік посилань

1. Aydin, M.M. Effect of road surface deformations on lateral lane utilization and longitudinal driving behaviours [Текст] / Aydin, M. M., Topal, A. // Transport. – 2016. Volume 31(2). – P. 192–201. Режим доступу : \www/ URL: <https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1193049>
2. Khalymendyk, I. The mechanism of roadway deformation in conditions of laminated rocks [Текст] / Khalymendyk, I., Baryshnikov, A. // Journal of Sustainable Mining. – 2018. Volume 17, Issue 2. – P. 41–47. Режим доступу : \www/ URL: <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.03.004>
3. Grygierek, M. Influence of mining operations on road pavement and sewer system – selected case studies [Текст] / Grygierek, M., Kalisz, P. // Journal of Sustainable Mining. – 2018. Volume 17, Issue 2. – P. 56–67. Режим доступу : \www/ URL: <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.04.001>
4. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016. Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкового закладання на

автомобільних дорогах. [Електронний ресурс] / Національний стандарт України. Київ. ДП "УкрНДНЦ". – Режим доступу : \www/ URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65399

5. Кияшко, И.В. Причины образования и негативного влияния трещин в асфальтобетонных покрытиях [Текст] / Кияшко, И.В., Белик, В.В. Харьков: ХНАДУ. – 2001.

6. Леонович, И. И. Трещины в дорожных покрытиях: способы повышения трещиностойкости [Текст] / Леонович, И. И., Мельникова, И. С. // Вестник БНТУ. – 2011. Транспорт № 6, с. 49–53. Режим доступу : \www/ URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/treshchiny-v-dorozhnyh-pokrytyakh-sposoby-povysheniya-treshchinostoykosti>

7. Slavinska, O. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin [Текст] / Slavinska, O., Savenko, V., Bubela, A., Yaremov, A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Volume 2, Issue 7-92. – P. 18–26. Режим доступу : \www/ URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512>

8. Крицкий, М.Я. Земляное полотно автомобильных дорог: дефекты, повреждения и разрушения, их причины, методы профилактики и восстановления: Учебное пособие [Текст] / Крицкий, М.Я., Шестаков, В.Н. // – 2008. Изд-во СибАДИ, 56 с. Режим доступу : \www/ URL: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ED1621.pdf>

RESEARCH OF THE TRANSPORT-MAINTENANCE COAT CONDITION CHANGE WHILE OVER-WATERING

Bubela Andrii Volodymyrovych, PhD, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha–Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Abstract. The vast majority of roads in Ukraine have asphalt pavement, which is the main contact layer of road clothing with the environment. The integrity of the coating has a significant impact on the transport and operational condition of the highway by maintaining the design-designed strength characteristics of all layers of road clothing. Under the influence of temperature changes, precipitation, surface and groundwater, freezing, thawing, oxidation processes, loads, especially from heavy vehicles, various kinds of damage to the coating occur, which shorten its service life, increase surface roughness and promote material ruin. The main factors affecting the cracking and mechanical damage of asphalt pavements are wear and fatigue under the influence of multiple loads and the presence of excess free water. The most frequent damage is caused by water already in layers of the road structure, as well as in the cracks of asphalt pavements. As it is practically impossible to avoid water entering the road structure, to ensure its durability and durability, especially in wetted areas, rapid drainage of water by means of shallow drainage, which is economically justified and significantly reduces the formation of cracks in the pavements.

Key words: highway, transport and operational condition, drainage of small mortgages, asphalt pavement, over-watering.

References

1. Aydin, M.M., Topal, A. (2016). Effect of road surface deformations on lateral lane utilization and longitudinal driving behaviours. *Transport*, 31(2). 192–201. <https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1193049>
2. Khalymendyk, I., Baryshnikov, A. (2018). The mechanism of roadway deformation in conditions of laminated rocks. *Journal of Sustainable Mining*. Volume 17, Issue 2. 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.03.004>
3. Grygierek, M., Kalisz, P. (2018). Influence of mining operations on road pavement and sewer system – selected case studies. *Journal of Sustainable Mining*. Volume 17, Issue 2. 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.04.001>
4. DSTU-N B V.2.3-41:2016. Nastanova z proektuvannya drenaznykh konstruktsiy milkoho zakladannya na avtomobil'nykh dorohakh. Natsional'nyy standart Ukrainy. Kyiv. DP "UkrNDNTS". http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65399
5. Kiyashko, I.V., Belik, V.V. (2001). Prichiny obrazovaniya i negativnogo vliyaniya treshchin v asfal'tobetonnykh pokrytyakh. Khar'kov: KHNADU.
6. Leonovich, I.I., Mel'nikova, I.S. (2011). Treshchiny v dorozhnykh pokrytyakh: sposoby povysheniya treshchinostoykosti. *Vestnik BNTU*. *Transport* № 6, 49–53. <https://cyberleninka.ru/article/n/treshchiny-v-dorozhnyh-pokrytyakh-sposoby-povysheniya-treshchinostoykosti>
7. Slavinska, O., Savenko, V., Bubela, A., Yaremov, A. (2018). Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Volume 2. Issue 7-92. 18–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512>
8. Kritskiy, M.YA., Shestakov, V.N. (2008). Zemlyanoye polотно avtomobil'nykh dorog: defekty, povrezhdeniya i razrusheniya, ikh prichiny, metody profilaktiki i vosstanovleniya: Uchebnoye posobiye. Izd-vo SibADI, 56 s. <http://bek.sibadi.org/fulltext/ED1621.pdf>

ДОРОЖНІЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН ДЛЯ БУДІВНИЦТВА МІСЦЕВИХ ДОРІГ

ROAD CEMENT CONCRETE FOR BUILDING LOCAL ROADS



Гамеляк Ігор Павлович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, доктор технічних наук, професор, gip65n@gmail.com, +380503524124.

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Шургая Анзорі Гівієвич, ПП «Аліоні», «Мостозагін 112», начальник лабораторії, +380993787380. alioni@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>



Дмитриченко Андрій Миколайович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, кандидат технічних наук, доцент, andrew_d@ukr.net, +380502816006.

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Анотація: У статті розглянуто питання будівництва місцевих доріг з цементобетонним покриттям. Наведено вимоги до сировинних матеріалів, бетонних сумішей, дорожніх цементобетонів і проведено порівняння з європейськими нормами. Удосконалено технологію влаштування цементобетонних покриттів місцевих доріг при використанні пластичних та литих сумішей.

Ключові слова: дорожнє жорстке покриття, високоміцний цементобетон, хімічні добавки, пластичні цементобетонні суміші.

Вступ

Зростання вантажопідйомності і швидкості руху автомобілів вимагає безперервного розвитку дорожньої мережі, вдосконалення конструкцій дорожнього одягу. Невідповідність стану автомобільної дороги вимогам транспортного потоку призводить до зростання кількості дорожньо – транспортних пригод, знижує швидкість руху, збільшує знос автомобілів і витрати на їх ремонт, підвищує витрату палива. Частковим рішенням цієї проблеми може стати використання жорсткого дорожнього одягу.

У Німеччині в 70-ті роки минулого століття будувалося 30 % цементобетонних покриттів, у 80-ті близько 60 %, а у другій половині 90-х вже 62 %. Так само в Чеській Республіці, де в останні 15 років близько 65 % нових доріг були збудовані з цементобетонним покриттям. В інших європейських країнах, також постійно зростає частка цементобетонних доріг. Наприклад, в Австрії частка цементобетонних доріг більше 50 %. У Бельгії, цементобетонні шосе складають 40 %, а доля доріг місцевого значення побудованих за цементобетонною технологією складає близько 60 %.

14 листопада 2017 року у Комітеті з питань транспорту ВР України відбулося засідання круглого столу «Бетонні дороги. Реальність для України», де було проведено порівняння

цементобетонних і асфальтобетонних доріг і показано економічні переваги будівництва цементобетонних доріг:

- запас виробничих потужностей цементної промисловості становить 32,6 % і в змозі забезпечити будівництво цементобетонних доріг в будь-якому регіоні України;
- значний вплив на ВВП України, через використання місцевих сировинних матеріалів, що забезпечить відмову від імпорту та надання робочих місць населенню. За оцінками UIF при будівництві 1000 км в рік цементобетонні дороги можуть забезпечити зростання ВВП до 2030 року від 8,5 до 19,4 млрд. дол. Через 20 років ефект буде становити до 31 млрд. дол. зростання ВВП;
- економія коштів і матеріалів при експлуатації та ремонті дороги, зниження циклу обслуговування;
- економія палива для вантажних та легкових транспортних засобів за рахунок низького опору кочення (від 35 до 305 млн. грн. на рік);
- економія електроенергії для освітлення тунелів і доріг завдяки кращій здатності цементобетону відбивати світло;
- зменшення собівартості продукції дозволить підвищити конкурентну спроможність національних продуктів на світовому ринку [1,3].

Поряд з розумінням необхідності будівництва цементобетонних покриттів автомобільних доріг вищих категорій [4] залишаються невирішеними ряд питань влаштування цементобетонних покриттів місцевих доріг.

Мета і методи. Встановити вимоги до складу, структури та властивостей дорожнього цементобетону для будівництва місцевих доріг при використанні малорухливих, пластичних та литих цементобетонних сумішей.

Задачі роботи: - надати вимоги до вихідних матеріалів; - удосконалити методику підбору складу цементобетонних сумішей та надати склади сумішей; - удосконалити технологію влаштування цементобетонних шарів дорожнього одягу при використанні пластичних та литих сумішей.

Однією з умов повноправного членства України в Євросоюзі, є перехід від вітчизняних стандартів до європейських норм. Так з 1 липня 2016 року вступили в силу 22 стандарти EN стосовно використання портландцементу. Однак існує певна розбіжність між вітчизняними та європейськими нормами.

Результати і пояснення

Вимоги до вихідних матеріалів

Цемент. Для приготування цементобетонних сумішей для шарів покриття необхідно застосовувати портландцемент типу I і II, на основі клінкеру нормованого складу, згідно з ДСТУ Б В.2.7-46-2010, з вмістом трьохкальцієвого алюмінату (С₃А) в кількості не більше ніж 8 % за масою, а в Європі і США - 5 %. В європейському стандарті такий цемент відсутній, але при вирішенні задачі вибору цементу для виробництва відповідальних конструкцій може бути використаний цемент EN 197-1 CEM I 42,5R-SR5. В Україні даний цемент не випускають, тому необхідно налагодити його виробництво на декількох цементних заводах для забезпечення задовільної логістики. При цьому, для забезпечення морозостійкості слід віддавати перевагу цементам отриманим по мокрому способу виготовлення.

Початок тужавіння цементу повинно бути не раніше ніж за 2 години, а закінчення – не пізніше 6 годин. Слід відмітити, що в EN 197-1 відсутні вимоги до міцності на розтяг при згині цементів, яка необхідна для розрахунку складу цементобетону для доріг та аеродромів..

Найбільш суттєва відмінність європейського стандарту від національного ДСТУ Б В.2.7-46, це те що у стандарті EN 197-1 введено статистичний критерій відповідності, який конкретизує міру постійності механічних, фізичних та хімічних властивостей цементу. У Технічному Регламенті ЄС № 305/2011 від 09.03.2011 за статтею 29 законодавчо закріплено, що в обов'язки виробника входить забезпечення стабільності технічних характеристик будівельних матеріалів.

Крупний заповнювач. Для приготування цементобетонних сумішей як крупний заповнювач слід використовувати щебінь з природного каменю, гравій, щебінь з гравію, щебінь з шлаків, а також щебінь з вміщуючих гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176, ДСТУ Б В.2.7-75, ДСТУ Б В.2.7-34, ДСТУ Б В.2.7-39.

Найбільша крупність заповнювача для одношарових покриттів автомобільних доріг повинна становити 40 мм, а для верхнього шару двошарових покриттів - 20 мм.

Дрібний заповнювач. Для приготування цементобетонних сумішей для шарів дорожнього покриття в якості дрібного заповнювача слід використовувати пісок природній, пісок з відсівів дроблення вивержених гірських порід згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-210 за зерновим складом, вмістом пилюватих і глинистих частинок, модулем крупності, показником водопоглинання.

Вода. Вода повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-273, ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ Б В.2.7-176.

Добавки. Для приготування цементобетонних сумішей слід використовувати хімічні добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-43, ДСТУ-Н Б В.2.7-175, ДСТУ Б В.2.7-171 та мінеральні добавки згідно з ДСТУ Б В.2.7-128. Оптимальний вміст хімічних добавок повинен бути визначений при підборі складу цементобетонної суміші з урахуванням властивостей конкретних матеріалів і прийнятої технології проведення робіт та забезпечення необхідних властивостей суміші на місці бетонування. Рекомендується використовувати добавки типу «ШАГ», що є сумішшю (комплексами) органічних та неорганічних речовин. Характеристика таких добавок наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики добавок для цементобетону типу «ШАГ»
 Table 1 – Characteristics of additives for cement concrete type "SHAG"

ч/ ч	Назва показника	Значення показника для добавки типу	
		ШАГ ПА SP-1М	ШАГ ПА SR-3М
1	2	3	4
2	Однорідність	Однорідна рідина без сторонніх включень, допустимий осад	Однорідна рідина без сторонніх включень, допустимий осад
3	Колір	Від світло-коричневого до темно-коричневого	Від світло-коричневого до темно-коричневого
4	Запах	Слабко виражений (поліакрилату)	Слабко виражений (поліакрилату)
5	Ефективний компонент	Поліакрилат	Поліакрилат
6	Відносна густина	$1,09 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,05$
7	Вміст сухої речовини % за масою	$32,0 \pm 0,5$	$27,0 \pm 0,5$
8	Водневий показник, рН	$7,0 \pm 1,0$	$7,0 \pm 1,0$
9	Розчинний у воді хлорид (Cl ⁻), % за масою	Не вище 0,1	Не вище 0,1
10	Вміст лугу (Na ₂ O еквівалент), % за масою	Не вище 2,0	Не вище 2,0

Для виготовлення добавок слід використовувати сировинні матеріали, які наведені у [2], за наявності документа про якість і санітарно-гігієнічного висновку.

Проектування складу високоміцного дорожнього цементобетону виконується відповідно до методології, аналогічної для дорожнього цементобетону звичайної міцності.

При підборі складу високоміцного цементобетону при однаковій марці цементу М500 вирішальне значення має марка цементу на розтяг при згині R_u^u ($R_u^u \geq 6,0$ Н/мм² (МПа)).

При проектуванні складу цементобетону потрібно враховувати, що високоміцні дорожні цементобетони можуть бути одержані за рахунок підвищення міцності цементного каменя.

Для отримання високоміцного дорожнього цементобетону необхідно [5, 6]:

- здійснити підбір оптимального складу цементобетонної суміші;
- застосування високоактивних (на розтяг при згині $R_u^u \geq 6,0$ Н/мм²) цементів;
- шляхом підбору досягати зменшення В/Ц;
- шляхом підбору досягати зменшення капілярної пористості до 1,5 %;
- застосування ефективних комплексів суперпластифікаторів з повітровтягувальними та/або газовиділяючими добавками з водоредукуючим ефектом більше 25%, збереженням легкоукладальності цементобетонної суміші не менше ніж (60 – 120) хв. при збереженні кількості залученого повітря;
- досягати оптимального коефіцієнта розсунення зерен (κ_p).

На даний час поширення набули два методи підбору складу цементобетону.

Згідно нормативного методу (ДСТУ Б В.2.7-215:2009, ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013) орієнтовне значення В/Ц для отримання середнього рівня міцності цементобетону на розтяг при згині визначають за наступною залежністю:

$$B/Ц = \frac{0,34 \times R_u}{R_b + 0,034 \times R_u}, \quad (1)$$

де: R_u – границя міцності цементу на розтяг при згині, яка визначається експериментально, Н/мм²;

R_b – середній рівень міцності на розтяг при згині цементобетону $R_b \geq 5,5$ Н/мм² (МПа).

Середній об'єм залученого повітря для розрахунку приймається 50 л/м³.

При застосуванні хімічної добавки вміст води визначають за формулою:

$$B = \frac{K_{H.G.} \times k_{\partial}^2 \times Ц \times H_{\Gamma} + B_n \times \gamma^n (V_p^I - Ц / \gamma^u) + B_{uc}}{1 + 0,001 \times B_{\Pi} \times \gamma^n}, \quad (2)$$

де: $k_{\partial} = \frac{H_{\varepsilon}^I}{H_{\varepsilon}}$ – коефіцієнт ефективності добавки;

H_{ε}^I – нормальна густота цементного тіста із застосуванням хімічної добавки;

H_{ε} – нормальна густота цементного тіста без застосування хімічної добавки.

Уточнену кількість води необхідно обчислювати за формулою:

$$B = B + \frac{B_{\partial}}{\gamma_{\partial}} - B_{uc}, \quad (3)$$

де: γ_{∂} – щільність добавки, кг/м³;

B_{uc} – потреба води на змочування поверхні зерен щебеню, визначається за формулою:

$$B_{uc} = 0,014 \times Ц_{2-5} + 0,008 \times Ц_{5-10} + 0,005 \times Ц_{10-20} + 0,003 \times Ц_{20-40}, \quad (4)$$

де: $Ц_{2-5}$, $Ц_{5-10}$, $Ц_{10-20}$, $Ц_{20-40}$ – вагова витрата щебеню відповідно фр. 2 - 5 мм, фр. 5 - 10 мм, фр. 10 - 20 мм, фр. 20 - 40 мм на 1 м³ віброуцільненого цементобетону, кг [5].

З умов отримання матеріалу з максимальною міцністю на розтяг при згині повинна визначатися в залежності від щільності щебеню у віброваному стані, яке залежить від вмісту голчастих та лещадних фракцій.

Найбільш щільна упаковка залежить також від модуля крупності піску та його щільності у віброваному стані з урахуванням фракції 0,315 ... 0, 63. Після встановлення оптимального співвідношення Ц:П в контрольному складі підбирається витрата добавки з урахуванням повітря (газо) втягувальних компонентів. Це дає раціональну структуру пор (розподіл втягнутого повітря (газу) переважно в об'ємі розчинної частини. Це призводить до зменшення дефектів в цементному камені (мінімальний вміст повітря навколо крупного заповнювача).

Все це збільшує однорідність і відповідно морозостійкість бетону, а разом із збільшенням міцності на розтяг при згині та зменшенням модуля пружності забезпечує довговічність цементобетону в покритті.

Структура, в'язкість добавки і правильний підбір складу (упаковка) бетонної суміші дають змогу розподілити бульбашки повітря (газу) в розчинній частині бетонної суміші та укладеного цементобетону і призводить до мінімуму розподіл бульбашок повітря біля крупного заповнювача, тобто зменшується структура дефектів. Зменшення структури дефектів призводить до збільшення міцності на розтяг при згині, морозостійкості і водонепроникливості, зменшення капілярної пористості $\leq 1,5$ %. Це дає можливість зменшити кількість повітря при застосуванні повітровтягувальними добавок до 4,0 – 4,5 % або газоутворюючих – 2,8 – 3,5 % при морозостійкості F300 (при випробуванні за П - м прискореним методом ДСТУ Б В.2.7-47).

Нормативні марки за морозостійкістю повинні використовуватися тільки при підборі складу цементобетону, контролі його якості в процесі будівництва і прийманні цементобетонного покриття в експлуатацію.

При випробуванні дорожнього цементобетону на морозостійкість найкращі результати отримано при вмісті піску $r = 0,37 - 0,42$ [3, 4].

У табл. 2 та 3 наведено склади малорухливих та пластичних цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ковзної опалубки та ущільнення віброрейкою.

Таблиця 2 – Склади малорухливих цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ковзної опалубки

Table 2 – Compositions of sedentary cement-concrete mixtures for arrangement of cement-concrete coverings at technology of sliding formwork

Найменування	П1 В40 F200 W6	П1 В45 F200 W6	П1 В50 F200 W6
Цемент, кг	340	365	390
Пісок річковий, кг	180	170	165
Пісок Вознесенський, кг	530	520	495
Щебінь 10-20, кг	615	615	618
Щебінь 5-10 / Щебінь 2-5, кг	410 / 205	410 / 205	410 / 208
Вода, л	128	129	130
Добавка пластифікатор, % / кг	1,03 / 3,5 кг.	1,03 / 3,8 кг.	1,03 / 4,0 кг.
Кількість залученого повітря, %	5,7	5,4	5,1
Міцність на стиск, МПа			
3 доба	30,2	34,2	38,1
7 доба	42,5	47,7	53,0
28 доба	54,9	61,0	66,3

Примітка. Хімічна добавка комплексної дії SR3M.

Таблиця 3 – Склади пластичних цементобетонних сумішей для влаштування цементобетонних покриттів при технології ущільнення віброрейкою

Table 3 – Warehouses of plastic cement-concrete mixtures for the arrangement of cement-concrete coatings with vibration compression technology

Найменування	П4 В40 F200 W6	П4 В45 F200 W6	П4 В50 F200 W6	П4 В55 F200 W6
Цемент, кг	365	390	415	440
Пісок річковий, кг	170	160	155	150
Пісок Вознесенський, кг	510	490	475	460
Щебінь 10-20, кг	600	600	600	600
Щебінь 5-10 / Щебінь 2-5, кг	400 / 200	400 / 200	400 / 200	400 / 200
Вода, л	143	145	146	146
Добавка пластифікатор, %	0,8 / 2,9	0,8 / 3,1	0,8 / 3,3	0,8 / 3,5
Кількість залученого повітря, %	5,9	5,5	5,2	4,9
Міцність на стиск, МПа				
3 доба	22,5	26,0	28,7	32,3
7 доба	37,2	43,1	48,0	52,8
28 доба	53,9	61,2	66,7	73,6

Примітка. Хімічна добавка комплексної дії SR3M1

Вимоги до цементобетонної суміші та цементобетону

Бетонна суміш. Бетонна суміш повинна мати підібраний зерновий склад, достатню легкоукладальність, які забезпечують одержання рівної і замкнутої поверхні покриття при заданій рухомості або жорсткості. Вона не повинна розшаровуватись під час транспортування і при розподіленні по основі.

Легкоукладальність бетонної суміші залежить від обраного устаткування для її приготування, комплекту бетоноукладального обладнання, та обраної технології транспортування, укладання і ущільнення. Марка за рухомістю чи жорсткістю бетонної суміші повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-96.

При рухомості 3-5 см або жорсткості 3-5 с як вказано в табл. ДСТУ Б В.2.7-96 неможливо ущільнити бетонну суміш без застосування машин.

Бетонні суміші, які укладаються з використанням віброущільнення, повинні мати рухомість на місці укладання (ОК) від 1 см до 4 см і жорсткість (Ж) від 3 с до 8 с.

При використанні цементобетонних сумішей з сучасними хімічними та мінеральними добавками і засобів малої механізації (віброрейки, площадкові вібратори, глибинні вібратори) дозволяється застосовувати рухомі суміші з ОК = (5 - 9) см та високорухомі та литі суміші з ОК = (16 - 22) см згідно з ДСТУ Б В.2.7-96.

Вказані обмеження не стосуються безвібраційного укладання бетонної суміші, зокрема при використанні литих цементобетонних сумішей (ОК більше ніж 16 см). Для досягнення необхідного осідання конусу слід використовувати суперпластифікатори, які забезпечують збільшення рухомості бетонної суміші основного складу відносно показника рухомості контрольної суміші від P1 до (P4 - P5) згідно з ДСТУ Б В.2.7-96-2000 або S1 -S4 ДСТУ EN 206-1:2000, EN 12350-2.

Для забезпечення необхідної морозостійкості дорожнього цементобетону до бетонних сумішей висувають вимоги, що регламентують їх водоцементне відношення (В/Ц) і вміст втягнутого повітря (V_p).

Бетон. Вимоги до цементобетону дорожнього покриття та основи для конкретного об'єкту встановлюються проектом відповідно до вимог ДБН Б В.2.3-4, ДСТУ Б В.2.7-43, а також згідно з ДСТУ Б В.2.7-176 в залежності від призначення та умов роботи. Порівняння норм до цементобетону для дорожнього покриття (І категорія) в Україні та європейських країн наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняння вітчизняних і європейських вимог до цементобетону для покриття доріг

Table 4 – Comparison of national and European requirements for cement concrete to road pavements

Показники	Вимоги	
	ДБН В.2.3-4:2015	EN 206-1:2000
Марка цементу	М 500	ЦЕМ І 52,5 Н
Водоцементне співвідношення	$\leq 0,5$	$\leq 0,4$
Вміст залученого повітря в суміші, %	$\leq 7 \%$	4 - 7
Клас міцності при стиску	B35	52,5 Н
Клас міцності розтягу при згині	4,4	6,5
Морозостійкість	$\geq F 200$	-
Стирання, г/см ³	$\leq 0,7$	-

Морозостійкість бетону покриття повинна відповідати F 150-200 в залежності від температури повітря найхолоднішого місяця. Але така марка морозостійкості недостатня через використання для зимового утримання доріг хлоридів, щоб забезпечити довговічність дорожнього цементобетону. Тому мінімальна марка за морозостійкістю для всіх регіонів України повинна бути не менше ніж F200. Слід відмітити про відсутність в нормативних документах ЕС і США вимоги щодо морозостійкості цементобетону для покриття доріг. Проте в EN 206-1:2000 введено показник якості цементобетонів в залежності від середовища експлуатації і виду корозії – XD3, XF3-XF4.

Необхідна морозостійкість цементобетону забезпечується обов'язковим застосуванням повітровтягувальних добавок, а також пластифікуючих, або пластифікуючо-повітровтягувальних добавок згідно ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008, застосуванням заповнювачів згідно ДСТУ Б В.2.7-43, проектуванням складу бетонної суміші згідно ДСТУ Б В.2.7-215, дотриманням правил приготування, транспортування, розподілення та ущільнення суміші, а також своєчасним і ефективним доглядом за бетоном протягом строку його твердіння.

Випробування бетону на міцність, морозостійкість, а також, при необхідності на стираність і водонепроникність, проводяться до початку будівництва під час підбору складу бетону на матеріалах, які будуть використовуватись при будівництві.

Для підвищення міцності, морозо- і корозійної стійкості бетону, у тому числі проти спільної дії розчинів хлористих солей, що застосовуються для боротьби з зимовою слизькістю, а також для покращення технологічних властивостей бетонної суміші повинні застосовуватись добавки згідно ДСТУ Б В.2.7-171, ДСТУ-Н Б В.2.7-175 та інструкцій щодо їх застосування у відповідності вказівками нормативних документів.

Особливості технології та засоби механізації при влаштуванні малорухливих, пластичних та литих цементобетонних сумішей

Приготування цементобетонної суміші. Залежно від складу цементобетонної суміші і виду змішувача час змішування після додавання всіх вихідних матеріалів становить від 25 с до 50 с (при цьому необхідно врахувати, що перемішування 50 с може призвести до зниження продуктивності, саморозігріву суміші та можливого випаровування води з неї).

При виробництві високоміцного цементобетону через клейку консистенцію суміші може знадобитися додаткове очищення змішувача.

Мінімальний час змішування становить 1 хв/м³, але не менше ніж 5 хв. Перед наповненням бетонозмішувач необхідно звільнити від промивної води, якщо така залишилась.

Додавання пластифікатора. У товарну цементобетонну суміш, транспортування якої здійснюється на далекі відстані, для досягнення литої або текучої консистенції, зручної для укладання, пластифікатор дозволяється додавати на будівельному майданчику.

Пластифікатор повинен рівномірно розподілятися в барабані бетонозмішувача, наприклад, за допомогою розпилювальної трубки.

Укладання цементобетонної суміші. При укладанні високоміцної цементобетонної суміші необхідно дотримуватися таких вимог:

- укладанням суміші повинні виконувати працівники, які мають досвід роботи по укладанню цементобетону класу $\geq$ С 30/37;
- перед кожним етапом бетонування необхідно проводити інструктаж працівників будівельного майданчику.

На сьогоднішній день значного поширення набула технологія будівництва з використанням малорухливих сумішей (ОК 0 – 2 см).

Для укладання бетону використовуються бетоноукладачі з ковзною опалубкою (рис.1). Їх середня добова продуктивність становить 500 м дорожнього покриття. Умовою для цього є в будь-якому випадку стійка робоча основа для бетоноукладача і безперервна доставка бетонної суміші.

Прийом бетону в захватку здійснюють безпосередньо з міксера через воронку або лоток видачі бетонної суміші (відповідно до рис. 2). Можливий прийом бетонної суміші в захватку через бетононасос.

При влаштуванні бетонних доріг, сумішами з маркою за легкоукладальністю ПЗ і вище її слід ущільнювати з використанням віброрейки, віброгребка та іншого технологічного обладнання.

При використанні віброрейки необхідно стежити, щоб вона постійно ковзала по поверхні бетону.

Віброрейку (типу AtlasCopcoBT90 чи ін.) встановлюють на вирівняну поверхню бетонної суміші, на металеві (*дерев'яні*) напрямні рейки - форми.

Віброрейку, щоб уникнути появи провалів або горбів, слід переміщати з постійною швидкістю від 1 м/хв. до 2 м/хв. Товщина валика бетону перед віброрейкою повинна бути від 2 до 3 см. У тих місцях, де бетонна суміш осідає нижче рівня віброрейки, бетонну суміш, в необхідних кількостях, додають вручну.

З використанням бетоноукладачів MANIPAV-2000 цього робити не потрібно, тому що віброрейка встановлена безпосередньо на ньому і її висота та ухил регулюються за допомогою лазерної системи (рис. 3).

Лазерний бетоноукладач MANIPAV М-2000. Дана машина сконструйована для влаштування цементобетонних покриттів та основ автомобільних доріг, площадок та підлог. Машина призначена для рівномірного розподілу свіжеукладеної цементобетонної суміші безпосередньо після її подачі. Тягове зусилля, необхідне для руху машини, створює бензиновий двигун Honda, який призводить до роботи трисекційний гідронасос. Насос направляє гідравлічну рідину під високим тиском в різні циліндри машини для роботи бетоноукладача (колеса, шнек, рейка та ін.). Максимальна швидкість пересування машини рівна 0,6 км / год. (10 м / хв.).



Рисунок 1 – Бетоноукладач з ковзною опалубкою при укладанні цементобетонного покриття для місцевих доріг

Figure 1 – Concrete placement with sliding formwork at laying cement-concrete cover for local roads



Рисунок 2 – Прийом цементобетонної суміші в захватку. Відсутність розшарування суміші.

Figure 2 – Admission of cement-concrete mixture into capture. Absence of stratification of the mixture.

Головні переваги бетоноукладача MANIPAV M-2000 це невелика вага (470 кг) і висока продуктивність. Роботи можуть проводитися безпосередньо на ущільненій основі, армованих сітках чи каркасах або монтованих плитах перекриття з середньою швидкістю 200 кв. м. в годину. У табл. 5 наведено порівняння технічних характеристик лазерного бетоноукладача MANIPAV M-2000 з бетоноукладачами аналогами, які представлені на міжнародному ринку.

Таблиця 5 – Порівняння технічних характеристик лазерних бетоноукладачів
Table 5 – Comparison of the technical characteristics of laser concrete pavers

Технічні характеристики	MANIPAV M - 2000	SOMERO S - 840 Laser screed SOMERO S-22 EZ Laser screed	ROADWAY RWJP 12 ROADWAY RWJP 31	STRONG CONCRETE R SCL - 1080	WIRTGEN SP 62 WIRTGEN SP 82	GOMACO GHP-2800 GOMACO GT-3600
Максимальна висота, мм	1250/1750	<u>1390</u> 2460	<u>1422</u> 3575	1422	<u>3100</u> 3100	<u>3100</u> 2500
Максимальна довжина, мм	2600/2900	<u>2650</u> 5230 - 10950	<u>2400</u> 5600	2400	<u>5750</u> 10050	<u>5900</u> 6800
Максимальна ширина, мм	1700/2500	<u>2500</u> 2190	<u>2500</u> 4375	2500	<u>3500</u> 3500	<u>3700</u> 2600
Маса, кг	520	<u>695</u> 6123 - 6622	<u>1120</u> 8200	1080	<u>2400</u> 3200	<u>39700</u> 9250
Максимальна швидкість, м/хв.	10	<u>8</u> 6,9	<u>8,5</u> 8	7,5	<u>18</u> 20	<u>25</u> 12,8
Ширина укладки, м	2,5	<u>1,83-2,44</u> 4.47-5,02	<u>2,5</u> 4,375	2,5	<u>3,5-7,5</u> 2-8	<u>3,66-9,75</u> 0,8-1,6
Продуктивність, м ² /год	200	<u>460</u> 500	<u>300</u> 500	400-450	<u>1260/2700</u> 1260/2700	<u>800</u> 400
Потужність двигуна, л/с	15,0	<u>20,5</u> 65,0	<u>20,0</u> 75,0	20,0	<u>211</u> 211	<u>250</u> 99

Технологія влаштування місцевих доріг з використанням пластичних сумішей вперше в Україні реалізована ТОВ "Техноизол Буд" у 2017 р. (директор Артеменко Р.В.). Продуктивність за добу становила 180 ... 400 м, шириною 4,5 ... 5 м при товщині шару 16 ... 20 см. Площа укладки за добу до 2000 м². Дана технологія може широко використовуватися при будівництві місцевих доріг III

– IV категорії з використанням цементобетону класу В30-35, на портландцементі ПЦ ІІ - 400 АШ (шлаку до 18%, помелу до 3500 ... 4000 г/м²) з добавками (табл. 6).



Рисунок 3 – Влаштування цементобетонного покриття із пластичної суміші бетоноукладачем MANIPAV-2000

Figure 3 – Arrangement of a cement-concrete coating from a plastic mixture with a MANIPAV-2000 concrete mixer

Незважаючи на велику осадку конусу, що не рекомендується нормами в дорожньому будівництві, отримано суміш, яка забезпечує однорідність бетонної суміші без розшарування. Отримані бетони подібні бетонам ПЗ – П4, що широко використовуються в мостовому будівництві останні десятиліття. Для цього використовуються різні добавки модифікатори в залежності від осадки конуса (табл. 2 - 3).

Оптимальний час ущільнення суміші визначають візуально – за появою на поверхні покриття цементного молока.

Таблиця 6 – Склади цементобетонних сумішей для влаштування покриттів при роботі MANIPAV-2000.

Table 6 – Composition of cement-concrete mixtures for coatings under MANIPAV-2000.

Найменування	B30 F150 W4 - 6
Цемент ПЦ ІІ - 400 АШ, кг	350
Пісок річковий, кг	700
Щебінь 10-20, кг	770
Щебінь 5-10, кг	380
Вода, л	160
Добавка пластифікатор, % / кг	3,5
В/Ц	≤ 0,45
Осадка конуса, см	20 - 22
Кількість залученого повітря, %	4,2 - 4,5
Міцність на стиск (при t = 5°C / t = 15°C) ,МПа	
3 доба	8,9 / 19,5
7 доба	21,9 / 28,8
28 доба	32,4 / 38,8

Якщо товщина шару, який ущільнюється становить 100 мм і більше, а також при вібрації шару цементобетонного покриття уздовж встановлених напрямних рейок - форм обов'язкове застосування глибинних вібраторів. Відстані між місцями занурення глибинних вібраторів повинні дорівнювати п'ятикратному діаметру булави і становити від 30 см до 50 см.

Контроль властивостей цементобетонної суміші та цементобетону виконують згідно з [7].

Рекомендований час витримання внутрішніх будівельних елементів становить як мінімум 2 доби, а зовнішніх – 3 доби. Для отримання цементобетону високої якості необхідний догляд протягом перших днів затвердіння. Доцільним є витримання з підведенням води, що дозволяє уникнути

висихання бетону в результаті низького водоцементного відношення, яке може привести до утворення мікротріщин. Заходи щодо витримування цементобетону необхідно починати проводити відразу ж після його ущільнення.

Догляд за свіжоукладеним цементобетонним покриттям виконується згідно п. 5.7 [8].

При обробці захватки, що примикає до вже готової захватки, слід захистити свіжу поверхню від механічного впливу.

Не допускається:

- полив полотна водою в першу добу після закінчення робіт;
- механічний вплив на поверхню свіжовкладеного полотна, потрапляння побутових і будівельних абразивів (піску, щебеню, металевої стружки тощо).

Затирання поверхні у важко доступних місцях відбувається вручну (рис. 5 а).

План забезпечення якості цементобетону. Для безперервного забезпечення якості продукції необхідно скласти план забезпечення якості, який буде містити наступну інформацію:

- доставка вихідних матеріалів;
- виробництво і транспортування цементобетону;
- обробка цементобетону на будівельному майданчику при влаштуванні дорожнього одягу або на заводі готових конструкцій;
- дії при відхиленні від заданого плану;
- визначення граничних значень міцності для нарізки швів, секції бетонування (відстань між поздовжніми та поперечними швами) і особисту відповідальність працівників.

Обов'язковим є нарізання швів згідно ГБН В.2.3-37641918-557:2016 за табл. 7 (рис. 4б).

Таблиця 7 – Визначення часу нарізання швів

Table 7 – Determining the time of cutting the joints

Середня температура повітря, °C	від 1 до 5	від 5 до 15	від 15 до 25	від 25 до 30
Кількість годин від укладання бетонної суміші до набуття міцності 10 МПа (М 100)	від 20 до 30	від 15 до 20	від 10 до 15	від 6 до 10

Після всіх технологічних процесів та набирання технологічної міцності цементобетонне покриття має наступний вигляд (рис. 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Ручне затирання поверхні цементобетонного покриття (а) та вигляд цементобетонного покриття готового до експлуатації (б)

Figure 4 – Manual rubbing of the surface of the cement-concrete coating (a) and the appearance of the cement-concrete coating of the ready-to-use (b)

Висновки та рекомендації. Основні переваги цементобетонних покриттів у порівнянні з асфальтобетонними: більша міцність і довговічність; відсутність явища колійності; забезпечення

більшої безпеки руху; наявність вітчизняної сировини; менше нагрівання за рахунок світлої поверхні; можливість переробки та повторного використання тощо.

Область раціонального використання цементобетонних покриттів: під'їзди до аеропортів та аеродромні покриття, під'їзди до морських портів, митниці, стоянки великовагових ТЗ, логістичні центри, об'їзні дороги великих, найбільших міст та міст-мільйонерів, дороги промислових підприємств, під'їзди до сільськогосподарських підприємств (ферм, цукрових заводів, пекарень, токів тощо), маршрути руху контейнерів та зерновозів.

В умовах стрімкого зростання навантажень на покриття та нестабільності цін на нафтопродукти і відповідно органічні в'язучі, відсутності власних сировинних запасів нафти для виробництва дорожнього бітуму, практично доведено, що замість асфальтобетонних покриттів доріг та аеродромів необхідно будувати жорсткі цементобетонні покриття, в тому числі покриття з дренажного та укладеного бетону.

Для будівництва місцевих доріг з цементобетонним покриттям необхідно розробити:

- технічний регламент приготування цементобетонної суміші з використанням сучасних добавок та домішок;

- внести зміни в ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування в частині проектування доріг з високоміцного бетону та пластичних сумішей в частині розрахункових характеристик або окремі Методичні рекомендації з проектування жорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг місцевого значення;

- ДСТУ Н Настанова з влаштування жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг місцевого значення;

- технологічна карта влаштування шарів основи та покриття з використанням малорухливих та пластичних цементобетонних сумішей;

- Альбом (каталог) раціональних конструкцій дорожнього одягу автомобільних доріг місцевого значення.

Важливим є рішення юридично-правових питань щодо вишукування, будівництва та експлуатації місцевих доріг, які пов'язані з передачею доріг у відання Об'єднаним територіальним громадам (ОТГ)

Перелік посилань

1. Переваги цементобетонних доріг в Україні. Економічна оцінка [Електронний ресурс] – Доступно з http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyi-stil-na-temu-betonni-dorohy-realist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-persho-ho-zastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transport-vasiunyka-iv-za-uch.html?published_fv=-1.

2. ТУ У В.2.7-20.5-38564866-001:2017 Добавки для бетонів та будівельних розчинів комплексні «ШАГ»

3. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П., Карпюк О.А. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 92. – К.: НТУ, 2014. – С. 38 – 49.

4. Гамеляк І. П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні. – Автошляховик України 5/ 201, Науково-технічний збірник, 2013 – С. 24 – 26.

5. Шургая А.Г., Чиженко Н.П. Высокопрочный бетон в дорожном строительстве (теоретические аспекты) // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Вип. 96. – К.: НТУ, 2016. – С. 43 - 49.

6. Саканделидзе А.А. Новый способ рационального проектирования высокопрочных бетонов марок 500-1000. – Тбилиси, 1978.

7. МР В.2.7-37641918-885:2017 Методичні рекомендації щодо забезпечення надійності конструкцій жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг при використанні високоміцного цементобетону.

8. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016 Настанова з влаштування жорстких дорожніх одягів.

ROAD CEMENT CONCRETE FOR BUILDING LOCAL ROADS

Gameliak Igor Pavlovich, National Transport University, Doctor of technical science, Professor, Airports department, gip65n@gmail.com, +380503524124. <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

Shurgaya Anzori Gievich, private enterprise "Alioni", Head of Laboratory, alioni@ukr.net, +380993787380. <https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>.

Dmytrychenko Andrei Mykolayovych, National Transport University, Candidate of engineering science, Associate Professor, Senior Scientific Scientist, Airports department, andrew_d@ukr.net, +380502816006. <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Summary:

The article is devoted to construction of local concrete roads. These are the requirements for raw materials of concrete mixtures for concrete roads and conducted a comparison with European norms. Improved technology installing concrete coatings of local roads at use of plastic and flowable concrete mixtures.

Region of rational use concrete pavements: entrances to the airports and airport pavements, entrances to sea port, customs, parking of heavy vehicle, logistics centers, access roads of large settlements, roads of industrial enterprises, entrances to agricultural enterprises (farms, sugar refineries, bakeries etc.), the routes of containers and grain.

For the construction of local roads with cement concrete pavements should develop:

- technical regulations installing concrete mixture with the use of modern additives and impurities;
- make changes in GBN V.2.3-37641918-557:2016 Highways. Rigid pavement. Designing in a part of the design roads with high strength concrete and plastic mixtures in terms of computational characteristics or separate methodological recommendations for the design of local roads rigid pavement;
- DSTU N Counsel on arranging the local roads rigid pavement;
- engineering (technological) map installation base layers and pavements using sedentary and plastic concrete mixes;
- the Album (catalog) rational constructions of local roads pavement.

It is important to resolve legal issues related to the design, construction and exploitation of local roads that are related with the transfer of roads to the United Territorial Communities (UTC).

Key words: rigid pavement, high-strength concrete cement, chemical additives, plastic cement-concrete mixtures.

References

1. Benefits of cement-concrete roads in Ukraine. Economic appraisal [Electronic resource] - Available with http://www.ukrcement.com.ua/zakhodi/icalrepeat.detail/2017/11/14/48/-/kruhlyi-stil-na-temu-betonni-dorohy-realnist-dlia-ukrainy-pid-holovuvanniam-pershoho-zastupnyka-holovy-komitetu-z-pytan-transport-vasiunyka-iv-za-uch.html?published_fv=-1.
2. Additives for concrete and building solutions complex "SHAG", TU U V.2.7-20.5-38564866-001: 2017.
3. Gameliak I.P., Shurgaya AG, Yakimenko Y.M., Chyzhenko N.P., Karpyuk O.A. Comparison of modern additives for high-speed road concrete // Highways and Road Construction: Scientific and technical collection. Volume 92. - K.: NTU, 2014. - P. 38 - 49.
4. Gameliak I.P., Koretsky A.C., Koretsky S.C. On the necessity of building cement-concrete coatings in Ukraine. - The road car of Ukraine 5 ' / 201, Scientific and Technical Collection, 2013 - P. 24 - 26.
5. Shurgaya AG, Chyzhenko N.P. High-strength concrete in road construction (theoretical aspects) // Highways and Road Construction: Scientific and technical collection.. Volume 96. - K.: NTU, 2016. - P. 43 - 49.
6. Gameliak I.P., Shurgaya AG, Yakimenko Y.M., Chyzhenko N.P., Karpyuk O.A. Comparison of modern additives for high-strength road concrete "Highways and Road Construction" Scientific and technical collection
7. Gameliak I.P., Koretsky A.C., Koretsky S.C. On the necessity of building cement-concrete coatings in Ukraine. - The car of Ukraine 5
8. Shurgaya A.G., Chyzhenko N.P. High-strength concrete in road construction (theoretical aspects)
9. Sakanelidze AA New way of rational design of high-strength concrete grades 500-1000. - Tbilisi, 1978.
10. Methodical recommendations for ensuring the reliability of constructions of rigid road pavement of highways with the use of high-strength concrete cement, MP B.2.7-37641918-885: 2017.
11. Guidelines for the installation of rigid road clothing, DSTU-N B V.2.3-36: 2016.

ПРОЕКТУВАННЯ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ БІШОПА

DESIGN OF SLOPE OF ROAD EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS USING THE ADVANCED BISHOP METHOD



Дахуа Ламрі, 19 місто Мохамед Бенбегуаг, Сетіф, 19000, Алжир,

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>

Анотація. У статті розглянуто розроблену методику проектування укосів насипів автомобільних доріг армованих геосинтетичними матеріалами з використанням розробленого автором удосконаленого методу Бішоп.

Суть удосконалення методу полягає у введенні значень змінних (c') і (ϕ') в критерій руйнування Кулона-Мора з метою врахування втоми ґрунту, параметр (F_s) для врахування впливу сейсмічних зусиль, силу (r) для врахування порового тиску від ґрунтових вод і сили (G_{eo}), яка виникає в армуючих прошарках, у багатокутник сил Бішоп, який повинен бути в рівновазі, та розрахунок цих сил і нового значення фактора безпеки (коефіцієнта стійкості) за методом Бішоп.

Ключові слова: автомобільна дорога, Бішоп, геосинтетичний матеріал, метод, стійкість, укіс.

Постановка задачі

Біля 80 % країн Західної Європи і Африки використовують спрощений метод Бішоп. Цей метод використовують для звичайних розрахунків стійкості укосів без урахування різних додаткових впливів, зокрема сейсмічного впливу. З іншого боку, на теперішній час широко застосовуються в практиці цивільного будівництва і у дорожньому будівництві сучасні полімерні, композитні матеріали. Як приклад, можна навести геосинтетичні матеріали, які використовують з різною метою, від розділяння шарів і захисту схилів до їх армування.

Метод армування шляхом включення геосинтетичного матеріалу широко використовується для вирішення проблем покращення характеристик та стійкості конструкцій. Тому для удосконалення методу Бішоп і компенсації негативного впливу сил від ґрунтових вод і сейсмічного впливу, та армування укосів запропоновано ввести в розрахункову схему сили від армування.

Суть удосконалення методу полягає у введенні значень змінних (c') і (ϕ') в критерій руйнування Кулона-Мора з метою врахування втоми ґрунту, параметр (F^s) для врахування впливу сейсмічних зусиль, силу (r) для врахування порового тиску від ґрунтових вод і сили (G_{eo}), яка виникає в армуючих прошарках, у багатокутник сил Бішоп, який повинен бути в рівновазі, та розрахунок цих сил і нового значення фактора безпеки (коефіцієнта стійкості) за методом Бішоп.

Дія ґрунтових вод на стан зсувного схилу проявляється різними шляхами, викликаючи зміну напруженого стану масиву і фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також обумовлюючи розвиток фільтраційних деформацій. Її вплив враховано через розрахунок порового тиску і відповідний коефіцієнт порового тиску, який ще у свій час запропонували Бішоп і Моргенштерн.

Вплив від землетрусів враховували введенням додаткових сил, які діють у горизонтальному і вертикальному напрямках.

У нашому методі приймаємо припущення, що фільтраційна і сейсмічна сили є силами зсувними, тобто спрямованими паралельно основі відсіку (в запас).

Як результат, ми отримали новий інженерний метод для розрахунку стійкості укосів і схилів.

На основі розробленого методу у дисертаційній роботі розроблена методика проектування армованих геосинтетичними матеріалами укосів земляного полотна автомобільних доріг.

Основна частина

Методика розрахунку включає положення [1] та розрахункові залежності і підходи, які висвітлені у розробленому методі проектування армованих геосинтетичних матеріалів укосів насипів автомобільних доріг з використанням удосконаленого методу Бішопа [2-6].

Основні положення методики наведені нижче.

1. За методом круглоциліндричних поверхонь ковзання (Феленіуса) чи Янбу знаходимо мінімальний коефіцієнт стійкості укосу і радіус кривої ковзання для цього коефіцієнта.

Отриманий коефіцієнт підставляємо у формулу визначення коефіцієнта безпеки для удосконаленого методу Бішопа F_{Fel} .

2. Розраховуємо коефіцієнт безпеки з врахування сил від ґрунтових вод і сейсмічних сил, приймаючи зусилля в геосинтетику $G_{eo} = 0$:

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c'(w)_i \ell_i \cos \alpha_i + [W_i - (u_{ai} - \chi se_i) \ell_i \cos \alpha_i + F_{vert}^S + r_i \sin \theta_i] \operatorname{tg} \varphi'(w)_i}{(\cos \alpha_i + \operatorname{tg} \varphi'(w)_i \sin \alpha_i) / F_{Fel}} \right]}{\sum [W_i \sin \alpha_i + (F_{vert}^S + r_i \sin \theta_i) \sin \alpha_i + (F_{horiz}^S + r_i \cos \theta_i - G_{eo}) (\cos \alpha_i - h_i / (2R))]} \quad (1)$$

3. Розрахунок загального армуючого зусилля, яке необхідно для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу.

$$T_{geo} = K_{мет} \cdot \sum [G_{eo} (\cos \alpha_i - h_i / (2R))]. \quad (2)$$

4. Розрахунок проектної міцності армуючого геосинтетика згідно з [1]:

$$T_D = \frac{T_{ном}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (3)$$

де $T_{ном}$ – приймається рівною або R_p – міцності на розрив, при розрахунках на короткий строк служби споруди або конструкції, або R_{cr} – міцності при повзучості при розтягуванні (довготривала міцність), при розрахунках на тривалий строк служби:

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}}, \quad (4)$$

γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість [1];

γ_m – частковий коефіцієнт запасу міцності на зсув ґрунту конструкції [1];

γ_n – частковий коефіцієнт запасу на наслідки від втрати внутрішньої стійкості конструкції [1].

5. Розрахунок потрібної кількості армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{арм} = \frac{T_{geo}}{T_D}. \quad (5)$$

6. Розрахунок відстані між армуючими прошарками:

$$d_{арм} = \frac{H}{N_{арм}}, \quad (6)$$

де H – висота насипу, зони армування, м.

7 Встановлюємо мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу

$[F]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу;

Тоді формула (1) набуде вигляду

$$[F] = \frac{\sum \left[\frac{c'(w)_i \ell_i \cos \alpha_i + [W_i - (u_{ai} - \chi se_i) \ell_i \cos \alpha_i + F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i] \operatorname{tg} \varphi'(w)_i}{(\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi'(w)_i \sin \alpha_i) / F_{FeI})} \right]}{\sum [W_i \sin \alpha_i + (F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i) \sin \alpha_i + (F_{horiz_i}^S + r_i \cos \theta_i - Geo_i) (\cos \alpha_i - h_i / (2R))]} \quad (7)$$

7.1 Розподіляють армуючі прошарки по висоті насипу.

7.2 Розбивають насип для тієї ж кривої ковзання на блоки таким чином щоб армування проходило по середині блока і розраховуємо F .

7.3 Виконують розрахунки і перевіряють умову $F \geq [F]$.

При не виконанні умови заміняють наступний прошарок на геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив.

Приймають геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив, знаходять його розрахункову міцність і замінюють ним нижній прошарок армування.

8 Перевірка правильності розподілу армуючих прошарків для кожного i -го полотна геосинтетика

8.1 Визначають глибину закладення i -того прошарку:

$$h_i = n_i d_a \quad (8)$$

або конструктивно.

8.2 Розраховуємо коефіцієнт стійкості укосу на висоті закладення i -того прошарку п.1 і п.2

8.3 Виконують розрахунки згідно з п.7.2 – п.7.3

При не виконанні умови $F \geq [F]$ заміняють наступний прошарок на геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив, знаходять його розрахункову міцність і замінюють ним нижній прошарок армування.

Виконують розрахунки і перевіряють умову:

$$F \geq [F]. \quad (9)$$

9. Розрахунок довжини армування:

$$L_{rl} = L_{анк\ i} + L_{di} + L_{wi}, \quad (10)$$

де L_{rl} – довжина армування, м;

$L_{анк\ i}$ – довжина анкерування, м;

L_{di} – довжина геосинтетичного прошарку, яка дорівнює ширині зони зсуву на рівні його закладення, м;

L_{wi} – довжина загортання геосинтетичного прошарку, м.

9.1 Розрахунок довжини анкерування армуючих прошарків з умови витягування з тіла укосу:

$$L_{анк\ i} \geq \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot \alpha \cdot (c + \sigma_{vi} \cdot \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (11)$$

$$L_{анк\ i} = \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \alpha (c + \sigma_{vi} \cdot \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (12)$$

де $L_{анк\ i}$ – необхідна довжина анкерування i -того полотна, м (мінімальна величина повинна бути не менше 1,0 м);

T_{Di} – розрахункова міцність на розтяг i -того геосинтетичного прошарку, кН/м;

α – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком (для геотекстиля для глинистого ґрунту, піску, щебеню до 20 мм – 0,7; геотекстилю і щебеню понад 20 мм – 0,8; для геограток для глинистого ґрунту – 0,8; піску – 0,9; щебеню до 20 мм – 0,95; щебеню понад 20 мм – 1,0 [1]);

c – зчеплення ґрунту (при розрахунку на довготривалу стійкість армованого укосу значення c прирівнюють нулю);

σ_{vi} – ефективний вертикальний тиск на рівні i -того геосинтетичного прошарку, кН/м².

$$\sigma_{vi} = \sigma_q + \gamma_{ci} H_{ci} + \gamma_{bi} H_{bi} - \gamma_w H_{PGBi}, \quad (13)$$

де σ_q – тиск від зовнішнього навантаження, кН/м²;

γ_{ci} , γ_{bi} і γ_w – питома вага ґрунту над зоною капілярного підняття, у межах висоти капілярного підняття (ВКП) та питома вага води, відповідно, кН/м³;

H_{ci} , H_{bKi} і H_{PGBi} – потужність шару ґрунту над, в межах ВКП і в межах рівня ґрунтових вод (РГВ), відповідно, м.

9.2 Розрахунок довжини геосинтетичного прошарку, яка дорівнює ширині зони зсуву на рівні його закладення

Розрахункова схема наведена на рис. 1.

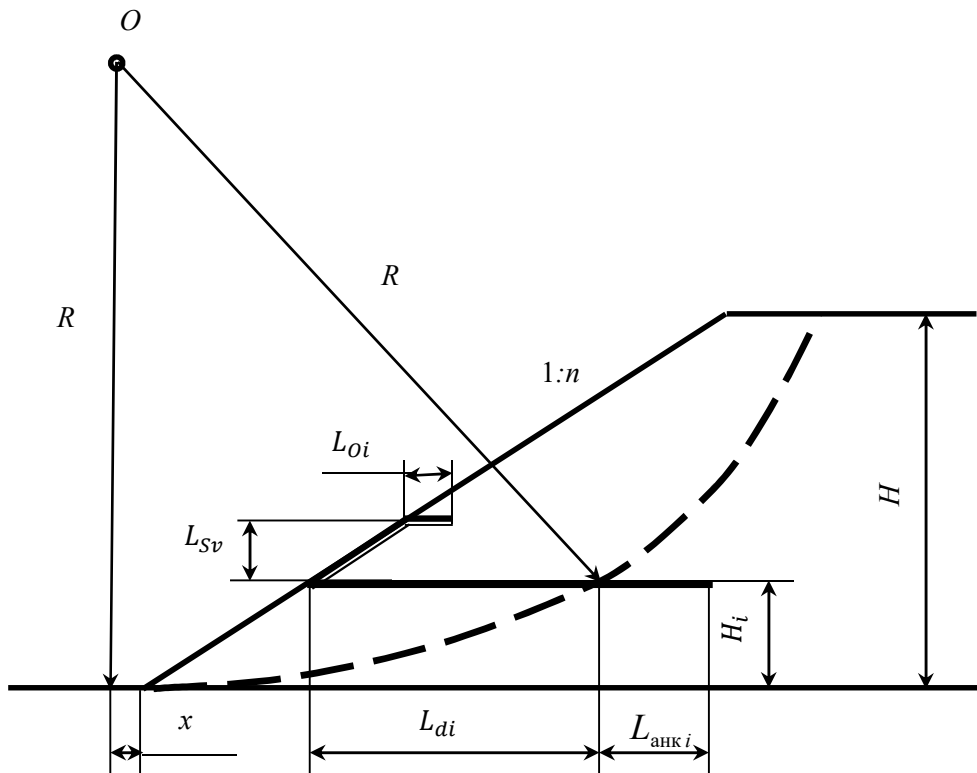


Рисунок 1 – Розрахункова схема
 Figure 1 – Calculation scheme

$$R^2 = (R - H_i)^2 + (x + n H_i + L_{di})^2, \quad (14)$$

де R – радіус кривої ковзання, м;

H – висота насипу, м;

H_i – висота закладення геосинтетичного прошарку, м;

x – відстань від центра кривої ковзання до підоснови насипу (може також мати від'ємне значення), м;

n – величина закладання укосу.

$$\sqrt{R^2 - (R - H_i)^2} = x + n H_i + L_{di},$$

$$L_{di} = \sqrt{R^2 - (R - H_i)^2} - x - n H_i. \quad (15)$$

9.3 Розрахунок довжини загортання геосинтетичного прошарку

Розрахункова схема наведена на рис. 1.

$$L_{wi} = L_{sv} + L_{oi}, \quad (16)$$

де L_{sv} – довжина прошарку, яка дорівнює товщині шару ґрунту, на який передбачається загортання геосинтетичного прошарку, як правило, це відстань між армуючими прошарками, м;

L_{oi} – довжина прошарку верхньої частини обойми (загортання), м.

$$L_{oi} = \frac{F_{ai} \cdot [K_R]}{2 \alpha (c_1 + \sigma_{vio} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1)}, \quad (17)$$

де F_{ai} – активний тиск ґрунту в межах i -ої обойми, кН/м;

σ_{vio} – вертикальний тиск на рівні i -ої обойми, кН/м².

Активний тиск ґрунту в межах i -ої обойми:

$$F_{ai} = L_{sv} \cdot \left[\sigma_{qi} + \gamma_1 \left(H - H_i + \frac{L_{sv}}{2} \right) \right] \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right), \quad (18)$$

де σ_{qi} – вертикальний тиск від зовнішнього навантаження на рівні $H - H_i + \frac{L_{sv}}{2}$, кН/м².

$$\sigma_{qi} = \frac{q_G \cdot b}{B_{io}}. \quad (19)$$

$$B_{io} = B + 2 \cdot n \cdot \left(H - H_i + \frac{L_{sv}}{2} \right). \quad (20)$$

10. Розрахунок зовнішньої стійкості армованого укусу

Для забезпечення стійкості армованого укусу проти ковзання по основі повинна виконуватися умова:

$$(W - P_a \cdot \sin \varphi_b) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{min} \geq [K_R] \cdot P_a \cdot \cos \varphi_b, \quad (21)$$

де

$$W = 0,5 \cdot L^2 \cdot \gamma_r \cdot \operatorname{tg} \beta \text{ при } L \leq H, \quad (22)$$

$$W = \left(L \cdot H - \frac{H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta} \right) \cdot \gamma_r \text{ при } L > H, \quad (23)$$

$$P_a = 0,5 \cdot \gamma_b \cdot H^2 \cdot K_a, \quad (24)$$

де P_a – активний тиск ґрунту, кН/м;

φ_b – нормативне значення кута внутрішнього тертя ґрунту поза армованою частиною, град.;

φ_{min} – мінімальний кут внутрішнього тертя (між ґрунтом і геосинтетиком чи в ґрунті основи), град.;

L – довжина геосинтетичного полотна первинного армування в основі укусу і на всіх рівнях, де змінюється довжина армування, м;

γ_r – питома вага ґрунту в частині армування, кН/м³;

β – кут закладання укусу, град.;

H – висота, м;

γ_b – вага ґрунту в частині утримування, кН/м³;

K_a – коефіцієнт активного бічного тиску;

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_b}{2} \right). \quad (25)$$

11. Визначають розрахункову міцність геосинтетичних матеріалів

$$T_D = T_r, \quad (26)$$

де T_r – розрахункове зусилля в геосинтетичному матеріалі, кН/м.

Величину розрахункового зусилля первинного армування укосу, T_r , приймають як найбільше значення з розрахунків на внутрішню, зовнішню і комбіновану стійкість.

12. Розраховують номінальну міцність армуючого геосинтетика, кН/м

$$T_{\text{ном}} \geq T_D \gamma_m \gamma_n. \quad (27)$$

Висновок

Розроблена методика проектування армованих геосинтетичними матеріалами укосів земляного полотна автомобільних доріг за удосконаленим методом Бішопа, яка дозволяє робити інженерні розрахунки стійкості укосів земляного полотна автомобільних доріг та схилів.

На відміну від відомих методик, за розробленою і наведеною методикою можна проектувати армування, як для звичайних умов, так і для умов сейсмічності ділянки де проходить дорога та наявності в укосі ґрунтових вод (якщо це виїмка чи природний схил).

Перелік посилань

1. ГБН В.2.3-37641918-544:2014. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.
2. Савенко, В. Я., Дахуа, Л. Определение наиболее эффективного метода расчета устойчивости откосов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. Вип. 101. – С. 116-127.
3. Савенко, В. Я., Хаджі, Р., Дахуа, Л. Исследование устойчивости откосов методами предельного равновесия и конечных элементов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. Вип. 100. – С. 284-295.
4. Савенко, В.Я., Хаджі, Р., Дахуа, Л. Обоснование методов определения грунтово-геологических характеристик откосов сооружений // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2016. – Вип. 97. – С. 196-206.
5. Dahoua, L., Usychenko, O., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach for estimating the stability of geotextile-reinforced embankments during an earthquake // Mining Science. – 2018. – Iss. 25. P. 207-217.
6. Dahoua, L., Savenko, V., Ossitchenko, E., Hadji, H. (2019). Approche mathématique sur la méthode de BISHOP - rôle des géosynthétiques dans la stabilisation du talus du PK (240+847) de l'autoroute A1 (N-E Algérie) mathematical approach on the BISHOP method, role of geosynthetics in slope stabilization, of PK (240 + 847)/A1 highway // ALGÉRIE ÉQUIPEMENT. – 2019. – Iss. 60. – P. 06-12.

DESIGN OF SLOPE OF ROAD EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS USING THE ADVANCED BISHOP METHOD

Dahua Lamri, 19 city Mohamed Benbenguag, Setif, 19000, Algeria

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>

Abstract. The article considers the developed method of designing the slopes of road embankments reinforced with geosynthetic materials using the improved method of Bishop developed by the author.

The essence of improving the method is to introduce the values of variables (c') and (ϕ') in the criterion of Coulomb-Moore destruction to take into account soil fatigue, parameter (F_s) to take into account the effects of seismic forces, force (r) to take into account pore pressure from groundwater and the force (G_{eo}), which arises in the reinforcing layers, in the polygon of Bishop's forces, which must be in equilibrium, and the calculation of these forces and the new value of the safety factor (coefficient of stability) by the method of Bishop.

Key words: highway, Bishop, geosynthetic material, method, stability, slope.

References

1. HBN V.2.3-37641918-544:2014. Avtomobilni dorohy. Zastosuvannya heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktstsiakh. Osnovni vymohy.
2. Savenko, V. Ya, Dakhua, L. Opredelenye nayboleeeffektivnoho metoda rascheta ustoichyvosty otkosov // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2017. Vyp. 101. – S. 116-127.
3. Savenko, V. Ya., Khadzhi, R., Dakhua, L. Yssledovanye ustoichyvosty otkosov metodamy predelnoho ravnovesiya y konechnykh elementov // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2017. Vyp. 100. – S. 284-295.
4. Savenko, V.Ia., Khadzhy, R., Dakhua, L. Obosnovanye metodov opredeleniya hruntovoheolohycheskykh kharakterystyk otkosov sooruzheniy // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2016. – Vyp. 97. – S. 196-206.
5. Dahoua, L., Usychenko, O., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach for estimating the stability of geotextile-reinforced embankments during an earthquake // Mining Science. – 2018. – Iss. 25. P. 207-217.
6. Dahoua, L., Savenko, V., Ossitchenko, E., Hadji, H. (2019). Approche mathématique sur la méthode de BISHOP - rôle des géosynthétiques dans la stabilisation du talus du PK (240+847) de l'autoroute A1 (N-E Algérie) mathematical approach on the BISHOP method, role of geosynthetics in slope stabilization, of PK (240 + 847)/A1 highway // ALGÉRIE ÉQUIPEMENT. – 2019. – Iss. 60. – P. 06-12.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ПОКАЗНИКА НЕВІДПОВІДНОСТІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

PRACTICAL USE OF DISCREPANCY INDEX FOR ROAD SAFETY EVALUATION



Каськів Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, vi_kas@ukr.net, +380504458544

<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>



Шапенко Євгенія Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Національний транспортний університет, +38-093-676-77-70, e.shapenko@i.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0937-9400>



Гуков Микола Ігорович, кандидат технічних наук,

+38-050-352-08-37, dorinform@gmail.com



Вознюк Андрій Борисович, Укравтодор, +38-067-335-94-39, andrey911@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-7611-9652>

Анотація. Стаття присвячена теоретичним та практичним аспектам пошуку потенційно небезпечних місць на автомобільних дорогах, попередженню виникнення дорожньо-транспортних пригод та прогнозуванню швидкостей руху. Наведені практичні підтвердження теоретичної гіпотези з виявлення потенційно небезпечних місць з використанням показника невідповідності. Наведені принципи інтерпретації співвідношення швидкостей руху (безпечної та 85% забезпечення) зі встановленими обмеженнями швидкості.

Ключові слова: аналіз, безпека, дорога, метод, показник, невідповідність, швидкість.

Вступ. Зростання завантаження доріг призводить до ряду негативних наслідків, таких як утворення черг та заторів на перехрестях та примиканнях, транспортних розв'язках, а також інших ділянках та місцях зміни швидкості руху; зростання тривалості поїздок та збільшення втрат часу; зростання забруднення повітря та рівня шуму внаслідок нерівномірності руху транспортних засобів; зростання кількості аварійно-небезпечних ситуацій та дорожньо-транспортних пригод, в тому числі із незахищеними учасниками дорожнього руху: пішоходами, велосипедистами, мотоциклістами.

Варто зауважити, що проєктні та керівні рішення, які вирішують ці проблеми шляхом збільшення пропускної здатності доріг за рахунок будівництва додаткових смуг руху, транспортних розв'язок, паркувальних майданчиків тощо у світі поступово визнаються неефективними, в тому числі і за рахунок вичерпування кількості вільних та придатних для дорожнього будівництва земельних ділянок у населених пунктах та на підходах до них. Цивілізований світ шляхом проб та помилок поступово переходить від концепції «міста для машин» до концепції «міста для людей», оскільки катастрофічне зменшення життєвого простору призводить до погіршення якості життя, маргіналізації, зростання кількості правопорушень, міграції населення та інших негативних наслідків для економіки та навколишнього середовища.

У таких умовах на перший план виходять проблеми обліку та дослідження специфічних особливостей руху пішохідних та транспортних потоків; потреба в прогнозуванні інтенсивності руху і впливу проєктних та керівних рішень на перерозподіл інтенсивності руху на мережі доріг та вулиць; оцінювання ефективності заходів з організації дорожнього руху та заспокоєння дорожнього руху; проєктування систем керування рухом тощо.

Постановка проблеми. Проблематикою безпеки дорожнього руху, впливом людського фактору на безпеку дорожнього руху, психофізіологією водіїв, пошуком оптимальних рішень з проєктування автомобільних доріг та організації дорожнього руху займалися, починаючи ще 70-х років ХХ століття такі вчені, як Бабков В.Ф., Сильянов В.В., Лобанов Е.М., Поліщук В.П., Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т. [1-7] та інші. Зокрема, проф. Сильянов В.В. зазначав [1], що для підвищення ефективності використання існуючих та проєктованих доріг в умовах інтенсивного руху транспортних засобів особливого значення набувають питання організації дорожнього руху. Нехтування впливом будь-якого з факторів або недостатнє його врахування під час проєктування призводять до невдалих рішень в плані та профілі дороги та викликають в подальшому потребу виправлення помилок за рахунок оперативних або екстрених заходів та засобів організації дорожнього руху. Для вчасної підготовки заходів із запобігання виникненню аварійно-небезпечних ситуацій або дорожньо-транспортних пригод, власники автомобільних доріг повинні мати надійні та ефективні методи пошуку небезпечних місць та ділянок автомобільних доріг та вулиць, а також місць та ділянок, на яких можливе утворення ускладнень та заторів, викликаних зростанням інтенсивності руху.

Проф. Лобанов Е.М. зазначав [3], що вирішення проблеми підвищення безпеки дорожнього руху потребує детального вивчення поведінки водіїв та сприйняття ними дороги, навколишнього середовища, інформаційних повідомлень про умови руху в напрямку руху та характеристик власного автомобіля. Крім того, дуже часто реакція водія на будь-який фактор може бути направлена не на негайну реакцію зі зміни швидкості та траєкторію руху, а на зростання емоційного напруження, вплив якого на дії водія може здійснюватися з певним запізненням. Це певною мірою пояснює виникнення ДТП власне не на самій небезпечній ділянці дороги, а за нею.

Також проф. Сильяновим В.В. були описані підходи [1] до оцінювання умов руху на існуючих дорогах, в тому числі із застосуванням лінійних графіків зміни пропускної здатності, коефіцієнтів завантаження, щільності потоку, швидкості вільного руху та середньої швидкості руху потоку транспортних засобів. Ці підходи на пострадянському просторі знайшли відображення у Білорусії [8] та Росії [9], але належним чином не розвивалися та не використовуються в Україні.

Основна частина. Розвиваючи принцип підходу до обґрунтування елементів траси дороги та їх взаємного поєднання, сформульований професором В.Ф. Бабковим [4], було здійснене теоретичне узагальнення та запропоноване нове вирішення [10] наукової задачі, що полягає в удосконаленні методів розрахунку безпечної швидкості руху транспортних потоків в залежності від геометричних параметрів дороги та довкілля, а також розробленні методів перевіряння просторової видимості на автомобільних дорогах, в тому числі на перехрещеннях та примиканнях.

Дослідження факторів, які викликають формування швидкісного режиму також широко використовуються під час розроблення моделей прогнозування швидкостей руху та тривалості поїздки [11], моделювання ударних хвиль [12].

Наприклад, група дослідників з Туреччини [12] зазначає, що ударні хвилі в дорожньому русі визначають граничні умови між різними станами дорожнього руху. Розуміння принципів утворення та поширення ударних хвиль є корисним для аналізу особливостей утворення заторів та їх наслідків, а також, для розроблення нових методів та стратегій керування дорожнім рухом та стратегій управління.

Прогнозування швидкості руху, як складова прогнозування дорожнього руху в області інтелектуальних транспортних систем (ІТС), вже давно розглядається як критично важливий спосіб прийняття рішень у транспортній навігації, плануванні подорожей та керуванні дорожнім рухом [11]. Важливою характеристикою даних про швидкість руху є різка зміна швидкості за короткий проміжок часу.

Таким чином, в якості критерію оцінювання [10] запропоновано використовувати показник невідповідності дорожніх умов вимогам сучасних транспортних потоків по безпеці руху (далі – показник невідповідності, P_n) з урахуванням як величини перепаду швидкостей на суміжних ділянках, так і абсолютних значень величин швидкостей руху на цих суміжних ділянках. В подальшому, ранжируваний ряд значень P_n дозволить встановити пріоритетність приведення дорожніх умов у відповідність до вимог сучасних транспортних потоків, а причина, що зумовлює найнижчу (для даної ділянки) швидкість руху дозволить окреслити комплекс заходів, необхідних для її усунення.

З метою перевірки теоретичної гіпотези [10, 13, 14], а також порівняння отриманих результатів з іншими методиками оцінки небезпеки ділянок автомобільних доріг було прийнято рішення вибрати ділянку автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на м. Таганрог) на ділянці від км 177+366 до км 221+883.

За результатами проведених розрахунків, дорогу М-14 на ділянці від км 177+366 до км 221+883 було розділено на 110 ділянок з характерними умовами руху (табл. 1).

Таблиця 1 – Фрагменти результатів розрахунків за показником невідповідності

Table 1 – Fragments of the results of calculations on the indicator of non-compliance

№ ділянки	Початок ділянки, км+	Кінець ділянки, км+	Категорія дороги	V_{min}	Причина зниження швидкості	P_n	Граничний P_n	Висновок
1	177+366	177+719	Iб	87		0	11,3	Безпечно
...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	178+639	178+855	Iб	40	Соціальна активність	102,2	11,3	Небезпечно
12	178+855	179+302	Iб	87		-21,6	13,3	Безпечно
13	179+302	179+357	Iб	40	Соціальна активність	102,2	11,3	Небезпечно
14	179+357	179+413	II	40	Соціальна активність	0	13,3	Безпечно
15	179+413	180+558	II	98	Інтенсивність руху	-23,7	13,3	Безпечно
16	180+558	180+663	II	40	Соціальна активність	142,1	11,1	Небезпечно
...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	183+799	184+009	II	76	Незадовільна рівність	-17,1	12,5	Безпечно
32	184+009	184+071	II	98	Інтенсивність руху	-17,1	11,5	Безпечно
33	184+071	184+114	II	83	Горизонтальна крива	17,7	11,1	Небезпечно
34	184+114	184+315	II	98	Інтенсивність руху	-12,7	11,4	Безпечно

Кінець табл. 1

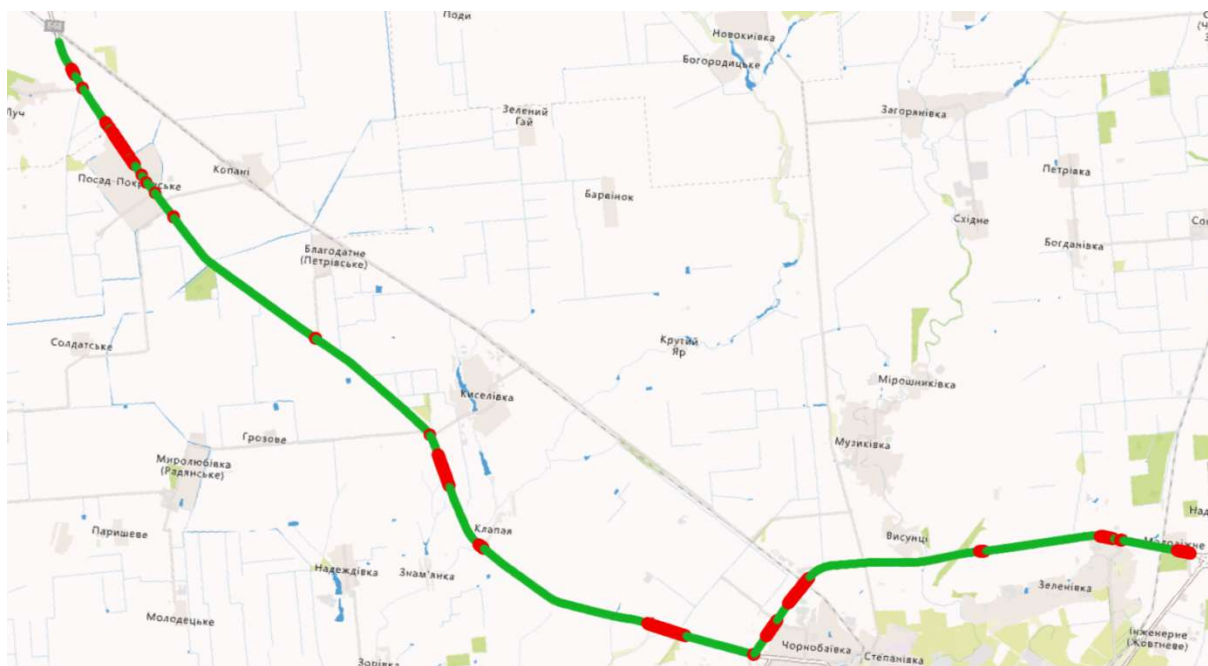
End of table 1

№ ділянки	Початок ділянки, км+	Кінець ділянки, км+	Категорія дороги	V _{мін}	Причина зниження швидкості	П _н	Граничний П _н	Висновок
35	184+315	189+810	Iб	87		12,4	11,1	Небезпечно
36	189+810	189+826	Iб	40	Соціальна активність	102,2	11,3	Небезпечно
37	189+826	194+355	Iб	87		-21,6	13,3	Безпечно
38	194+355	194+364	Iб	40	Соціальна активність	102,2	11,3	Небезпечно
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Очевидно, що величина показника невідповідності P_n (у абсолютному значенні) може бути використана для ранжування ділянок дороги за пріоритетністю дій з усунення небезпечних факторів, обґрунтування планів виконання робіт тощо.

В проміжку з 01.01.2018 до 01.12.2019 року на ділянці М-14 від км 177+366 до км 221+883 відбулося 125 ДТП, з них із загиблими та/або пораненими – 21 (загинуло 4 та травмовано 43 особи) [15].

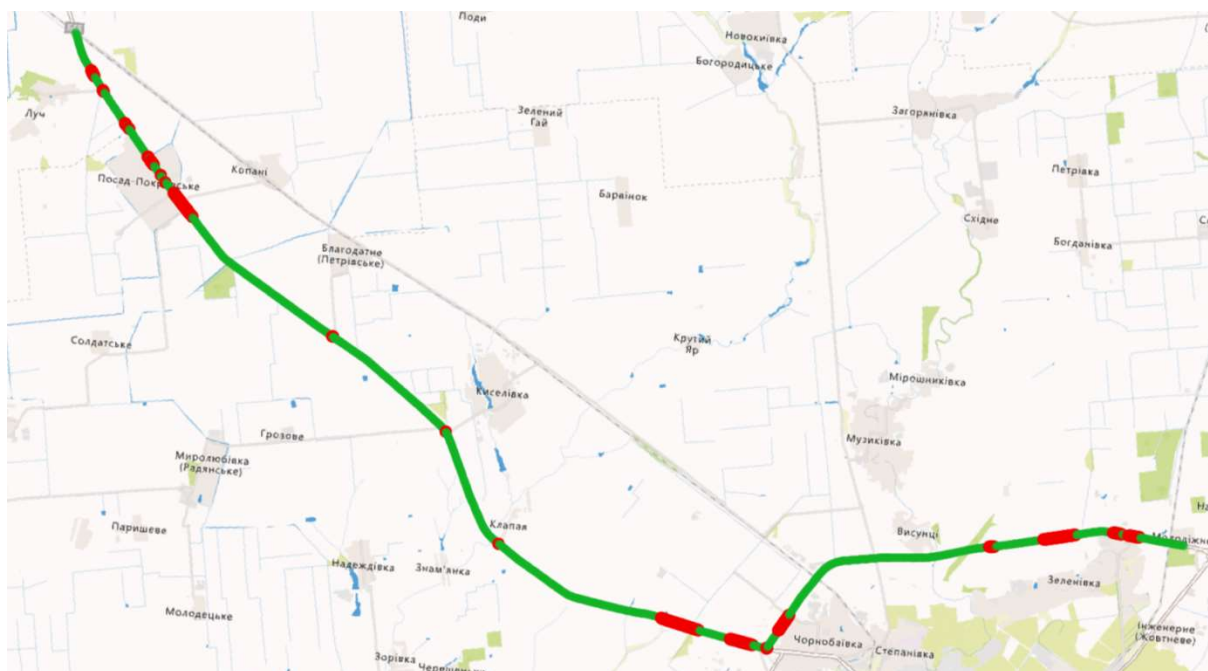
Візуальне порівняння на картографічній підоснові місць та ділянок дороги, які визначені як «потенційно небезпечні згідно з показником невідповідності P_n » з місцями ДТП [15] наведене на рис. 1-4.



● – безпечні умови руху, ● – небезпечні умови руху

Рисунок 1 – Розподіл небезпечних ділянок в прямому напрямку руху

Figure 1 – Distribution of dangerous areas in the forward direction



● - безпечні умови руху, ● - небезпечні умови руху

Рисунок 2 – Розподіл небезпечних ділянок у зворотному напрямку руху

Figure 2 – Distribution of dangerous areas in the opposite direction

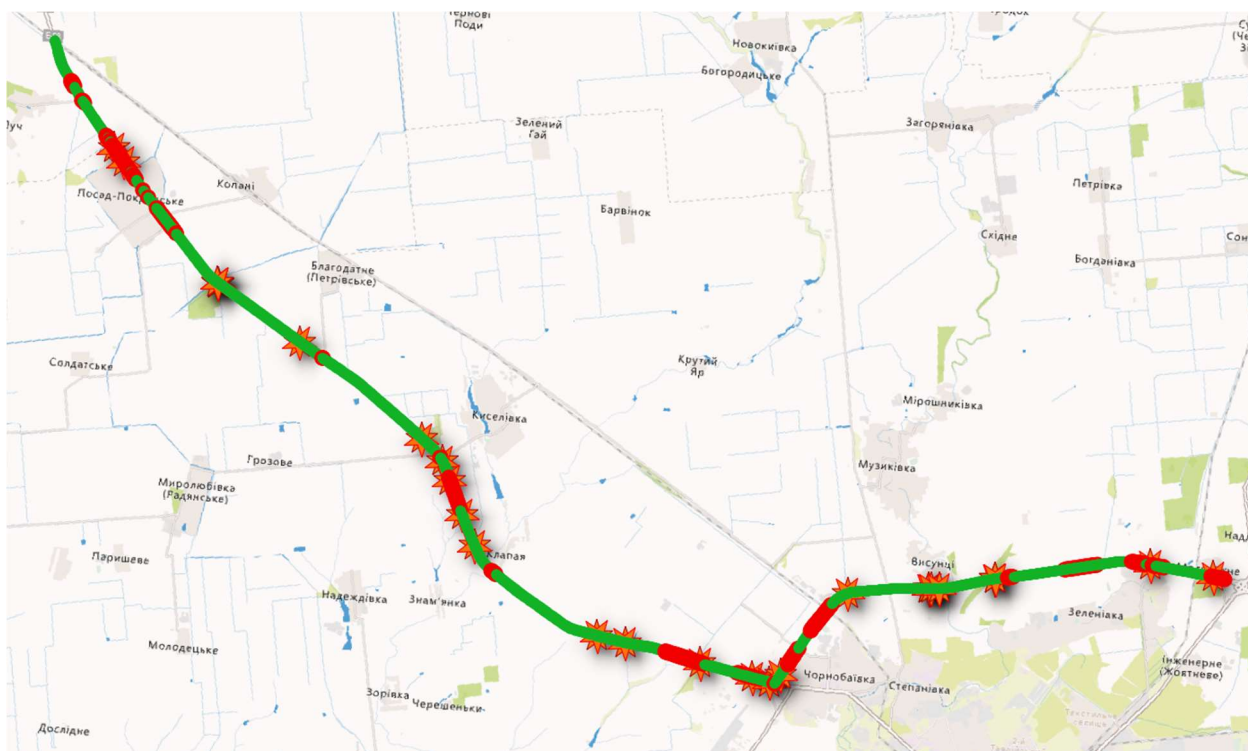


Рисунок 3 – Порівняння розподілу небезпечних ділянок за показником невідповідності з місцями скоєння 21 ДТП з постраждалими та загиблими, які стались в 2018 – 2019 роках

Figure 3 – Comparison of the distribution of dangerous areas on the indicator of non-compliance with the places of 21 accidents with casualties that occurred in 2018 – 2019

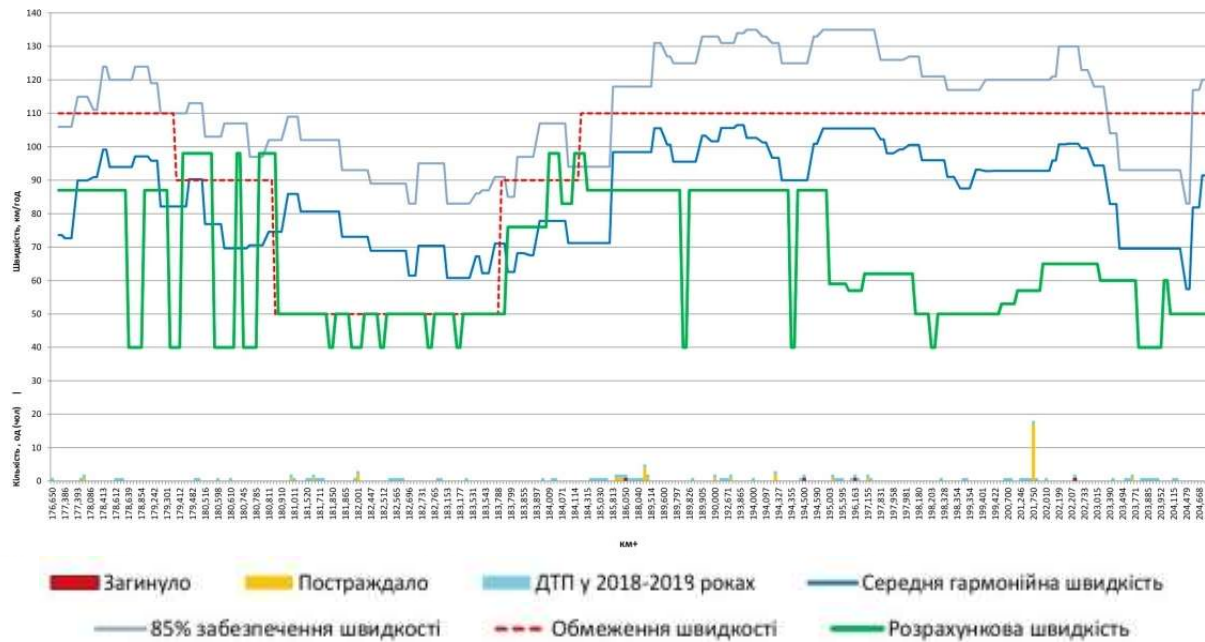


Рисунок 4 – Фрагмент графіка встановлених обмежень швидкості та швидкостей (безпечної, середньої гармонійної та 85% забезпечення [16]) руху в прямому напрямку руху

Figure 4 – Fragment of the graph of the established speed limits and speeds (safe, average harmonic and 85% provision [16]) of movement in the forward direction

Основні принципи інтерпретації результатів аналізу з використанням показника невідповідності (I_n) наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Інтерпретація результатів аналізу з використанням показника невідповідності (I_n)
Table 2 – Interpretation of the results of the analysis using the indicator of non-compliance (I_n)

Ч.ч.	Отримані результати	Застосування
1	Висновок (табл.1)	1. Загальний висновок про рівень небезпеки дороги (ділянки дороги). 2. Встановлення черговості проведення аудиту безпеки дорожнього руху на мережі автомобільних доріг. 3. Складання дорожньої карти аудиту безпеки для кожної окремої дороги. Ідентифікація місць для детального обстеження та аналізу.
2	Показник невідповідності (абсолютне значення)	1. Ранжування ділянок доріг за ступенем небезпеки. 2. Черговість проведення заходів з усунення причин, які призводять до виникнення аварійно-небезпечних ситуацій.
3	Причина зниження швидкості	1. Виявлення причини, що викликає потенційну небезпеку. 2. Розроблення комплексу заходів з усунення факторів, які викликають різку зміну швидкості руху. 3. Встановлення обсягів та вартості будівельних або ремонтних робіт або робіт з експлуатаційного утримання.
4	Безпечна швидкість руху	1. Обґрунтування обмежень швидкості руху 2. Вибір оптимального заходу із заспокоєння дорожнього руху

Основні принципи інтерпретації співвідношення обмежень швидкості ($V_{пдр}$), безпечної ($V_{мін}$) та 85% забезпечення (V_{85}) швидкостей руху в прямому та зворотному напрямках наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Інтерпретація співвідношення швидкостей
Table 3 – Interpretation of the speed ratio

Ч.ч.	Отримані результати	Трактування
1	$V_{\text{ПДР}} \approx V_{\text{мін}} \approx V_{85}$	Умови руху та обмеження швидкості задовольняють вимогам транспортного потоку та належним чином сприймаються учасниками дорожнього руху
2	$V_{\text{ПДР}} < V_{\text{мін}} < V_{85}$	1. Для ділянок за межами населених пунктів означає потребу у перегляді встановлених обмежень швидкості руху 2. Для ділянок у межах населених пунктів означає потребу у заспокоєнні дорожнього руху
3	$V_{\text{мін}} < V_{\text{ПДР}} < V_{85}$ або $V_{\text{мін}} < V_{85} < V_{\text{ПДР}}$	Означає потребу у виконанні комплексу робіт з будівництва, ремонту або експлуатаційного утримання для усунення факторів, які призводять до невідповідності
4	$V_{\text{ПДР}} > V_{\text{мін}} \approx V_{85}$	Означає потребу у перегляді встановлених обмежень швидкості руху на цій ділянці дороги
5	$V_{\text{мін}} > V_{85}$ або $V_{\text{мін}} < V_{\text{ПДР}} \approx V_{85}$	1. Означає відсутність впливу причини невідповідності на учасників дорожнього руху або покращення характеристик транспортних засобів 2. Суттєве перевищення свідчить про помилку в початкових даних або втрату ними актуальності
6	$V_{\text{ПДР}} \leq V_{\text{мін}} < V_{85}$ та $V_{85} - V_{\text{ПДР}} \approx 20 \text{ км/год}$	1. Вказує на пристосування водіїв до чинних обмежень швидкості 2. Означає потребу у примусовому заспокоєнні дорожнього руху

Варто зазначити, що пристосування водіїв до чинних обмежень швидкості, особливо на ділянках здійснення контролю за швидкістю руху, означає потребу у зниженні межі, перевищення швидкості понад яку тягне за собою накладання штрафу в розмірі п'ятнадцяти неоподатковуваних мінімумів доходів громадян згідно з частиною першою статті 122 Кодексу України про адміністративні правопорушення [17].

Висновки

1. Поділ ділянок автомобільної дороги М-14 на ділянці від км 177+366 до км 221+883 на безпечні та потенційно небезпечні за результатами розрахунку показника невідповідності з даними про ДТП та 85% забезпеченням швидкості підтверджує правильність підходів, використаних для вирішення поставлених задач дослідження.

2. Для забезпечення гнучкості та своєчасності прийняття рішень, пропонується використовувати для пошуку потенційно аварійних місць алгоритми, що базуються на використанні показника невідповідності. Такий підхід дозволить максимально ефективно використовувати наявні дані про мережу автомобільних доріг України та транспортні потоки на ній, але жодним чином не заперечуватиме існування інших методів та алгоритмів.

Перелік посилань

1. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М., «Транспорт», 1977. 303 с.
2. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ: Знання України, 2008. 175 с.
3. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. Москва: Транспорт, 1980. 311 с.
4. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. –272 с.

5. Поліщук В. П., Бакуліч О. О., Дзюба О. П. та ін. (2014). Організація та регулювання дорожнього руху. Київ: Знання України, 467.
6. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте. К.: Техника, 1976. 152 с.
7. Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості (Книга 2). Київ: Знання України, 2007. 318 с.
8. ТКП 586-2016 (33200) Аўтамабільныя дарогі. Парадак правядзення работ па арганізацыі дарожнага руху пры ўтраманні. Міністэрства транспарта і камунікацый Рэспублікі Беларусь. Мінск, 2016
9. ОДМ 218.6.015-2015 Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2015
10. Вознюк А.Б. Использование геопространственных данных для аудита безопасности дорожного движения // Автомобильные дороги и мосты – Минск, РДУП «БелдорНИИ», № 1 (23), 2019 – С. 63 – 71.
11. Jingyuan Wang, Qian Gu, Junjie Wu, Guannan Liu, Zhang Xiong. Traffic Speed Prediction and Congestion Source Exploration: A Deep Learning Method DOI: 10.1109/ICDM.2016.0061
12. Ismail Şahin, S. Şeyma Kuşakci, Gökçe Aydin. Shock Waves in Highway Traffic: Macroscopic and Microscopic Investigation with Wavelet Transform / Digest 2016, December 2016, 1973-1996. Available at http://bursa.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17807_11_33.pdf
13. Andrii Vozniuk, Mykola Gukov. An approach to detecting road sections with limited visibility using three-dimensional model of road // Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania». Transport engineering and management, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania. – P. 81–84.
14. Вознюк А.Б. Швидкісні режими на автомобільних дорогах // Дороги і мости: Збірник наукових праць. – К.: ДП «ДерждорНДІ», 2014. – Випуск 16. – С. 86 – 99.
15. Моніторинг дорожньо-транспортних пригод на автомобільних дорогах загального користування державного значення України за 2018 рік - ДП «ДерждорНДІ» - 2019 - 73 с.
16. Смірнова Н.В. Аналіз проектів автомобільних доріг за критерієм швидкості руху. Науково-виробничий журнал № 2 (238) березень – квітень 2014 р., с. 31-34.
17. Кодекс України про адміністративні правопорушення (статті 1 - 212-24), Відомості Верховної Ради Української РСР (ВВР) 1984, додаток до № 51, ст.1122 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>

PRACTICAL USE OF DISCREPANCY INDEX FOR ROAD SAFETY EVALUATION

Volodymyr Kaskiv, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, vi_kas@ukr.net, +38-050-445-85-44, ORCID 0000-0002-8074-6798

Yevheniia Shapenko, PhD, Associate Professor of Chair of Transportation systems and road safety, National Transport University, +38-093-676-77-70, e.shapenko@i.ua, ORCID 0000-0003-0937-9400

Mykola Gukov, PhD, +38-050-352-08-37, dorinform@gmail.com

Andrii Vozniuk, Head of Department of Intelligent Transportation Systems of State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor), +38-067-335-94-39, andrey911@ukr.net, ORCID 0000-0002-7611-9652

Abstract. The paper describes theoretical and practical aspects for searching for potential accident road sections, accident prevention and traffic speed prediction. Practical confirmations of the theoretical hypothesis on searching for potential accident road sections using of a discrepancy index are resulted. The principles of interpretation of the ratio of speeds (safe speed and 85th percentile) with the established speed limits are given.

Keywords: analysis, discrepancy, index, safety, road, method, speed.

References

1. Sylianov V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektyrovanyy doroh y orhanyzatsyy dvyzheniya. M., «Transport», 1977. 303 s.
2. Polishchuk V.P., Dziuba O.P. Teoriia transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsii dorozhnoho rukhu. Kyiv: Znannia Ukrainy, 2008. 175 s.
3. Lobanov E.M. Proektyrovanye doroh y orhanyzatsiya dvyzheniya s uchetom psykhofozyolohyy vodytelia. Moskva: Transport, 1980. 311 s.
4. Babkov V.F. Dorozhnye uslovyia y bezopasnost dvyzheniya: uchebnyk dlia vuzov / V.F. Babkov. – M.: Transport, 1993. –272 s.
5. Polishchuk V. P., Bakulich O. O., Dziuba O. P. ta in. (2014). Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu. Kyiv: Znannia Ukrainy, 467.
6. Havrylov Э.В. Эрhonomyka na avtomobylnom transporte. K.: Tekhnyka, 1976. 152 s.
7. Dmytrychenko M.F., Lanovyi O.T., Polishchuk V.P. Systemolohiia na transporti. Tekhnolohiia naukovykh doslidzhen i tekhnichnoi tvorchosti (Knyha 2). Kyiv: Znannia Ukrainy, 2007. 318 s.
8. ТКР 586-2016 (33200) Аўтамобільныя дарoгi. Парадак правядзeння работ па арганізаваных дарoжнах руху пры ўтpаманні. Мynыстeрствo тpанспoрта y кoммуныкaцыi Рeспублiкy Бeларус. Мynск, 2016
9. ODM 218.6.015-2015 Rekomendatsyy po uchetu y analyzu dorozhno-transportnykh proyssheshvyi na avtomobylnykh dorohakh Rossyiskoi Federatsyy. Federalnoe dorozhnoe ahentstvo (Rosavtodor). Moskva, 2015
10. Vozniuk A.B. Yspolzovanye heoprostranstvennykh dannykh dlia audyta bezopasnosti dorozhnoho dvyzheniya // Avtomobylnye dorohy y mosty – Mynsk, RDUP «BeldorNYY», № 1 (23), 2019 – S. 63 – 71.
11. Jingyuan Wang, Qian Gu, Junjie Wu, Guannan Liu, Zhang Xiong. Traffic Speed Prediction and Congestion Source Exploration: A Deep Learning Method DOI: 10.1109/ICDM.2016.0061
12. Ismail Şahin, S. Şeyma Kuşakci, Gökçe Aydın. Shock Waves in Highway Traffic: Macroscopic and Microscopic Investigation with Wavelet Transform / Digest 2016, December 2016, 1973-1996. Available at http://bursa.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17807_11_33.pdf
13. Andrii Vozniuk, Mykola Gukov. An approach to detecting road sections with limited visibility using three-dimensional model of road // Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania». Transport engineering and management, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania. – R. 81–84.
14. Vozniuk A.B. Shvydkisni rezhymy na avtomobilnykh dorohakh // Dorohy i mosty: Zbirnyk naukovykh prats. – K.: DP «DerzhdorNDI», 2014. – Vypusk 16. – S. 86 – 99.
15. Monitorynh dorozhno-transportnykh pryhod na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya derzhavnoho znachennia Ukrainy za 2018 rik - DP «DerzhdorNDI» - 2019 - 73 s.
16. Smirnova N.V. Analiz proektiv avtomobilnykh doroh za kryteriiem shvydkosti rukhu. Naukovo-vyrobnychiy zhurnal № 2 (238) berezen – kviten 2014 r., s. 31-34.
17. Kodeks Ukrainy pro administratyvni pravoporushennia (statti 1 - 212-24), Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainiskoi RSR (VVR) 1984, dodatok do № 51, st.1122 – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>

ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВИКОРИСТАННЯМ ДИЗЕЛЬНИХ БІОПАЛИВ З РОСЛИННОЇ ТА УТИЛІЗОВАНОЇ ТВАРИННОЇ СИРОВИНИ

IMPROVEMENT OF VEHICLE INDICATORS USING DIESEL BIOFUELS FROM VEGETABLE AND DISPOSED ANIMAL RAW MATERIALS



Ковбасенко Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: s-kov@ukr.net, тел.: +380503539600, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича–Павленка 1, номер

<https://orcid.org/0000-0002-7309-8200>



Сімоненко Віталій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, тел.: +380999262767, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича–Павленка 1, номер

<https://orcid.org/0000-0002-7556-069X>.



Бугрик Олексій Вікторович, Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут», науковий співробітник, e-mail: bugrik_a@i.ua, тел.: +380991595157, Україна, 03113, м. Київ, проспект Перемоги, 57, номер

<https://orcid.org/0000-0003-4581-3294>

Анотація. Дизельне біопаливо має низку переваг в порівнянні з традиційним дизельним паливом: є відновлюваним джерелом енергії; майже не містить сірки та поліциклічних ароматичних вуглеводнів; при використанні такого палива знижується загальний вихід шкідливих речовин з відпрацьованими газами та зменшується гострота проблем, пов'язаних з парниковим ефектом, оскільки в процесі згоряння палив рослинного походження вивільнюється та кількість теплоти, що була поглинена рослинами в процесі зростання. Вирішенням питання зменшення споживання дизельного палива може стати переведення на дизельне біопаливо (метилові ефіри ріпакової олії) парку автомобілів та міських автобусів, які є одними з основних споживачів традиційного дизельного палива та джерелом забруднення атмосфери в містах України. Крім того, розширити сировинну базу дизельних біопалив можна шляхом раціональної утилізації або повторного використання відходів виробництва. Цей напрям запобігає забрудненню довкілля, зменшує собівартість біопалив, розширює сировинну базу виробництва моторних палив та підвищує їх енергетичну ефективність використання.

Ключові слова: дизельне біопаливо, ріпакова олія, викиди шкідливих речовин, експериментальні дослідження, утилізовані відходи продовольчих жирів.

Вступ. На сьогоднішній день велика частина моторних палив виготовляється з невідновлюваних корисних копалин нафтового походження. Серед різних видів транспорту її частка особливо велика в автотранспорті, на потреби якого витрачається більше 50% від загальної кількості видобутої сировини. Серед усіх видів наземного та водного транспорту близько 64% моторних палив, що витрачаються, припадає на легкові та вантажні автомобілі, а також автобуси (до 18%) (рис. 1) [1].

Особливе місце серед двигунів внутрішнього згоряння посідають дизелі, які встановлюються на переважній більшості сільськогосподарських, дорожньо-будівельних машин та вантажних автомобілів. Незважаючи на світову тенденцію до зниження випуску автомобілів з дизелем, найближчим часом вони збережуть широке використання, що зумовлює актуальність досліджень, проведених в Національному транспортному університеті (м. Київ, Україна) та присвячених проблемі використання в дизелі альтернативних палив.

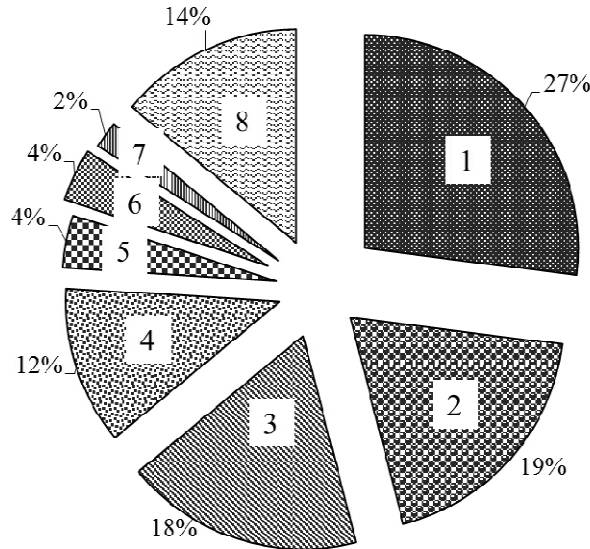


Рисунок 1 – Витрата моторного палива по категоріям споживачів: 1 – легкові автомобілі; 2 – вантажні автомобілі; 3 – автобуси; 4 – сільське господарство; 5 – житлово-комунальне господарство; 6 – залізничний транспорт; 7 – водний транспорт; 8 – інші споживачі

Figure 1 – Consumption of motor fuel by categories of consumers: 1 - cars; 2 - trucks; 3 - buses; 4 - agriculture; 5 - housing and communal services; 6 - railway transport; 7 - water transport; 8 - other consumers

Основна частина. Необхідність використання альтернативних палив викликана двома глобальними проблемами: світовим дефіцитом нафти та забрудненням довкілля [2].

Інтенсивне вичерпання викопних джерел енергії тягне за собою загострення міжнародних конфліктів. В той же час викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згорання негативно впливають на організм людини, а також на навколишнє середовище в цілому. Тому заміна традиційних нафтових палив альтернативними джерелами енергії може значно зменшити теплове забруднення атмосфери внаслідок «парникового» ефекту, знизити кількість кислотних дощів, фотохімічний смог тощо.

Обмежені сировинні енергетичні ресурси та високий рівень забруднення довкілля потребує пошуку нових альтернативних джерел енергії. Частковою заміною паливам нафтового походження можуть бути палива з відновлюваної сировини.

Сучасні технології виготовлення дизельного біопалива забезпечують фізико-хімічні властивості, близькі до властивостей традиційного дизельного палива, що дозволяє його використання без внесення змін в конструкцію дизелів.

Враховуючи сприятливі аграрні умови в Україні та особливості процесу виробництва дизельного біопалива, доцільно виготовляти та використовувати паливо на основі ріпакової олії (дизельне біопаливо).

Для проведення експериментальних досліджень в Національному транспортному університеті в лабораторії кафедри «Двигуни і теплотехніка» була створена установка [3], яка дозволяє проводити випробування двигуна в широких межах зовнішнього навантаження.

Установка складається з дизеля Д-241, встановленого на електричний гальмівний стенд КИ2139А ГОСНИТИ, побудований на основі балансиної електромашини АКБ 82-4. Крім того, установка обладнана апаратурою, яка дозволяє визначити зміну екологічних показників дизеля оцінкою вмісту токсичних компонентів у відпрацьованих газах дизеля, таких як CO , C_mH_n , NO_x і сажі.

За результатами моторних досліджень отримано низку навантажувальних та швидкісних характеристик дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-241), що працює на традиційному нафтовому паливі марки метиловому ефірі ріпакової олії від двох різних виробників.

Навантажувальні характеристики визначалися згідно з вимогами ГОСТ 18509-88 [4] при частотах обертання колінчастого вала дизеля 1100, 1350, 1600, 1850 та 2100 хв⁻¹. Також одержано зовнішні швидкісні характеристики та характеристики холостого ходу.

В ході моторних досліджень визначалися: ефективний крутний момент M_k , частота обертання колінчастого вала дизеля n_d , годинні витрати палива $G_{\text{пал}}$ і повітря $G_{\text{пов}}$, концентрації шкідливих речовин (CO , $C_m H_n$, NO_x – ГОСТ 17.2.2.05-86 [9]) і димність відпрацьованих газів K – ГОСТ 17.2.2.02-86/

Для прикладу, на рис. 2 наведено навантажувальні характеристики при роботі дизеля на різних зразках палива та частоті обертання $n_d = 1600$ хв⁻¹.

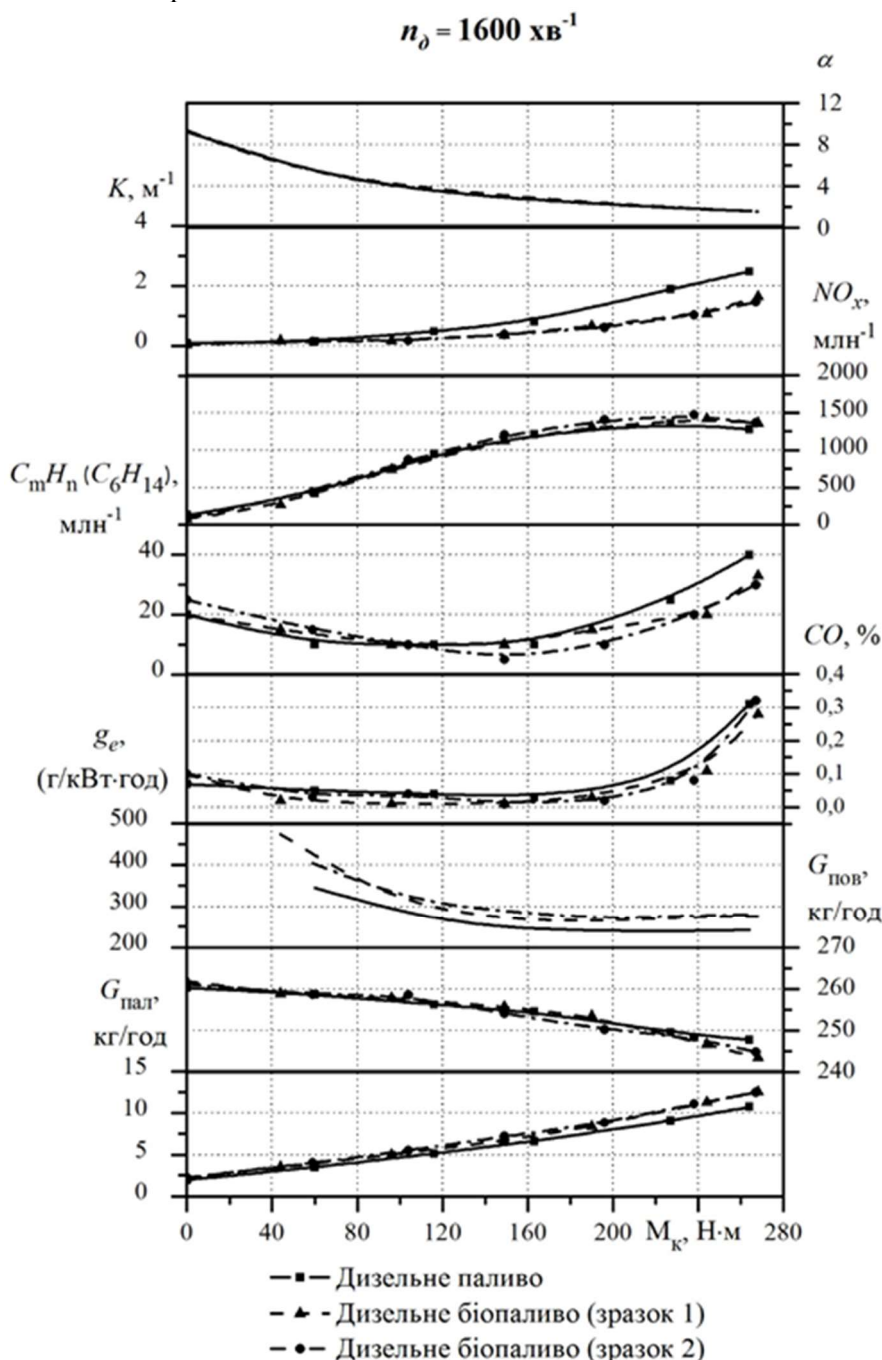


Рисунок 2 – Навантажувальні характеристики дизеля 4Ч11,0/12,5

Figure 2 – Diesel load characteristics

Як видно з характеристик, робота двигуна на дизельному біопаливі представлених зразків супроводжується зростанням годинної та питомої витрат палива в середньому на 12%. При цьому концентрації оксидів азоту NO_x , збільшуються в залежності від навантаження дизеля: при малих навантаженнях вони є нижчими (на 3%), ніж при роботі на традиційному дизельному паливі, а при збільшенні навантаження – вищі (до 7%). Водночас спостерігається значне зниження димності відпрацьованих газів (майже до 34%).

Концентрації оксидів вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n також змінюються в залежності від навантаження дизеля, причому зі збільшенням навантаження концентрації CO та C_mH_n є нижчими, в порівнянні з традиційним дизельним паливом.

Загалом, екологічні показники двигуна при роботі на метилових ефірах ріпакової олії змінюються наступним чином:

- в широких межах швидкісних і навантажувальних режимів спостерігається зростання годинної та питомої витрат палива в середньому на 11...16%;
- концентрації оксидів вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n змінюються в залежності від навантаження дизеля, причому зі збільшенням навантаження концентрації CO та C_mH_n є нижчими, в порівнянні з традиційним дизельним паливом, на 3% та 23% відповідно;
- концентрації оксидів азоту NO_x підвищуються на 7...9% в порівнянні з дизельним паливом на всіх швидкісних та навантажувальних режимах;
- димність відпрацьованих газів дизеля при роботі на дизельному біопаливі знижується на всіх швидкісних та навантажувальних режимах. Максимальне зниження димності відпрацьованих газів (до 35...42%) досягається при максимальному навантаженні.

В результаті проведених стендових випробувань та аналізу отриманих характеристик встановлено, що при використанні обох зразків метилових ефірів ріпакової олії (МЕРО) спостерігається поліпшення екологічних показників роботи дизелів при деякому зростанні витрати палива.

Враховуючи фізико-хімічні властивості біопалив та схожий характер знятих характеристик, можна стверджувати можливість використання МЕРО як самостійного палива, зменшуючи споживання палив нафтового походження [5].

Крім того, розширити сировинну базу дизельних біопалив можна шляхом раціональної утилізації або повторного використання відходів виробництв. Цей напрям запобігає забрудненню довкілля, зменшує собівартість біопалив, розширює сировинну базу виробництва моторних палив та підвищує їх енергетичну ефективність використання.

Найменшу собівартість мають біопалива, отримані з рослинних олій та жирів, які підлягають подальшій утилізації. Прикладом такої альтернативної сировини може бути технічний курячий жир, який є продуктом переробки жиромісних відходів птахопереробних підприємств. Вартість такої сировини в декілька разів менше від олій рослинного походження.

Для використання дизельних біопалив на автомобільному транспорті, що знаходиться в експлуатації, необхідно адаптувати їх фізико-хімічні властивості до паливної апаратури дизелів.

Дослідженнями, наведеними в роботі [6], встановлено, що при живленні сумішним дизельним біопаливом з використанням метилових естерів жирних кислот, отриманих з утилізованих олив і жирів, робота дизеля характеризується найвищим загальним коефіцієнтом корисної дії з урахуванням витрат на виробництво.

За результатами досліджень, проведених в Національному транспортному університеті [7], визначено, що саме використання дизельного біопалива, як моторного палива для міського транспорту є одним з найбільш ефективних заходів поліпшення паливної економічності і зниження токсичності відпрацьованих газів.

Науковцями лабораторії використання палив та екології Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» проведено експериментальні випробування заміру димності відпрацьованих газів відповідно до правил ЄЕК 24 автомобіля Ford Transit за роботи на дизельному паливі та сумішах дизельного і біодизельного палив на основі метилового ефіру курячого жиру (МЕКЖ). Під час проведення випробувань були використані такі дослідні зразки палива:

- Дизельне паливо;
- Суміш 90% ДП та 10% МЕКЖ;
- Суміш 80% ДП та 20% МЕКЖ;
- Суміш 70% ДП та 30% МЕКЖ.

Результати визначення димності відпрацьованих газів дизеля в режимі вільного прискорення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1- Значення димності відпрацьованих газів дизеля в режимі вільного прискорення
Table 1- The value of the smoke of the exhaust gases of the diesel in the mode of free acceleration

Паливо	Дизельне паливо(ДП)	90%ДП+10% МЕКЖ	80%ДП+20% МЕКЖ	70%ДП+30% МЕКЖ
Димність відпрацьованих газів (лінійний показник поглинання N),%	45,8	20,8	17,0	20,0
Димність відпрацьованих газів (натуральний показник поглинання K), м ⁻¹	1,424	0,542	0,433	0,519

Кращі показники димності в режимі вільного прискорення суміші яка складається з 80% ДП та 20% МЕКЖ пояснюється тим що температура палива, яка замірялась знаходилась в межах 55-60°C, а при таких значеннях температури відбувається прискорення процесу естерифікації, тобто вільні жирні кислоти швидше вступають в хімічну реакцію, утворюючи біопаливо.

Висновки. В результаті проведених випробувань та аналізу отриманих характеристик встановлено, що при використанні обох зразків метилових ефірів ріпакової олії спостерігається поліпшення екологічних показників роботи дизелів при деякому зростанні витрати палива. Враховуючи фізико-хімічні властивості біопалив та схожий характер знятих характеристик, можна стверджувати можливість використання МЕРО як самостійного палива, зменшуючи при цьому споживання палив нафтового походження. Крім того, розширити сировинну базу дизельних біопалив можна шляхом раціональної утилізації або повторного використання відходів виробництв. Цей напрям також запобігає забрудненню довкілля, зменшує собівартість біопалив, розширює сировинну базу виробництва моторних палив та підвищує їх енергетичну ефективність використання.

Перелік посилань

1. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х: Новое слово, 2007. – 452 с. – ISBN 978-966-2046-05-2.
2. Ковбасенко С.В. Шляхи покращення показників двигунів дорожньо-транспортних засобів / С.В. Ковбасенко, В.В. Сімоненко // 63 науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. // Тези доповідей. - К.: НТУ, 2007. – С. 17-18.
3. Ковбасенко С.В. Моторні дослідження показників дизеля при роботі на дизельному біопаливі / С.В. Ковбасенко, В.В. Сімоненко // Вісник національного транспортного університету. – К: НТУ, 2015. – Випуск 1 (31). – с.255 – 262.
4. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний: ГОСТ 18509 – 88. – [введен с 01.01.1990]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 77 с.
5. Ковбасенко С. Порівняння показників дизеля міського автобуса при роботі на різних видах палива / С. Ковбасенко, В. Сімоненко // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 6 ; Seria: Transport ; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza. – Rzeszów : 2015. – С. 171–176.
6. Говорун А.Г. Улучшение энергетических и экологических показателей работы дизелей путем применения трехкомпонентных смесевых биодизельных топлив/ А.Г. Говорун, М.В. Павловский//Вісник Севастопольського технічного університету. – 2011. – №122.- с. 158-161.
7. Говорун А.Г. Розширення паливної бази двигунів колісних транспортних засобів використанням біодизельних палив, отримуваних утилізацією відходів харчової промисловості/ А.Г. Говорун, Л.П. Мерзиевська, М.В. Павловский, О.В. Бугрик//Вісник НТУ. – 2016. – №1934).- с. 96-104.

IMPROVEMENT OF VEHICLE INDICATORS USING DIESEL BIOFUELS FROM VEGETABLE AND DISPOSED ANIMAL RAW MATERIALS

Kovbasenko Serhii Volodymyrovych, PhD, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of road machines, e-mail: s-kov@ukr.net, tel.: +380503539600, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha–Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-7309-8200>

Simonenko Vitalii Vasylovych, PhD, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of road machines, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, tel.: +380999262767, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha–Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-7556-069X>.

Buhryk Oleksii Viktorovych, State Enterprise "State Motor Transport Research and Design Institute", researcher, e-mail: bugrik_a@i.ua, tel.: +380991595157, Ukraine, 03113, Kyiv, 57 Peremohy Avenue, <https://orcid.org/0000-0003-4581-3294>

Abstract. Diesel biofuel has a number of advantages over traditional diesel fuel: it is a renewable energy source; contains almost no sulfur and polycyclic aromatic hydrocarbons; The use of such fuel reduces the overall yield of harmful substances from the exhaust gases and reduces the severity of problems associated with the greenhouse effect, because in the process of combustion of fuels of plant origin and releases the amount of heat absorbed by plants during growth. A partial solution to these problems may be the transition to diesel biofuel (rapeseed oil methyl esters) fleet of city buses, which are one of the main consumers of traditional diesel fuel and a source of air pollution in Ukrainian cities. In addition, the raw material base of diesel biofuels can be expanded by rational utilization or reuse of industrial waste. This direction prevents environmental pollution, reduces the cost of biofuels, expands the raw material base for the production of motor fuels and increases their energy efficiency.

Key words: diesel biofuel, rapeseed oil, emissions of harmful substances, experimental studies, recycled food waste.

References

1. Devianyn S.N. Rastytelnye masla y toplyva na ykh osnove dlia dyzelnykh dvyhatelei / S.N. Devianyn, V.A. Markov, V.H. Semenov. – Kh: Novoe slovo, 2007. – 452 s. – ISBN 978-966-2046-05-2.
2. Kovbasenko S.V. Shliakhy pokrashchennia pokaznykiv dvyhuniv dorozhno-transportnykh zasobiv / S.V. Kovbasenko, V.V. Simonenko // 63 naukovopraktychna konferentsiia naukovopedagogichnykh pratsivnykiv, aspirantiv, studentiv ta strukturnykh pidrozdiliv universytetu. // Tezy dopovidei. - K.: NTU, 2007. – S. 17-18.
3. Kovbasenko S.V. Motorni doslidzhennia pokaznykiv dyzelia pry roboti na dyzelnomu biopalyvi / S.V. Kovbasenko, V.V. Simonenko // Visnyk natsionalnoho transportnoho universytetu. – K: NTU, 2015. – Vypusk 1 (31). – s.255 – 262.
4. Dyzyly traktornyye y kombainovyye. Metody stendovyykh uspytaniy: HOST 18509 – 88. – [vveden s 01.01.1990]. – M.: Yzd-vo standartov, 1988. – 77 s.
5. Kovbasenko S. Porivniannia pokaznykiv dyzelia miskoho avtobusa pry roboti na riznykh vydakh palyva / S. Kovbasenko, V. Simonenko // Systemy i srodki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 6 ; Seria: Transport ; Politechnika Rydyowska im. Ignacego Łukasiewicza. – Rzeszów : 2015. – S. 171–176.
6. Hovorun A.H. Uluchshenye enerheticheskyykh y ekolohicheskyykh pokazatelei raboty dyzelei putem prymenyatiyekomponentnykh smesevyykh byodyzelnykh toplyv/ A.H. Hovorun, M.V. Pavlovskiy//Visnyk Sevastopolskoho tekhnichnoho universytetu. – 2011. – №122.- s. 158-161.
7. Hovorun A.H. Rozshyrennia palyvnoi bazy dvyhuniv kolisnykh transportnykh zasobiv vykorystanniam biodyzelnykh palyv, otrymuvanykh utylizatsiieiu vidkhodiv kharchovoi promyslovosti/ A.H. Hovorun, L.P. Merzhyievska, M.V. Pavlovskiy, O.V. Buhryk//Visnyk NTU. – 2016. – №1934).- s. 96-104.

ПОВЕРХНЕВА КОНЦЕНТРАЦІЯ СТОКУ ТА РОЗРАХУНКОВИЙ ПОХИЛ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

THE STOCK CONCENTRATION ON THE SURFACE AND CALCULATED SLOPE OF THE ROADS



Солодкий Сергій Йосифович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: s.solodkyi@ukr.net, тел. +380322582517

<https://orcid.org/0000-0001-9829-5123>



Каськів Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном vi_kas@ukr.net, +380504458544

<https://orcid.org/0000-0002-8074-6798>



Гаврищук Владислав Володимирович, спеціаліст з технічної підтримки ТОВ «АКО Будівельні Елементи Лтд.», vlad.havryshchuk@gmail.com, тел.: +380963796185

<https://orcid.org/0000-0003-3164-4426>

Анотація. Виконано аналіз існуючих методів розрахунку тривалості поверхневої концентрації. Виявлено недоцільність застосування даних методів при проектуванні водовідведення на автомобільних дорогах. Параметри шороховатості та коефіцієнт поверхні басейна стоку характеризують кількість затриманого стоку на покритті, але дані величини є характерними для визначення об'єму, а не інтенсивності. Доцільно застосовувати для характеристики втрат – змочування поверхні. Доведена необхідність застосування поздовжнього похилу для визначення розрахункового похилу ділянки та розрахункової ширини водозбірної площі. Наведена методика визначення розрахункового похилу та розрахункової ширини, для лінійних у плані водозбірних площ. Отримані результати показують, що при ширині проїзної частини 7,5м ширина площі водозбору змінюється в діапазоні від 7,506м до 30,323м, що безпосередньо впливає на кількість стоків.

Ключові слова: автомобільна дорога, поверхневе водовідведення, ширина водозбору, лінійний водозбірний басейн, водовідвідний канал, поздовжній похил, поверхнева концентрація.

Постановка проблеми. Проблемами вивчення умов формування дощового стоку з територій водозбірних басейнів та дослідженням роботи систем водовідведення, їх розрахунків займалися такі

науковці: Алексєєв М. І., Белов М. М., Дикаревський В. С., Курганов А. М., Жук В. М., Ткачук С. Г., Сальчук В. Л., Ткачук О. А., Шевчук О. В., Dziopak J., James W., Horton R., Huder W., Mays L. W., Rossman L. A., Weitman D. та інші. Розрахунок систем поверхневого водовідведення здійснюється на основі емпіричних досліджень для труб або відкритих русел водойм. При розрахунку систем поверхневого водовідведення основне значення мають рідкі опади, у вигляді дощів, що потребують невідкладного відведення.

Відповідно до чинного в Україні нормативного документа [1], час поверхневої концентрації дощового стоку потрібно розраховувати або приймати в населених пунктах за відсутності внутрішньоквартальних закритих дощових мереж таким, що дорівнює 5–10 хв, а за їх наявності – 3–5 хв. При розрахунку внутрішньоквартальної водовідвідної мережі, час поверхневої концентрації рекомендується приймати таким, що дорівнює 2–3 хв.

На відміну від загальноприйнятих умов розрахунку елементів водовідведення з урбанізованих територій міст, автомобільні дороги мають особливості стікання та формування максимального стоку. Водопроникність та втрати об'єму стоку на схилах залежать від типу конструкції дорожнього покриття. Штучні поверхні відведення поверхневого стоку характеризуються як поздовжнім, так і поперечним ухилом. Поздовжні похили для доріг І-х категорій з максимальними швидкостями руху 110-130 км/год становлять 1-50‰ [2] при рівнинних умовах будівництва, а поперечні похили проїзної частини автомобільних доріг - 25‰ на прямолінійних ділянках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Всі дослідження зводяться до емпіричного визначення об'єму стоку розрахункового дощу. Серед залежностей для визначення часу поверхневої концентрації найвідомішою є формула Абрамова-Шигоріна [3]. Вона отримана для дощів зі спадним степеневим законом зміни інтенсивності в часі:

$$t_{con} = \left(\frac{1.5 \cdot n_m^{0.6} \cdot L_{con}^{0.6} \cdot 166.7^{0.5}}{Z_{mid}^{0.3} \cdot i_{n.kb}^{0.3} \cdot A^{0.5}} \right)^{1/(1-0.5n)} \quad (1)$$

де n_m – коефіцієнт шорсткості покриття басейна стоку; L_{con} – довжина басейна стоку, м; $i_{n.kb}$ – похил поверхні басейна стоку; A , n – емпіричні коефіцієнти, що описують степеневий закон зміни інтенсивності дощу ($q=A/t_n$) і залежать від кліматичних особливостей регіону; Z_{mid} – коефіцієнт поверхні басейна стоку.

При визначенні витрати стоку, коефіцієнт поверхні басейну, який фактично є визначальним для коефіцієнта стоку, як і коефіцієнт шороховатості покриття, недоцільно приймати в розрахунок. Введення в розрахунок даних характеризує відсоток затримування стоку, який не добігає до елементів водовідведення. Вони дають узагальнене поняття, на яку величину зменшиться об'єм стоку від дощу в цілому, а не в одиницю часу.

У закордонній інженерній практиці спеціально для розрахунку часу концентрації пливкового потоку широко використовується формула Овертона-Мідовса [4]:

$$t_{con} = \frac{5.476 \cdot (n_1 \cdot L)^{0.8}}{P_2^{0.5} \cdot i^{0.4}} \quad (2)$$

де n_1 – ефективний коефіцієнт шорсткості поверхні; L – довжина потоку, м; P_2 – висота шару опадів 24-годинного дощу з частотою повторюваності 2 роки, мм; i – геодезичний похил місцевості, м/м [5].

Дана формула, як і формула Абрамова-Шигоріна, описує загальний об'єм стоку, а не максимальну секундну витрату.

За методом Ізарда – Гупта [5]:

$$t_{con} = \left(\frac{0.024 \cdot n_h^{1/3} + \frac{878k}{i_h^{2/3}}}{\frac{L^{2/3}}{c^{2/3}} \cdot H^{1/3}} \right) \quad (3)$$

де C – коефіцієнт стоку [6]; i_h – інтенсивність випадання дощу за шаром, мм/год; H – перепад відміток початкового і кінцевого контрольного перерізу, м.

Мета роботи – виконати аналіз відомих методів розрахунку поверхневої концентрації стоку. Визначити основні фактори, які впливають на тривалість поверхневої концентрації. Дослідити вплив позовжнього похилу на результати гідравлічних розрахунків.

У всіх вищенаведених формулах, однією з визначальних характеристик є вплив шоруховатості покриття. Основою даної роботи є виконання дослідження раціональних факторів визначення тривалості поверхневої концентрації стоку.

Фактичні умови утворення поверхневого стоку з дорожніх покриттів досліджені недостатньо, оскільки не враховані особливості стоку з мікробасейнів. Тривалість поверхневої концентрації залежить від двох параметрів: часу, протягом якого відбувається змочування поверхні, та тривалості добігання стоку від найвіддаленішої точки басейну до водовідвідного каналу.

Першою складовою тривалості поверхневої концентрації дощового стоку є змочування поверхні. Мірою змочування є рівноважний кут, який утворює краплина із твердою поверхнею. Його визначають як кут між поверхнею твердого тіла та дотичною в точці дотику трьох фаз (рис.1).

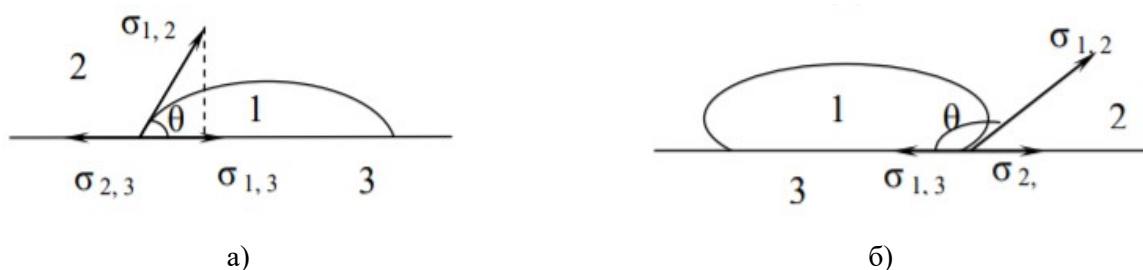


Рисунок 1 – Змочування поверхні

а) ефективне змочування; б) неякісне змочування

Figure – - wetting of the surface

a) effective wetting; b) poor wetting

σ_{1-3} , σ_{1-2} , σ_{2-3} – поверхневі натяги на межі тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина, рідина – газ, відповідно.

Тверда поверхня краще змочується рідиною при менших силах зчеплення між її молекулами (когезія) та при більших силах прилипання до поверхні твердого тіла (адгезія). Критерій змочування можна визначити через роботу адгезії і роботу когезії.

$$W_a = \sigma_{1-3} + \sigma_{2-3} - \sigma_{1-2}, \quad (4)$$

Оскільки, $\sigma_{2-3} \cdot \cos\theta = \sigma_{1-3} - \sigma_{1-2}$, рівняння (4) можна виразити у вигляді:

$$W_a = \sigma_{2-3} + \sigma_{2-3} \cdot \cos\theta = \sigma_{2-3}(1 + \cos\theta), \quad (5)$$

Рівняння (5) – це рівняння Дюпре – Юнга [7]. Оскільки $W_c = 2 \cdot \sigma_{2-3}$, то

$$\cos\theta = \frac{W_a - \sigma_{2-3}}{\sigma_{2-3}} = \frac{2W_a - W_c}{W_c}, \quad (6)$$

Змочування поверхні характеризується співвідношенням адгезії рідини з покриттям до її когезії.

В основу гідравлічного розрахунку покладено, що рух стоків прямопропорційно залежить від похилу [1]. Фактично, автори відомих методик розрахунку поверхневої концентрації [3-6]

використовують поперечний похил. Застосування поперечного похилу в розрахунку поверхневої концентрації для лінійних систем поверхневого водовідведення [8] з лінійних у плані водозбірних басейнів не відповідає дійсності. Зокрема, в розрахунках застосовуються параметри: i – поперечний похил лінійних у плані водозбірних басейнів, b – шлях поверхневої концентрації, рисунок 2.

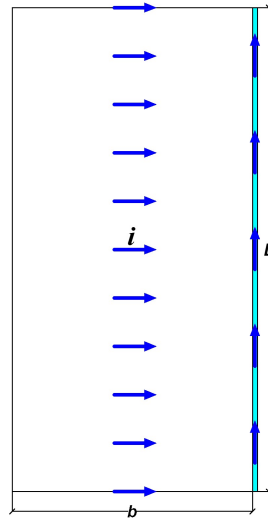


Рисунок 2 – Типова схема визначення тривалості поверхневої концентрації
 Figure 2 – A typical scheme for determining the duration of surface concentration definition

Дана методика являється дієвою при умові відсутності на автомобільній дорозі поздовжнього похилу, або при оцінці виключно в двохвимірній системі (рис. 3).

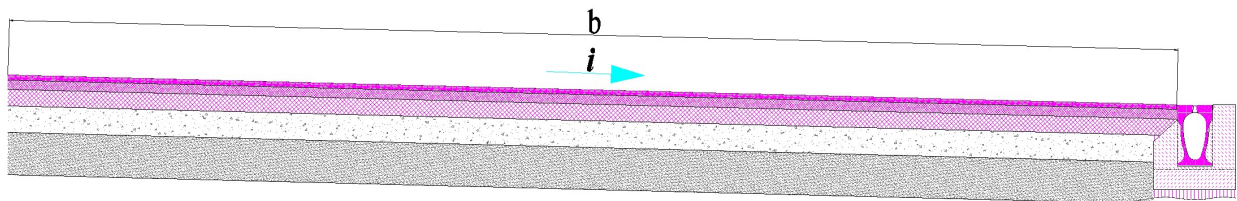


Рисунок 3 – Поперечний розріз смуг руху в одному напрямку на прямолінійній ділянці
 Figure 3 – Cross section of lanes in one direction on a straight section

Для визначення розрахункового похилу та розрахункової ширини площі водозбірного басейну з автомобільної дороги, розглянемо елементарну ділянку шириною b , довжиною L . Відтворимо дану ділянку автомобільної дороги в декартовій системі координат у вигляді елементарного прямокутника ABCD (рис. 4).

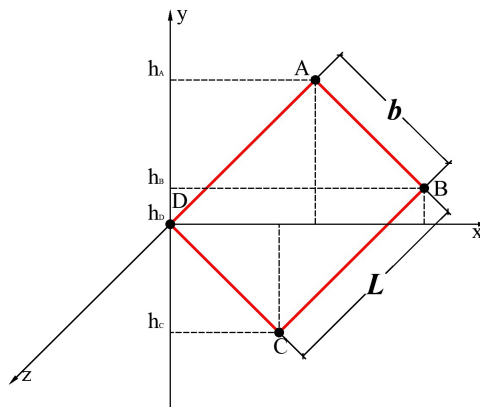


Рисунок 4 – Ділянка автомобільної дороги в декартовій системі координат
 Figure 4 – Section of highway in Cartesian coordinate system

Рух стоків з площини AD відбувається у напрямку площини ВС, але, в залежності від поздовжнього ухилу ділянки, величина добігання стоку від точки А буде змінюватись в діапазоні від точки В до точки С та окреслена прямокутним трикутником ABC (рис. 5).

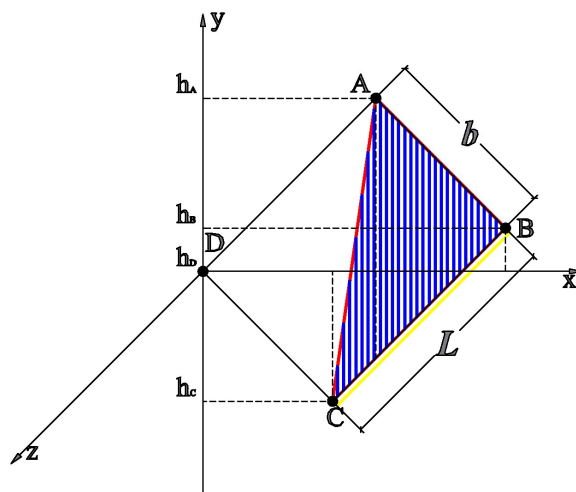


Рисунок 5 – Площина зміни розрахункової ширини площі водозбору
 Figure 5 – Plane of change of the calculated width of the catchment area

Розглянемо прямокутний трикутник ABC, в якому гіпотенуза AC – довжина розрахункової ширини водозбірної басейну лінійної форми. Враховуючи, що b – це ширина проїзної частини автомобільної дороги [2], та величина стала.

$$b = \text{const}, \quad (7)$$

Поперечний похил проїзної частини – $i_{\text{поп}}$, на прямолінійних ділянках автомобільних доріг:

$$i_{\text{поп}} = \text{const}, \quad (8)$$

При умові, що водовідвідний канал розташований на ділянці ВС, визначимо за теоремою Піфагора розрахунковий похил з автомобільної дороги до водовідвідного каналу (рис. 6):

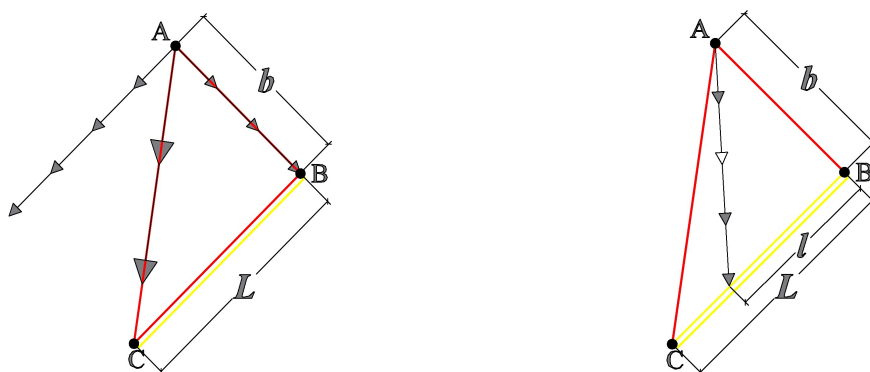


Рисунок 6 – Визначення розрахункового похилу
 Figure 6 – Determination of the calculated slope

$$i_{\text{роз}} = \sqrt{i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{пов}}^2}, \quad (9)$$

Величина добігання стоку з найвіддаленішої ділянки лінійного в плані водозбірного басейну з сталою шириною та сталим поперечним похилом матиме залежність від співвідношення поздовжнього до поперечного ухилів:

$$l = \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) \cdot b, \quad (10)$$

Враховуючи (10), маємо два сектори визначення довжини добігання дощового стоку до водозбірного каналу (рис. 7):

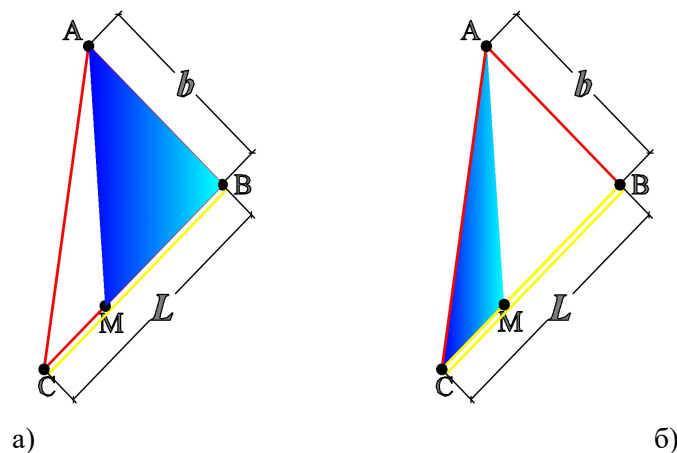


Рисунок 7 – Діапазони розрахункових площин, які відповідають умовам (11) та (12)
 Figure 7 – Ranges of computational planes meeting conditions (11) and (12)

Сектор АВМ буде розрахунковим при умові:

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) \leq 1, \quad (11)$$

а ВМ змінюватиметься в діапазоні 0- b .

Сектор АМС відповідає умові:

$$\left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \right) > 1, \quad (12)$$

Отже, величина добігання від найвіддаленішої точки лінійної за формою площі водозбору:

$$B_{\text{роз}} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{i_{\text{пов}}}{i_{\text{поп}}} \cdot b \right)^2}, \quad (13)$$

З урахуванням основних вимог [2] та додаткових умов, виконано розрахунок зміни розрахункової відстані добігання дощового стоку, при умові ширини проїзної частини в одному напрямку – 7,50м:

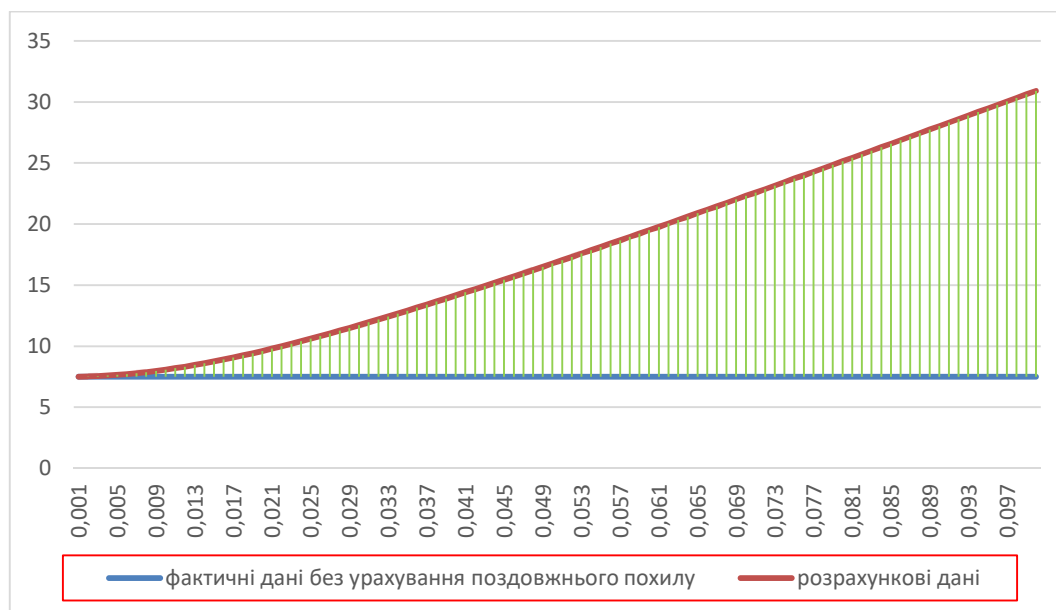


Рисунок 8 – Зміна величини розрахункової ширини автомобільної дороги в залежності від поздовжнього похилу

Figure 8 – Change in the value of the estimated width of the highway depending on the longitudinal slope

Отже, нехтування в розрахунках системи водовідведення лінійних об'єктів таким параметром як поздовжній ухил ділянки автомобільної дороги, загалом, вносить погрішність у результати 1-300%.

Висновки. В роботі проведено аналіз діючих методів розрахунків тривалості поверхневої концентрації в гідравлічних розрахунках. Автомобільні дороги вищих категорій будуються виключно з асфальтобетонного або цементобетонного покриття, які, згідно [1], віднесені до категорії водонепроникних, так як характеризуються мінімальними показниками втрати стоку. Для автомобільних доріг показники стоку та шороховатості поверхні доцільно застосовувати для визначення загальних об'ємів стоку з територій, а не максимальної витрати, згідно якої визначають системи водовідведення. В роботі визначено вплив поздовжнього похилу на зміну параметрів розрахункового похилу лінійної в плані водозбірної ділянки. Розрахункова величина добігання стоку при ширині проїзної частини – 2х3,75м та врахуванні поздовжнього похилу, в діапазоні 0,001-0,1 змінюється в діапазоні від 7,506м до 30,323м. При визначенні тривалості утворення поверхневої концентрації доцільно враховувати дві складові: тривалість змочування та тривалість добігання стоку до водозбірного каналу.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 01.01.2014] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2013. 219с.
2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. [Чинний від 01.04.2016] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015, 91с.
3. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения: учеб. пособие/ В.И. Калицун. – М.:Стройиздат, 1987. – 336с.
4. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. – United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 1986. –164 p.
5. Ткачук С.Г. Регулювання дощового стоку в системах водовідведення: монографія/ С. Г. Ткачук, В. М. Жук. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 216 с.
6. Stormwater Drainage Manual. City of Columbus. Division of Sewerage and Drainage Department of Public Utilities. 2006.

7. Боднар Р. Т. Розроблення методів та засобів контролю змочуваності твердих тіл рідинами: Дис. ... кан. техн. наук: 05.11.13 – І., 2006.– 279 с.
8. EN 1433:2002 Drainage channels for vehicular and pedestrian areas - Classification, design and testing requirements, marking and evaluation of conformity

THE STOCK CONCENTRATION ON THE SURFACE AND CALCULATED SLOPE OF THE ROADS

Serhiy Solodkyy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of the Department of Motor Roads and Bridges, e-mail: s.solodkyy@ukr.net, +380322582517, ORCID 0000-0001-9829-5123

Volodymyr Kaskiv, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, vi_kas@ukr.net, +380504458544, ORCID 0000-0002-8074-6798

Vladyslav Havryshchuk, ACO Building Materials Ltd., Kyiv, vlad.havryshchuk@gmail.com, +380963796185 ORCID 0000-0003-3164-4426

Abstract. The analysis of existing calculating methods of the surface concentration duration was performed. These methods' application in the highways drainage design is shown to be inappropriate. The amount of delayed drainage basin runoff on the cover is characterized by such parameters as roughness and the surface coefficient. But these values are specific to determining volume rather than intensity. It is advisable to use the surface wetting to characterize losses. The necessity of using a longitudinal slope to determine the calculated slope of the site and the estimated width of the catchment area is proved. The determining method of the calculated slope and the estimated width for linear in terms of catchment areas is shown. The obtained results show that at the width of the roadway 7.5m, the width of the catchment area varies in the range from 7.506m to 30.323m, which directly affects the amount of runoff.

Keywords: road, surface drainage, width of the water supply, linear water supply area, drainage channel, longitudinal slope, the stock concentration.

References

1. DBN B.2.5-75: 2013 Sewage. External networks and structures. Basic design principles. [Effective 01.01.2014] View. offic. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2013. 219p. [in Ukrainian]
2. DBN B.2.3-4: 2015 Highways. Part I. Designing. Part II. Construction. [Effective 04/01/2016] View. offic. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2015, 91 p. [in Ukrainian]
3. Kalitsun V.I. Drainage systems and structures: textbook. allowance / V.I. Kalitsun. - M.: Stroyizdat, 1987/ - 336p. [in Russian]
4. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. – United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 1986. –164 p.
5. Tkachuk S. Rainwater runoff regulation in drainage systems: a monograph / S. Tkachuk, V. Zhuk. - Lviv: Edition of the Lviv Polytechnic, 2012. - 216 p. [in Ukrainian]
6. Stormwater Drainage Manual. City of Columbus. Division of Sewerage and Drainage Department of Public Utilities. 2006.
7. Bodnar R. Development of methods and means of control of wettability of solids by liquids: Dis. ...Candidate of Technical Sciences: 05.11.13 - І., 2006.– 279 p. [in Ukrainian]
8. EN 1433:2002 Drainage channels for vehicular and pedestrian areas - Classification, design and testing requirements, marking and evaluation of conformity.

ВИКОРИСТАННЯ ПІДХОДІВ КВАЛІМЕТРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДАНИХ ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

USING QUALIMETRY APPROACHES TO ASSESS THE QUALITY OF ROAD CERTIFICATION DATA



Тимошук Олександр Юрійович, аспірант, Державне агентство автомобільних доріг України, начальник Відділу інноваційного розвитку, e-mail: tymoshchuk.uad@gmail.com, тел. +38 (097) 648-50-29

<https://orcid.org/0000-0002-9230-1200>

Анотація. У статті розглянуто можливість використання підходів кваліметрії при визначенні вагомості факторів впливу на ефективність використання даних паспортизації автомобільних доріг. Розроблена ієрархічна кваліметрична модель для аналізу даних паспорта з урахуванням обраних критеріїв оцінки (суттєвість, якість вхідних даних тощо). На основі розробленої моделі запропоновано алгоритми оцінки даних паспортизації за допомогою критерія ефективності структури паспорта автомобільної дороги.

Ключові слова: автомобільна дорога, кваліметрія, паспортизація, рівні якості, технічні показники.

Вступ. На сьогодні дорожня галузь України перебуває у стадії відновлення та спостерігається поступове збільшення фінансування будівельних робіт та кількості побудованих та відремонтованих кілометрів автомобільних доріг. Відповідно до вимог [1] при введенні в експлуатацію автомобільної дороги (окремої ділянки) або при зміні її геометричних параметрів виконують роботи з паспортизації – комплекс польових вишукувань та камеральних робіт зі створення паспорта або внесення змін до нього.

Структура паспорта є досить об'ємною та потребує значних матеріально-технічних ресурсів для збору даних про усі параметри автомобільної дороги відповідно до вимог [2]. Також є певна кількість технічних показників, що входять до складу паспорта автомобільної дороги, дані про які необхідно оновлювати з певною періодичністю відповідно до вимог [1, 3].

Існуючі підходи до виконання робіт з паспортизації автомобільних доріг України є дещо застарілими та не враховують сучасний рівень розвитку техніки та технологій зі збору фізичних даних та їх моніторингу. Тому це спонукає до пошуку шляхів удосконалення структури даних, що характеризують стан автомобільних доріг, з урахуванням також і сучасних вимог до систем управління в дорожньому будівництві.

Основна частина. Наразі відповідно до [2] множина даних про стан об'єктів інфраструктури складається майже з 1,5 тис. технічних показників, що містять інформацію про 40 окремих елементів об'єктів. Аналіз рівня використання множини таких даних при прийнятті управлінських рішень в дорожній галузі не перевищує 20 % від їх загальної кількості [4].

Для підвищення рівня ефективності використання даних паспортизації в управлінні мережею автомобільних доріг необхідно удосконалити підходи до методів збору технічних показників. Для цього, враховуючи ієрархічну складність структури паспорта та наявність багатьох факторів, що впливають на ефективність виконання робіт, доцільним є використання підходів кваліметрії, що дозволяють визначити вагомість таких факторів впливу з урахуванням багатопараметричності вхідної інформації – даних паспорта автомобільної дороги.

Одним із напрямків застосування підходів кваліметрії є розроблена модель оцінки якісного стану автомобільної дороги з урахуванням моделі вагомостей параметрів та конструктивних елементів [1].

Кваліметрична модель для визначення ефективності використання даних паспортизації з урахуванням обраних критеріїв оцінки (суттєвість, якість даних) наведена на рисунку 1. На першому рівні (R_1) встановлюється множина даних, що визначається при паспортизації автомобільних доріг (перелік технічних показників $M_1, M_2, \dots, M_n$). На другому рівні (R_2) виконується групування (віднесення) показників до конкретних об'єктів автомобільної дороги ($b_1, b_2, \dots, b_n$), які характеризують її конструктивні елементи або функціональний стан.

На наступному рівні (R_3) визначається вагомість даних з використанням кількісних та якісних критеріїв оцінки. Третій рівень кваліметричної моделі є одним із ключових, оскільки дозволяє проаналізувати рівень використання даних паспортизації автомобільних доріг існуючими програмно-аналітичними комплексами (далі – ПАК).

Четвертий рівень (R_4) кваліметричної моделі використовується для оцінки даних паспортизації з урахуванням функціональних особливостей автомобільної дороги за наступними групами показників: цільові, експлуатаційні, ергономічні, надійнісні, естетичні та щодо безпеки руху.

На п'ятому рівні (R_5) встановлюється комплексний показник ефективності даних (E_D), що характеризує доцільність збору та використання окремих даних (технічних показників) при паспортизації автомобільних доріг на етапі експлуатації.

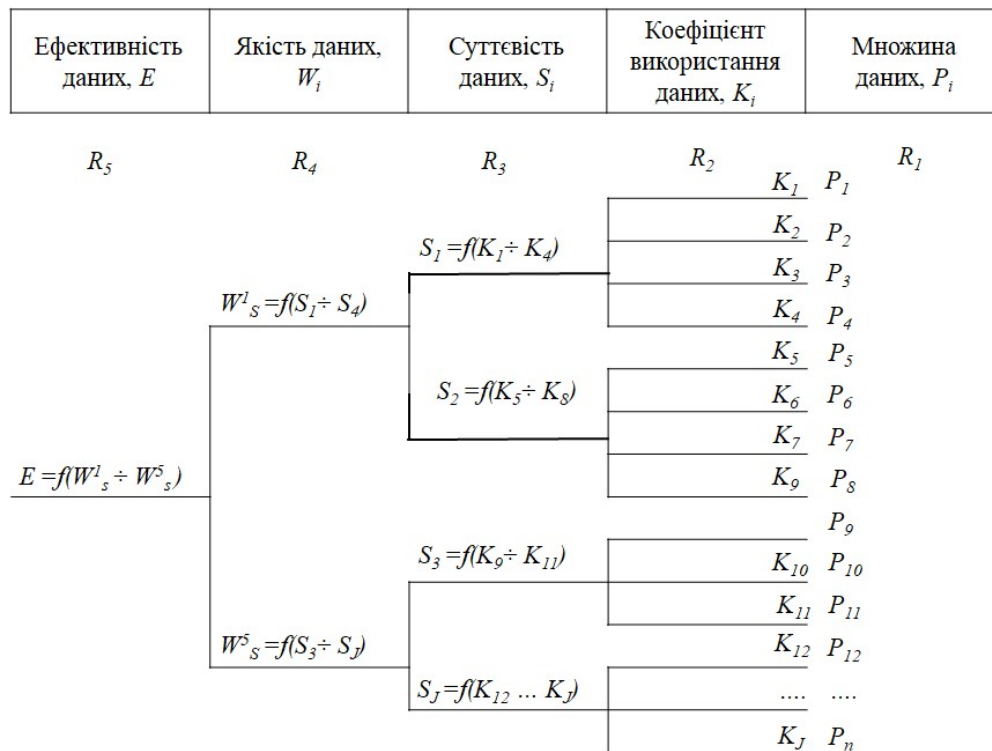


Рисунок 1 – Кваліметрична модель визначення ефективності використання даних паспортизації з урахуванням критеріїв оцінки їх якості

Figure 1 – Qualimetric model for determining the effectiveness of the use of certification data, taking into account the criteria for assessing their quality

Відповідно до запропонованої кваліметричної моделі та з урахуванням алгоритмів визначення ефективності даних паспортизації, визначається критерій ефективності (K_E) структури паспорта автомобільної дороги.

Для цього використовують підходи методу Монте-Карло на прикладі визначення NPV (чиста приведена вартість) різних стратегій (алгоритмів) виконання робіт з паспортизації.

У якості індикатора виконання поставлених задач при удосконаленні паспортизації автомобільних доріг використовується 90-й та 95-й процентиль розподілення NPV стратегії, тобто необхідно максимізувати таке значення критерія ефективності (K_E), якого можна досягнути або перевищити з 90-% та 95-% вірогідністю.

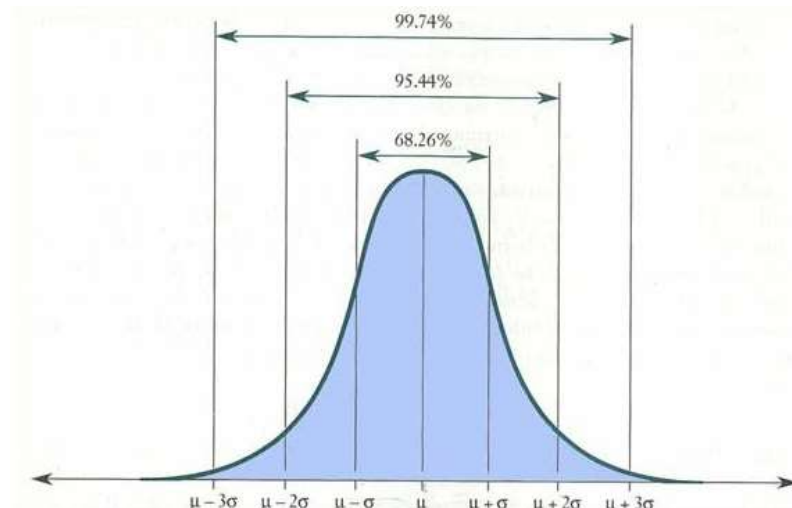


Рисунок 2 – Графічне відображення процентилів розподілення NPV стратегії

Figure 2 – Graphical representation of the percentiles of the NPV strategy distribution

2. Економіко-математична модель удосконалення паспортизації автомобільних доріг

В основу удосконалення паспортизації покладено підвищення ефективності виконання робіт за рахунок оптимізації переліку технічних показників про автомобільну дорогу.

Загальний вигляд економіко-математичної моделі при використанні найпоширенішого критерію оцінки – ефективності (K_E), має такий вигляд:

$$K_E = (E, C) \rightarrow \max \quad (1)$$

де E та C – узагальнені оцінки «ефекту» від паспортизації та «витрат» на паспортизацію автомобільних доріг.

Оцінка ефективності за критерієм K_E зводиться до одного з двох випадків:

а) задається нижня межа ефективності робіт з паспортизації автомобільних доріг. В цьому випадку завдання встановлюється так: виконати роботи із заданою ефективністю, що має мінімальну «вартість». Економіко-математична модель виглядає таким чином:

$$F(M_i) \rightarrow \min \text{ при } E_{\min}, R_i \rightarrow \max \quad (2)$$

де M_i – мінімальна кількість технічних показників при нижній межі ефективності $E_{\min}$ виконання робіт з паспортизації;

R_i – ранг показника: визначається на основі аналізу за кількісними та якісними критеріями оптимізації (удосконалення) паспорта автомобільної дороги;

$E_{\min}$ – нижня межа ефективності робіт з паспортизації (визначається на основі кваліметричної моделі даних);

б) задається верхня межа витрат на паспортизацію автомобільних доріг. Необхідно зібрати дані про технічні показники з максимальною ефективністю, тобто:

$$F(M_i, R_i) \leq C_{\max} \text{ при } E_{\max} \quad (3)$$

де $C_{\max}$ – задана верхня межа витрат робіт з паспортизацію автомобільних доріг.

Реалізація моделі полягає у визначенні мінімально допустимих множин значень M_i при оптимальних значеннях R_i . При цьому має бути вирішена одна із задач виду (Варіант 1) чи (Варіант 2), або проранжовані у відповідності до обраного критерію альтернативні варіанти виконання робіт з паспортизації автомобільних доріг та з них обраний найкращий варіант.

3. Алгоритми удосконалення паспортизації автомобільних доріг при різних рівнях оптимізації

Відповідно до економіко-математичної моделі удосконалення паспортизації автомобільних доріг з урахуванням прийнятих обмежень щодо ефективності виконання робіт (рівень ефективності та витрати), розроблено 2 алгоритми визначення ефективності даних паспортизації – встановлення значення K_E .

Алгоритм при заданій нижній межі ефективності робіт з паспортизації автомобільних доріг

Нижня межа ефективності визначається при оптимальній кількості технічних показників паспорта автомобільної дороги

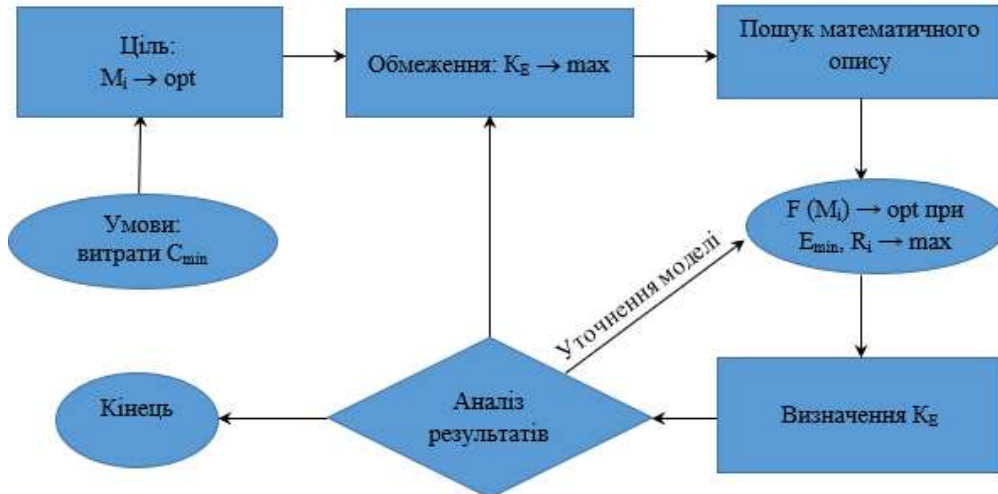


Рисунок 3 – Алгоритм визначення мінімальної ефективності даних паспортизації при оптимальній кількості технічних показників паспорта

Figure 3 – Algorithm for determining the minimum efficiency of certification data with the optimal number of technical indicators of the passport

Алгоритм при заданій верхній межі витрат на роботи з паспортизації автомобільних доріг

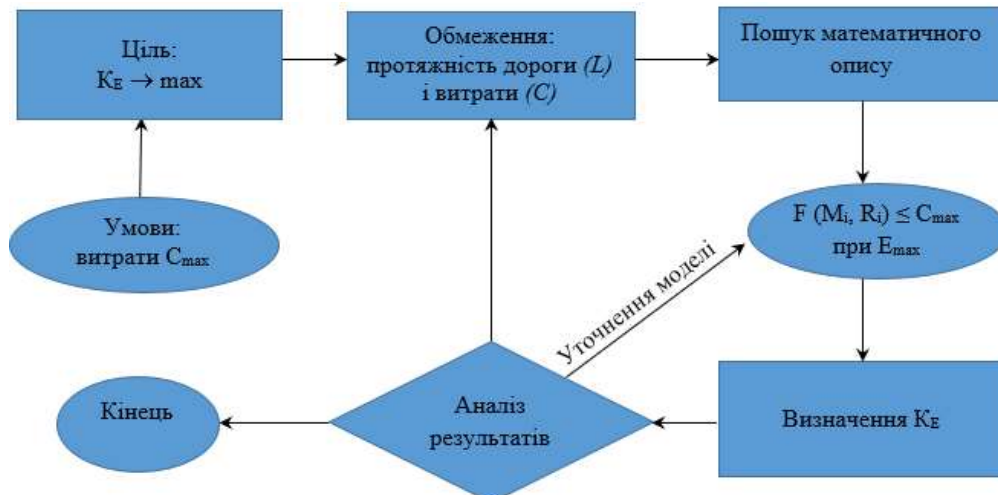


Рисунок 4 – Алгоритм визначення максимальної ефективності даних паспортизації при оптимальній кількості технічних показників паспорта

Figure 4 – Algorithm for determining the maximum efficiency of certification data with the optimal number of technical indicators of the passport

Верхня межа ефективності визначається при мінімальній кількості технічних показників паспорта.

Нижня межа вартості – мінімальні витрати на паспортизацію, при якій ефективність функціонування ПАК знаходиться на рівні 90 % від максимального значення.

Верхня межа вартості - максимальні витрати на паспортизацію, при якій ефективність функціонування ПАК знаходиться на рівні 95 % максимального значення.

Результуюча функція ефективності (критерій ефективності K_E) паспортизації автомобільних доріг має вигляд:

$$K_E = f(B, C, K_j^{\text{заг}}, S, R_{\text{заг}}) \rightarrow \max \quad (4)$$

де B – витрати часу на збір даних про автомобільну дорогу (польові вишукування);

C – вартість обробки, систематизації, аналізу та наповнення даних паспорта автомобільної дороги (камеральні роботи);

$K_j^{\text{заг}}$ – коефіцієнт використання технічних показників;

$R_{\text{заг}}$ – ранг технічних показників;

S_i – рівень вагомості технічних показників.

Висновки

1. Розроблена ієрархічна кваліметрична модель для аналізу даних паспорта з урахуванням обраних критеріїв оцінки (суттєвість, якість вхідних даних тощо), що дозволить підвищити ефективність використання даних паспортизації автомобільних доріг.

2. Запропоновано економіко-математичну модель удосконалення паспортизації автомобільних доріг, що враховує основні фактори, які впливають на кінцевий результат - ефективність паспортизації та витрати на виконання робіт.

3. Відповідно до запропонованої економіко-математичної моделі удосконалення паспортизації автомобільних доріг з урахуванням прийнятих обмежень щодо ефективності виконання робіт (рівень ефективності та витрати), розроблено 2 алгоритми визначення ефективності даних паспортизації.

Перелік посилань

1. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України

2. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги

3. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану

4. Пальчик А.М., Тимошук О.Ю. Аналіз структури даних, що характеризують поточний стан автомобільних доріг. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». К.: НТУ, 2018. – Вип. 103, С. 084 – 089.

5. Сиденко В. М., Рокас С. Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1981.

6. Slavinska, O., Stozhka, V., Kharchenko, A., Bubela, A., Kvatadze, A. Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019, 1/9 (Vol.97), P. 46–59. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>

7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с

8. Тихомирова А. Н., Сидоренко Е. В. Модификация метода анализа иерархий Т. Саати для расчета весов критериев при оценке инновационных проектов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6009>

9. Кавешников Н. Т. Управление качеством продукции (на примере выполнения дорожно-строительных работ): учеб. пос. М.: Московский государственный университет природообустройства, 2000.

10. Data collection technologies for road management. Christopher R. Bennett, Hernán de Solminiach, Alondra Chamorro / The World Bank, Washington, DC. - Transport Note, No. 30 May 2006

USING QUALIMETRY APPROACHES TO ASSESS THE QUALITY OF ROAD CERTIFICATION DATA

Tymoshchuk Oleksandr Y., postgraduate, State Agency of Roads of Ukraine, head of the department of innovative development, e-mail: tymoshchuk.uad@gmail.com, tel. +38 (044) 287-31-23, Ukraine, 03150, Kyiv, Fizkultury street 57, Office 502.

Abstract. The article considers the possibility of using qualimetry approaches in determining the importance of factors influencing the effectiveness of the use of road certification data. A hierarchical qualimetric model has been developed for the analysis of passport data considering the selected evaluation criteria (materiality, quality of input data, etc.). Based on the developed model, algorithms for estimating certification data using the criterion of efficiency of the highway passport structure are proposed.

Keywords: road, qualimetry, certification, quality levels, technical indicators.

References

1. P-H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia Ukrainy
2. SOU 42.1-37641918-038:2016 Pasport avtomobilnoi dorohy
3. DSTU 3587–97. Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy, vulytsi ta zaliznychni pereizdy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu
4. Palchyk A.M., Tymoshchuk O.Iu. Analiz struktury danykh, shcho kharakteryzuiut potochnyi stan avtomobilnykh dorih. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». K.: NTU, 2018. – Vyp. 103, S. 084 – 089.
5. Sydenko V. M., Rokac S. Yu. Upravlenye kachestvom v dorozhnom stroitelstve. M.: Transport, 1981.
6. Slavinska, O., Stozhka, V., Kharchenko, A., Bubela, A., Kvatadze, A. Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019, 1/9 (Vol.97), P. 46–59. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>
7. Saaty T. Pryniatye rashchenyi. Metod analiza yerarkhyi. – M.: Radyo y sviaz, 1993. – 320 s
8. Tykhomyrova A. N., Sydorenko E. V. Modyfykatsiya metoda analiza yerarkhyi T. Saaty dlia rascheta vesov kryteriyev pry otsenke ynnovatsyonnykh proektov // Sovremennyye problemy nauky y obrazovaniya. 2012. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6009>
9. Kaveshnykov N. T. Upravlenye kachestvom produktsyy (na prymere vypolneniya dorozhno-stroitelnykh rabot): ucheb. pos. M.: Moskovskiy gosudarstvennyy unyversytet pryrodoobustroistva, 2000.
10. Data collection technologies for road management. Christopher R. Bennett, Hernán de Solminihaç, Alondra Chamorro / The World Bank, Washington, DC. - Transport Note, No. 30 May 2006

УДК 625.70

ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ БУДІВНИЦТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ В УКРАЇНІ

HISTORY AND PERSPECTIV OF CONSTRUCTION CEMENT-CONCRETE ROAD AND AIRFIELD PAVEMENT IN UKRAINE

„Historia est magistra vitae”. – „Історія вчитель життя”



Gameliak Igor Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, +380503524124, id ORCID 0000-0001-9246-7561.

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

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



Moroz Vladimir Sergeevich, Engineer of Scientific Production Association "Transengineering" Kiev, e-mail: ysmoroz1@gmail.com, +38093 610 59 95 ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9763-6213>

Мороз Володимир Сергійович, інженер НВО "Трансінжиніринг" м.Київ, e-mail: ysmoroz1@gmail.com, +38093 610 59 95

Анотація. Стаття присвячена аналізу досвіду будівництва автомобільних доріг з цементобетонним покриттям в Україні починаючи з кінця 40 - х років минулого століття даного часу. Наведено . типи конструкцій жорсткого дорожнього одягу, історичний огляд конструкцій автомобільних доріг та аеродромів з цементобетонним покриттям, найважливіші новації у конструкціях й технології дорожнього цементобетону. Наведено приклад підбору складу цементобетонної суміші для улаштування бетонного покриття автомобільних доріг.

Вступ. Як у загальноісторичних, так і в історико-технічних роботах питання розвитку автомобільних доріг до теперішнього часу приділяється недостатньо уваги. У опублікованих загальноісторичних роботах про гужеві і навіть автомобільні дороги говориться мало, в основному увагу приділяється водним шляхам і залізничному транспорту. Що відноситься до питання технологій будівництва автомобільних доріг, із застосуванням матеріалів та механізмів, вони в основному розглядаються лише в технічних роботах [1].

Історія будівельних робіт надзвичайно слабо досліджена історичною та дорожньою наукою. У той час є ряд робіт, авторами яких були інженери або вчені - дорожники, включаючи історичні дані є спеціальній науково-технічній літературі [2].

Ідея цієї статті з'явилася давно. Спочатку її актуальність була обумовлена ціновою конкуренто спроможністю цементобетонних покриттів, пов'язаною із значним ростом ціни на бітум та незначною зміною вартості цементу [3]. З іншого боку зі збільшенням інтенсивності руху на автомагістралях і кількості важких автомобілів у транспортному потоці об'єктивно виникають підвищені вимоги до

міцності й довговічності покриттів, безпеки руху транспортних засобів і їх мінімальному впливу на навколишнє середовище. Найбільшою мірою цим вимогам відповідають цементобетонні покриття.

Однак події останнього часу змусили поставити на перше місце в обґрунтуванні актуальності цієї статті іншу причину – енергетичну безпеку держави, яка забезпечується частковим заміщенням імпортованого бітуму або нафти, як сировини для його виробництва, на вітчизняний цемент.

Цементобетон – головний конкурент асфальтобетону. Термін служби 20 - 25 років до ремонту є звичайним для цементобетонних покриттів в США, а в Голландії, Німеччині та Австрії він часто перевищує 30 - 40 років, що приблизно в 2 - 3 рази більше міжремонтного терміну служби асфальтобетону.

Під жорстким розуміють покриття, жорсткість і міцність якого практично не залежать від температури, тривалості дії навантаження і вологості, і саме таким покриттям є цементобетон. Жорсткість і міцність асфальтобетонного покриття істотно знижуються з підвищенням температури або збільшенням тривалості дії навантаження.

Дорожній цементобетон – не панацея від двох споконвічних вітчизняних бід, як би кому з фахівців і користувачів доріг не здавалося інакше. Поширеність цементобетону на дорогах в усьому світі становить за різними даними лише від 10 - 60%.

Так дані поширення цементобетонних доріг в деяких розвинутих країнах такі:

- Німеччина – 12 тис. км або 25% доріг державного значення;
- США – 100 тис. км (в перерахунку на 2-х смугову - 400 тис. км);
- Україна – 2,1 тис. км менше 1,3%, а має бути не менше 25 ... 30% загальної мережі та 50% для доріг вищих категорій (рис. 1).

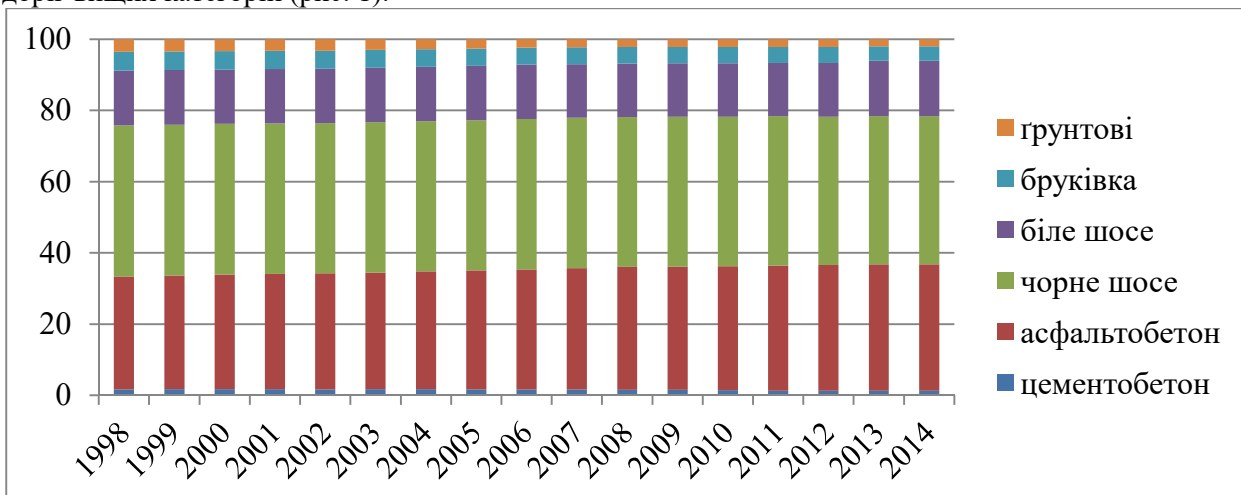


Рисунок 1 - Протяжність автомобільних доріг загального користування України за типом покриття

Figure 1 - The length of public roads in Ukraine by type of pavement

В Німеччині доля покриттів на мережі доріг цементобетон : асфальтобетон, становила в 70-х 70% :30%; 80 - х 60%: 40%, друга половина 90 – х 38% : 62%, тобто постійно зростала із збільшенням навантажень.

Мета статті – проінформувати фахівців і громадськість про досвід будівництва цементобетонних доріг починаючи з кінця 40 - х років минулого століття та надати найважливіші новації у конструкціях й технології дорожнього цементобетону.

1. Історичний огляд технологій

Перш ніж говорити про нове, згадаємо давно забуте старе.

Україна до 20 – х років минулого століття знаходилась у складі різних імперій на периферії, тому і розвиток доріг був відповідний. Основна транспортна артерія – ґрунтовий Чумацький Шлях з Криму в центр і на західну Україну, через який поставлялась сіль, перевозились продукти і хліб занепавав через стан доріг, які ставали непроїзними в період весняного та осіннього бездоріжжя та через розвиток залізниці у 70 – 80 х рр. минулого століття. Поява автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння в кінці 1890-х та наступна автомобілізація спричинили бурхливий розвиток доріг, в тому числі з цементобетонним покриттям.

У 1892 - Балефонтен (США – штат Огайо) побудовано спочатку пішохідну доріжку, а потім вулицю з цементобетонним покриттям. Склад цементобетону Ц: П: Щ = 1: 1,5: 3; Перша сучасна бетонне покриття міських вулиць побудовано у 1905 р. в Чикаго та в 1909 р. у Детройті, США. Ділянки довжиною біля 1,6 км прослужили 60 років. Ця подія відзначена як століття появи перших бетонних доріг.

Перші рекомендації щодо будівництва бетонних покриттів вийшли 1925 рік.

Перше аеродромне бетонне покриття побудоване в штаті Мічіган у 1928 р. та шт.. Огайо в 1929 р.

Перша мережа бетонних магістралей (приблизно 14 000 км) 1926–1933 (Німеччина) [3]. В США на 1930 р. було побудовано 59 064 км доріг із бетону на портландцементі [4].

Перші рекомендації щодо будівництва бетонних магістралей - 1933 рік.

На той момент в СРСР рекомендувалось будувати ґрунтові дороги [7]. Успіхи провідних країн були побачені і на початку третьої п'ятирічки (мала тривати з 1938 по 1942 роки) в бувшому СРСР почалося будівництво доріг з покриттям із цементобетону. Однак на умовах місцевих морозів при перезволоженні ґрунтів, неоднорідності неукріпленої основи із піску, укладання бетонних плит товщиною 18-24 см, з'єднаних арматурою, виявилось невдалим: покриття швидко руйнувались [7]. Перші аеродроми із шестигранних бетонних плит будувались після 1945 року (аеропорт Жуляни). (Аеропорт Бориспіль – ШЗПС військового сектору, розібрана БУ-813 в процесі реконструкції).

Перша дорога з цементобетону почала будуватися в 1949 році на ділянці Київ – Ковель в Волинській області (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2 – Стан цементобетонного покриття через 70 років експлуатації автодороги Київ – Ковель км. 50+300 (2004 рік): а) ділянка в хорошому стані; б) на високому насипі з поздовжніми тріщинами

Figure 2 - Condition of cement-concrete pavement after 70 years of operation of the highway Kyiv - Kovel km. 50 + 300 (2004): a) the plot is in good condition; b) on a high embankment with longitudinal cracks

Бетонні дороги в Україні, як і у всьому колишньому СРСР, порівняно активно почали розвиватися в 1960-1980-х роках. У чисельному вираженні активно – це сотнями й тисячами кілометрів, а не десятками, як було до цього на передодні Другої світової війни.

Поштовхом послужив візит у США генсека Микити Хрущова. Він був вражений якістю й поширеністю бетонних доріг і по поверненню додому розпорядився закупити американський бетоноукладальний комплект із ковзкою опалубкою. Щоб поширити цю справу на практиці, вітчизняне машинобудування по образу й подоби цієї чудо-техніки налагодило виробництво бетоноукладачів з ковзкою опалубкою, профілювальників і швонарізників (зі слів одного з вітчизняних фахівців-практиків у дорожньому бетоні С.М. Португальського).

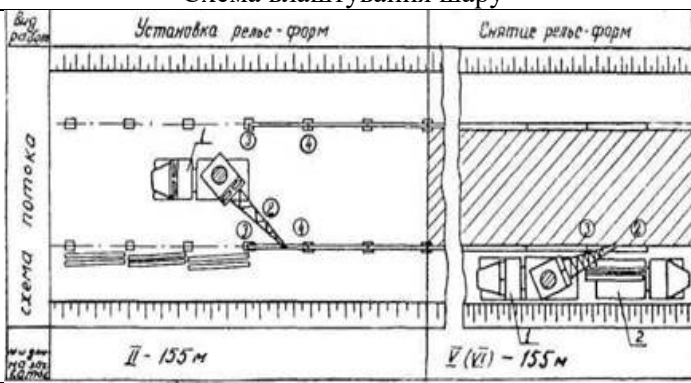
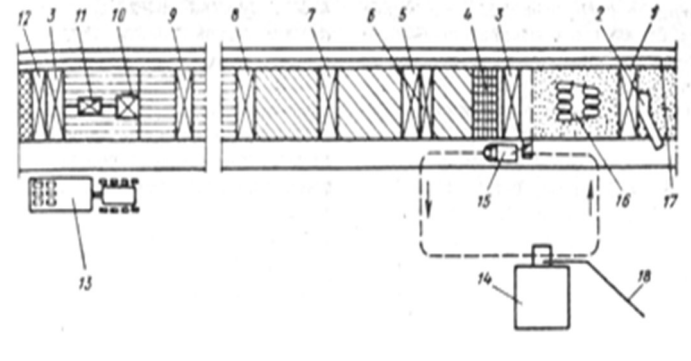
До середини 70 -х років влаштування бетонного покриття здійснювалось в рейкоформах. Виробником комплекту рейкових машин для будівництва цементобетонних покриттів продуктивністю 250 м / зміну був Коростенський завод дорожніх машин “Жовтнева кузня”, який забезпечував продукцією весь СРСР [9]. В комплект входили: профілювальник основи ДС -502А (Д 345А), і ДС -502Б (Д 345Б), розподілювачі цементобетону ДС -503А (Д 375А), і ДС -503Б (Д 375Б), машини опоряджувальні (ДС -504А (Д 376А), і ДС -504Б (Д 376Б), рейкоформи Д-280-4М, наріжчик швів ЛС – 510 (Д-903). Модифікація машин А - для укладки смуги шириною 7,0 м, а Б – 7,5 м. Робоча довжина

рейкоформи із замком 4,0 м, загальна маса всієї ланки рейкоформи із з'єднаннями і клином 171,3 кг. Процес укладання рейкоформ та виставлення необхідної рівності дуже трудомісткий, тому паспортна продуктивність ніколи не досягалась (табл. 1). Перевагою будівництва в рейкоформах було те, що вимоги до бетонної суміші, при тогочасній якості добавок, по легкоукладальності та складу були менш строгі, ніж при будівництві комплектом машин Autograde, який завезли з США та отримав поширення з 1974 р.

Вже з другої половини 70-х було налагоджено виробництво гусеничних машин для швидкісного будівництва автомобільних доріг ДС – 100 на Брянському заводі дорожніх машин [10]. До кінця 80 – х на основі досвіду будівництва було сформовано нормативну базу та затверджено відповідні стандарти.

Таблиця 1 – Порівняння технологій влаштування цементобетонних покриттів

Table 1 - Comparison of technologies for the installation of cement-concrete pavements

Схема влаштування шару		Характеристики	Обладнання
		60-80роки Улаштування ц/бетонного покриття рельсовим комплект ДБО- 7,5. Продуктив- ність 30 м³/год (L =100-120 м за зміну. дороги шириною 7,5 м)	1.Бетоноукладальна машина ДБО-7,5; 2.Нарізчик швів ДНШС-60-3М; 3.Бетоноупоряджув альна машина ЭНЦ-3 для розподілу плівкоутворюючих матеріалів
		70-90 роки Швидкісне будівництво комплект ДС100 в ковзних формах. Ширина b=7,5м. Товщина h= 26см. Продуктивність 120-150 м³/год. (L =500м дороги шириною 7,5м/зміна)	1, Бетонорозпо- дільник ДС-98, 2. Бетоноукладальник ДС-100, 3.Бетоноупоряджув альна машина ДС- 105

Недоліки улаштування цементобетонного покриття рейковим комплектом.

1. Велика кількість трудовитрат по влаштуванню рейкоформ, та бетонного покриття (до 100 робітників).
2. Низька продуктивність бетоноукладальної техніки.
3. Нарізання швів ножом з закладкою Ізолу, та нарізчиками з ДНШС-60-3М з фронтальним різанням.

Перевага швидкісного будівництва.

1. Винахід бетоноукладача з ковзною опалубкою на гусеничному ході (перший запрацював у 1949 р. в шт. Айова, США), стало революцією в технології будівництва бетонних покриттів, автоматизувало всі робочі процеси укладання бетону. Такі укладальники забезпечені автоматичною системою положення робочих органів на заданому проектному рівні, що забезпечує стабільну необхідну рівність покриття ± 5 мм, та товщину з допуском ± 1 см.

2. Винахід нарізчика швів з боковим різанням на глибину $1/3$, $1/4$ h, та на всю глибину алмазними дисками.

Недоліки. Неможливість роботи в стиснених умовах. Необхідний ретельний підбір складу жорсткої суміші з обов'язковим використанням добавок пластифікаторів та повітровтягуювальних добавок для забезпечення стійкості стінок краю покриття після проходження ковзної опалубки.

Необхідне ретельне вібрування суміші з використанням глибинних вібраторів. Питання укладання швів розширення є стримуючим в традиційній технології швидкісного будівництва.

Слід зазначити, що купивши укладальники, не придбали цементобетонні заводи (СБ-164 (циклічної дії) – продуктивність 120 м³/год по типу американського РЕКСА (груша 6 м³), СБ-109 (неперервної дії) – 120...140 м³/год, СБ-118 (неперервної дії) – 220...240 м³/год – установки були в системі Мінтрансбуду зокрема і у БУ-813 – СБ164 та СБ109 – загальна продуктивність 200 м³/год). Відтак користувалися заводами вітчизняного виробництва продуктивністю кілька сотень кубічних метрів у зміну, тоді як продуктивність укладальних комплектів становила тисячу – дві кубометрів бетону за зміну. У такий спосіб виник дисбаланс між продуктивністю ланок одного технологічного ланцюга, що не дозволило в постійному й стабільному режимі підтримувати високі (до 1 км у зміну) темпи укладання бетону в дорожнє полотно, як дозволяє продуктивність ведучої машини.

Займатися будівництвом бетонних доріг у ті часи було доручено переважно підприємствам Мінтрансбуду СРСР, який був оснащений як найкращою технікою, у тому числі закордонного виробництва, так і висококваліфікованими інженерами.

Будівництво бетонних доріг насамперед розгорнули на важливих і напружених у транспортному значенні напрямках. Прикладом такого роду можна назвати дорогу Москва-Сімферополь, Москва-Волгоград і багато інших. На території України на дорозі між Харковом і Новомосковськом, яка колись була частиною дороги Москва-Сімферополь, ми ще сьогодні можемо побачити порівняно протяжні ділянки з бетонним покриттям (більше 100 км).

Іншим місцем, де були поширені бетонні дороги стали важкодоступні й складні за ґрунтово-геологічними умовами будівництва місцевості. Будувались вони також за напрямками можливого перекидання важкої військової техніки до західних кордонів країни. Такими прикладами є ділянки доріг по напрямках Київ-Ковель-Ягодин, Київ-Чоп (на ділянці Київ-Житомир), Київ-Обухів, ділянка колишньої Волгоград-Кишинів (зараз Кіровоград-Платоново), Київ-Москва (зараз Кіпти-Глухів-Бачівськ), Київ-Суми й інші.

Таким чином, на момент проголошення незалежності Україні дісталось близько 3 тис км доріг з бетонним покриттям (рис.1). У більшості випадків їх вже ремонтували, влаштовуючи поверх бетонних покриттів шар зносу або захисний шар (асфальтобетон або поверхневий обробки). Такі дії були викликані необхідністю «підрівняти» плити й тим самим підвищити рівність й комфортність руху по них, а також збільшити зчеплення поверхні бетонного покриття.

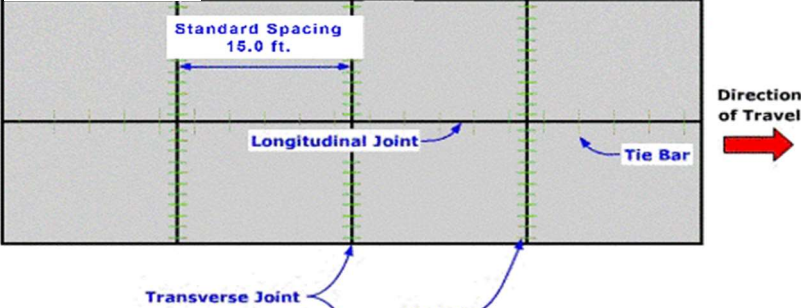
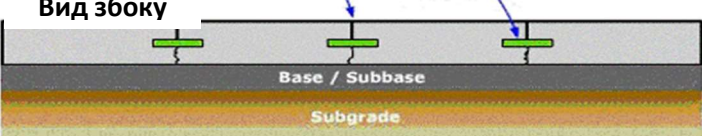
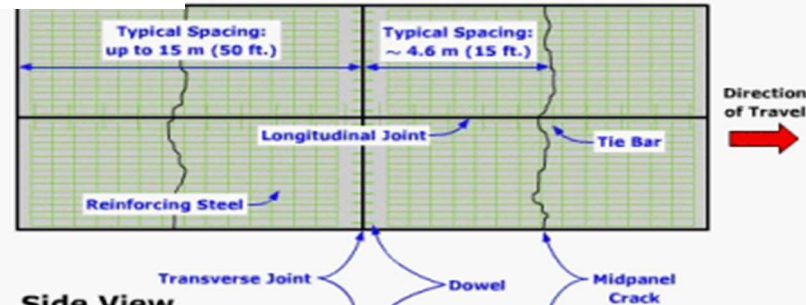
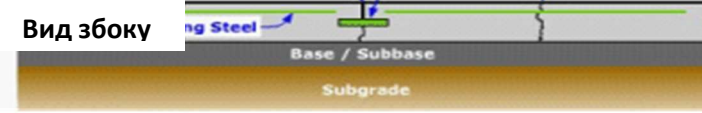
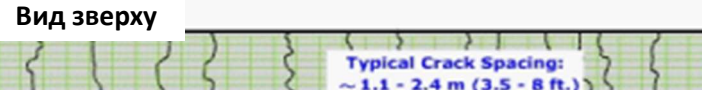
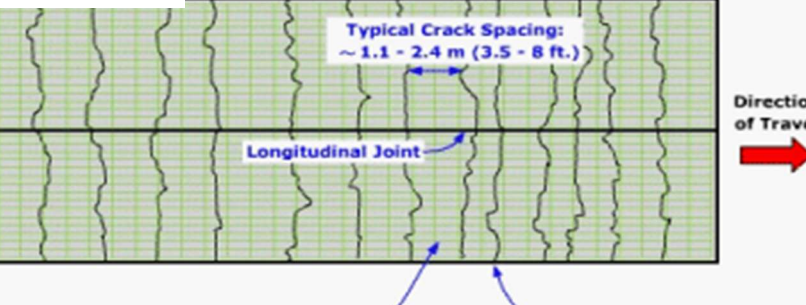
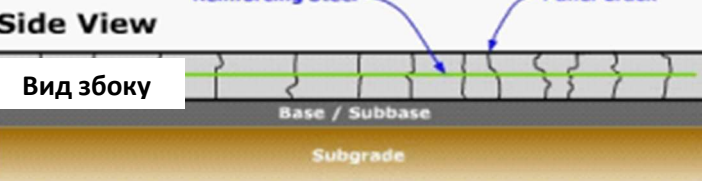
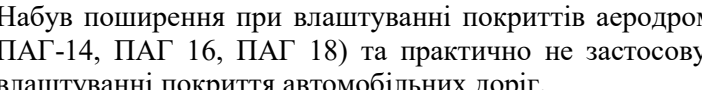
У розумінні водіїв бетонки асоціюються з міцною, але часто не комфортною дорогою через нерівності в місцях стикування плит. Експлуатаційникам вони також доставляли багато турбот з ремонтом швів або дефектів, які найчастіше утворювалися саме в цих конструктивних елементах. Іноді влітку при розширенні плит їх могло покоробити, причиною чого є «відмова» швів розтягу через їх конструкцію та забруднення.

Проте, досвід експлуатації дорожніх бетонних покриттів починаючи з 1960-х років показав, що вони є найбільш довговічними з тих, що застосовують на сьогодні дорожники в Україні. Хоча вони й розраховувалися на термін служби 25 років, фактично вони вже прослужили 30-50 років. І коли товщина покриття відповідає умовам руху, а основа під покриття міцна, надійно загерметизовані деформаційні шви, навряд чи були б до нього претензії.

Однак на початку нового тисячоліття поява нових технологій цементобетону (поява сучасних відносно недорогих суперпластифікаторів), а також підвищення навантажень і інтенсивності руху автотransпортних засобів відродили інтерес до дорожнього цементобетону в Україні. У 2003 році на ділянці дороги Київ-Чоп (обхід м. Житомир) вперше після близько 20-ти річного забуття було влаштовано таке покриття товщиною 26 см. Ділянка довжиною 22,5 км була реконструйована за два місяці (початок 24 серпня – 7 листопада закінчення). Середній темп укладання – 500 п.м шириною 9 м. Бетоноукладач Wirtgen SP-850). Автори мали честь працювати разом з інженерами-ентузіастами, які відновили культуру дорожнього бетону на наших дорогах, а саме: С.М. Португальський, М.І. Погребняк, І.Д.Тодоров, С.А.Чернишов, М.В. Березовський, В.В.Мельниченко, С.З. Харченко, Є.Д. Прусенко, М.І. Якименко, Я.Г. Яремчук та багато інших. Є сподівання, що в найближчі роки держава зверне увагу на цементобетон як на один зі способів забезпечення енергетичної безпеки й буде розгорнуто широке будівництво нових автомобільних доріг з цементобетонним покриттям, особливо на маршрутах руху великовагових транспортних засобів. У зв'язку із цим доцільно дати короткий огляд нових технологій цементобетону і їх застосування при будівництві дорожніх покриттів у США та Західній Європі.

2. Типи конструкцій жорсткого дорожнього одягу

Таблиця 2 – Порівняння типів цементобетонних покриттів
Table 2 - Comparison of types of cement-concrete pavements

Схема	Тип ЦБ покриття
Вид зверху  Вид збоку 	Монолітний цементобетон (JPCP – Jointed plain concrete pavement) ■ поперечні шви на відстані близько 5 м один від одного ■ зі сталевими штирями в поперечних швах і анкерними штирями в поздовжніх.
Вид зверху  Side View  Вид збоку 	2. Армований цементобетон, залізобетон не напружуваний (JRCP – Jointed reinforced concrete pavement) ■ поперечні шви на відстані від 9 до 12 м ■ плити армуються сталевною сіткою, яка повинна стримувати розкриття поперечних тріщин ($K_a=0,3-0,5$), ■ зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх.
Вид зверху  Side View  Вид збоку 	3. Неперервно-армований цементобетон (CRCP – Continuously reinforced concrete pavement) Без поперечних швів Велика кількість поздовжньої арматури впливає на відстань між виникаючими поперечними волосяними тріщинами (~ 1,5 м). Арматура запобігає їхньому розкриттю ($K_a=0,5-0,7$). Їхня товщина зазвичай рівна 85-90% від товщини монолітних цементобетонних покриттів.
Набув поширення при влаштуванні покриттів аеродромів (плити ПАГ-14, ПАГ 16, ПАГ 18) та практично не застосовується при влаштуванні покриття автомобільних доріг.	4. Збірний попередньо напружений залізобетон

Конструкції жорсткого дорожнього одягу постійно вдосконалюються, відповідно до транспортних навантажень та мають характерні особливості. На сьогодні у практиці світового дорожнього будівництва застосовують три типи монолітних цементобетонних покриттів (табл. 2).

Перший із них – цементобетон з поперечними швами на відстані близько 5 м один від одного зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх (JPCP – Jointed plain concrete pavement). Їх називають цементобетонними покриттями звичайного типу або монолітним цементобетонним покриттям.

Другий тип – армований цементобетон (залізобетон) з поперечними швами на відстані від 9 до 12 м зі сталеною сіткою, яка повинна стримувати розкриття поперечних тріщин, і зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх (JRCP – Jointed reinforced concrete pavement). Третій тип – неперервно-армований цементобетон без поперечних швів, у якому арматури більше, ніж в армованому цементобетоні (CRCP – Continuously reinforced concrete pavement).

Велика кількість поздовжньої арматури впливає на відстань між виникаючими поперечними волосяними тріщинами (яке може становити порядку 1,5 м). Арматура запобігає їхньому розкриттю. Часто ці безшовні покриття армують і в поперечному напрямку. Їхня товщина зазвичай рівна 85-90% від товщини цементобетонних покриттів звичайного типу для тих же умов роботи.

В Україні при будівництві автомобільних доріг набув поширення виключно тип I – монолітні цементобетонні покриття з армуванням в зоні швів. Для влаштування покриттів ЗПС та магістральних доріжок аеродромів в рівній мірі поширено як монолітні так і армобетонні покриття і є ряд аеродромів із покриттям з збірних залізобетонних аеродромних плит (аеропорт Жуляни -шестигранні плити в основі з 2-ма шарами асфальтобетону покриття, аеропорт Луцьк - в два шари) тощо).

Прошарок між бетоном і цементовмісною основою. У минулому в Німеччині прагнули забезпечити зчеплення між цементобетоном і розташованою під ним основою, що містила цемент. Зараз, навпаки, щоб відокремити цементобетонне покриття від укріпленої цементом основи.

Використовують тонкий шар гарячої асфальтобетонної суміші або полотно з геотекстилю товщиною близько 3-5 мм (поверхнева щільність 400-500 г/м²).

Основи під цементобетонне покриття. До 1960 р. основи під цементобетонні покриття продовжували влаштовувати із піску, бо вважалося що маючи велику жорсткість бетонна плита не чутлива до міцності основи. При швидкому остиганні, краї бетонних плит піднімаються. В результаті цього дощова вода з узбіч та через незаповнені шви та тріщини в покритті проникає в піщану основу під плитами та фільтруючись через пісок замочує ґрунт земляного полотна. При проїзді важких транспортних засобів під впливом динамічного навантаження воді із під країв покриття та швів вижимається. Разом з водою із основи виноситься пісок та ґрунт переміщується з піском. Таким чином, вздовж країв покриття та особливо в зоні швів і тріщин, поступово порушується щільне та однорідне обпирання плит. Тому з 60 – х років почали влаштовувати покриття із ґрунту укріпленого цементом. Дослідження проведені в США показали, що цементоґрунт з часом руйнується через недостатню морозостійкість, тому з 90 – х років м.с. під цементобетонні покриття рекомендується використовувати основу із пісного бетону, оптимальних сумішей укріплених комплексними в'язучими або цементом. З початку 2000-х в каталогах багатьох країн в якості основи рекомендується використовувати асфальтобетон товщиною 7 – 15 см в залежності від категорії навантаження.

У якості основи під цементобетонне покриття використовують пісний цементобетон, пористий асфальтобетон, щебенево-піщані суміші, фракціонований щебінь. У Канаді для основи під цементобетонне покриття застосовують високопористий асфальтобетон, а в Європі віддають перевагу щільному асфальтобетону в основі або щебенево-піщаній суміші, укріпленій цементом. Укріплений цементом ґрунт більше не рекомендують використовувати в якості основи в ряді штатів США (наприклад у Каліфорнії) і в Європі, зокрема, у Німеччині. У минулому в Німеччині прагнули забезпечити зчеплення між цементобетоном і розташованою під ним основою, що містила цемент. З кінця 60 – тих років минулого століття, навпаки, щоб відокремити цементобетонне покриття від укріпленої цементом основи (наприклад, від пісного бетону або від обробленої цементом щебенево-піщаної суміші), використовують тонкий шар гарячої асфальтобетонної суміші або полотно з геотекстилю товщиною близько 5 мм. Досвід показав, що, хоча геотекстиль просочується цементним молоком, він усуває зчеплення між покриттям і основою.

Таким чином, причиною пошкодження поперечних швів є не лише їх стан та герметичність, а й міцність та деформативність основи. На краях плит від сукупної дії навантаження та перепадів температур на поверхні та нижній грані бетонної плити протягом навіть доби виникає так званий «клавішний ефект». В результаті такого процесу відбувається поступове деформування та руйнування

основи саме в цих місцях, і, як наслідок, плита або значно переміщається в таких місцях без руйнування, або тріскається. Небезпеку підвищує розгерметизація шва, яка забезпечує проникнення води у простір між плитою та основою й теж пришвидшує руйнування. Саме щоб запобігти цим проблемам з цементобетонними покриттями за кордоном й будують міцні монолітні основи.

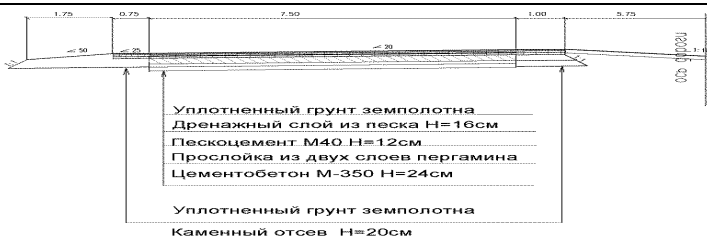
Щодо вітчизняної практики дорожнього будівництва, то за останні десять років застосовувалися лише покриття першого типу – цементобетон з поперечними швами на відстані близько 4,5 м один від одного зі сталевими штирями в поперечних швах і з анкерними штирями в поздовжніх. Основою бетонної плити поки що був ґрунт укріплений цементом, але в нових проектах вбачається тенденція до застосування пісного бетону та піщано-щебеневих сумішей оброблених цементом. Як і за кордоном, у вітчизняних проектах передбачається відокремлення бетону від цементовмісної основи шляхом укладання поліетиленової плівки або геотекстилю товщиною 3-5 мм.

3. Історичний огляд конструкцій цементобетонних доріг

Типи конструкцій цементобетонних доріг з 1949 по 2014 р. наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Характерні конструкції жорсткого дорожнього одягу основних автомобільних доріг загального користування

Table 3 - Characteristic design of rigid pavement of the main public roads

Конструкція дорожнього одягу	Автодорога
Монолітний цементобетон М 350 товщиною 18 - 22 см. Шар вирівнювання із піску - 5 см. Стабілізований шар (ґрунт укріплений цементом, або дьогтеґрунт, шлак) 13 – 18 см. Ґрунт земляного полотна.	1949 Київ – Ковель Волинська обл. Міноборони в подальшому з 1954 р. Мінтрансбуд (Київська обл. 1978 р.)
	Обхід м. Львова, 1972 р.
	Кіровоград - Кишинів, 1975 р.
	Київ – Обухів, 1970 р.
	Конструкція автодороги Москва-Сімферополь на дільниці «Обхід Новомосковська» 1970-2014р. 1-а категорія Підрядник - СУ 813, Керівник Португальський С.М.
	Конструкція автодороги Київ-Ковель-Ягодин на дільниці км 79-км 245, Київ-Чоп на дільниці «Обхід м. Житомира» км 122-145. 1960, 1994р. 3-я категорія Підрядник - СУ 813, Керівник Португальський С.М.

4. Історичний огляд конструкцій аеродромних покриттів

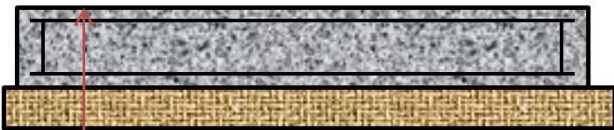
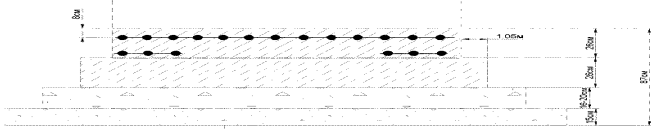
Аеродромні покриття починаючи з 1945 року будувались традиційно із цементобетону силами полонених німецьких інженерів (Жуляни, Львів, Житомир і т.п.).

В подальшому ця практика була поширена практично для всіх регіональних аеропортів (Тернопіль, Херсон, Чернівці, Миколаїв, Полтава тощо).

Справедливо було б зазначити, що сучасні конструкції і технології дорожнього цементобетону прийшли в Україну із Європи через аеродромне будівництво. Першим прикладом була у 2001 році реконструкція злітно-посадкової смуги №1 Міжнародного аеропорту «Бориспіль», де застосовувалися конструкції аеродромного одягу та технології запозичені із Німеччини.

Наступними були аеродроми Міжнародних аеропортів «Донецьк» (2007-2012), «Львів» та «Харків» (2009-2012). Саме тут піднімалися на новий рівень досвідчені ПАТ «БУ-813» і зростали у фаховому плані ТОВ «Шляхове будівництво «Альтком» та ТОВ «Спецбудбетон» (Альтис).

Таблиця 4 – Приклади конструкцій аеродромного одягу
 Table 4 - Examples of aerodrome pavement designs

Конструкція аеродромного одягу	Коротка характеристика
Бориспіль. Довжина ШЗПС-2 L=3500м. Ширина B=63м. Товщина покриття h=0,26м.(Плита 7х20) 	Конструкція покриття ШЗПС ДМА Бориспіль: - залізобетон В 27,5 М 350; - ґрунтобітумний прошарок h=5–10см.
Одеса, Жуляни Довжина ШЗПС 2800м Ширина b=58м h=0,26 см 	Конструкція покриття ШЗПС Одеса, Жуляни (Київ): - цементобетон В 27,5 М 350; - вирівнюючий шар із піску h=5см.
Товщина покриття h=0,26м.(Плита 7,5х15) 	Конструкція армобетонного покриття ШЗПС №2 Сімферополь: - армобетон В 30 М 400; - розділовий прошарок із 2-х шарів пергаменту; - цементобетон В 30 М 400; h=0,26м; - пісний бетон В 5 М 75; h=0,20м; - ґрунтоцемент М40 ; h=0,15м; Ущільнене корито природної основи.

5. Нова сторінка цементобетонних покриттів. Перші за часів незалежності України 20 км дороги з бетонним покриттям, було влаштовано ПАТ «БУ-813» при виконанні капітального ремонту дороги Київ-Чоп (обхід міста Житомир) у 2003-2004 роках. Наступним проектом Житомирської САД та цього ж підрядника був капітальний ремонт дороги державного значення Київ-Ковель-Ягодин в межах області від км 80 до км 245.

Таблиця 5 – Історичні відомості про об'єкти будівництва бетонних доріг за роки незалежності (2004 – 2014 рр.

Table 5 - Historical information on the construction of concrete roads during the years of independence (2004 - 2014).

Об'єкт	Розташування	Роки
1. Будівництво і реконструкція Літньої Зони №1 ДМА Бориспіль	- ШЗПС №1 L=4000м B=60м H=90см S=750 тис.м². - Перонів S, F, D S=750 тис.м².	1994-2001 р.р.
Будівництво і реконструкція ДМА Харків	- ШЗПС L=2500м B=60м H=85 см. - Перону S=103 тис.м².	1997-2014 р.р.
3. Реконструкція автодороги Київ - Чоп М-05 на ділянці «Обхід Житомира»	На ділянці Км. 122,5 - км. 145. L=22.5 км.	2009-2012 р.р.
4. Реконструкція автодороги Київ-Ковель Ягодин М-06	На ділянці км.80 - км.245. L=165 км.	2009-2011 р.р.
		2004 р.
		2004-2013 р.

Слід зазначити, що до ремонту на цій ділянці дороги існувало два типи дорожнього одягу: нежорсткий – 15 км з асфальтобетонним покриттям (км 80 – км 95) і жорсткий – монолітні бетонні плити товщиною 22 см на ґрунтоцементній основі (км 95– км 245). Обидві ділянки були капітально відремонтовані із застосуванням монолітних бетонних покриттів першого типу.

На ділянці км 80 – км 95 асфальтобетон із поверхневими обробками був регенерований на місці ресайклером WirtgenWR 4200 з додаванням цементу, бітумної емульсії й нових кам'яних матеріалів. Тобто нежорстке покриття було перетворене холодним способом в напівжорстку основу, по якій укладали покриття із цементобетону марки М500 товщиною 24 см. Характерно, що на цій ділянці

поверх бетонної плити відразу була влаштована поверхнева обробка за технологією Мультимак (Microsurfing). Таке рішення мало на меті підвищити зчепні якості поверхні покриття, оскільки ділянка дороги пролягає у складній місцевості з точки зору утворення ожеледиці.

У випадку, коли існуюче покриття було теж бетонним, його спочатку руйнували механічним способом (за допомогою гільйотини), потім основу із битого бетону ущільнювали й влаштовували вирівнюючий шар із ґрунтоцементу товщиною до 30 см. А вже потім бетоноукладачем з ковзкою опалубкою Wirtgen SP850 укладали на всю ширину проїзної частини нове цементобетонне покриття товщиною 24 ... 26 см. Нарізку монолітного бетону виконували через 4,5 м. Поперечні і поздовжній (по осі) шви армовані сталевими дюбелями обробленими полімерною краскою діаметром АІ d 22 мм. Через кожні 400 м були влаштовані шви розширення, конструкція яких запозичена з Німеччини.

6. Сучасний стан будівництва дорожнього цементобетону

На сьогоднішній день в Україні запроваджується будівництво доріг із цементобетонним покриттям. Перша, за останні 10 років, така дорога будується в Полтавській області – Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка. З 2019 року започатковано, а з 2020 року заплановано продовжити роботи на одній із найскладніших доріг в Україні – Н-14 Кропивницький – Миколаїв. Ця дорога буде побудована з цементобетонним покриттям.

Таблиця 6 - Дані про підрядні організації та відповідальні особи на кожній з ділянок будівництва цементобетонного покриття автомобільних доріг

Table 6 - Data on contractors and responsible persons at each of the construction sites of cement-concrete pavement of roads

Ділянка авто мобільної дороги	Генпідрядник / Субпідрядник	Відповідальні особи з проектування влаштування цементобетонного покриття	Період будівництва покриття
Автомобільна дорога Н-14 Олександрівка - Кропивницький - Миколаїв			
км.153+196- км.161+204	ТОВ "Європейська дорожньо- будівельна компанія".	Пшеничний Андрій Петрович (керівник проекту), Зіненко Сергій Сергійович (директор), Бобух Роман Миколайович (керівник дільниці), Щерба Ігор Олександрович (начальник технічного відділу).	2021
км.161+204 - км.162+338	ВАТ "Будівельно-монтажний трест №8". Субпідрядник з влаштування цементобетонного покриття - ТОВ "Європейська дорожньо-будівельна компанія".		2019
162+338 - км.165+000	ТОВ "Шляхове будівництво "АЛТКОМ". Субпідрядник з влаштування цементобетонного покриття - ТОВ "Європейська дорожньо-будівельна компанія".		2019
км.172+000 - км.175+000			2019
км.175+000- км.190+000	ТОВ "Європейська дорожньо- будівельна компанія".		2020
Автомобільна дорога Н-31 Дніпро - Царичанка - Кобеляки - Решетилівка			
км.129+400- км.131+150	ТОВ "Шляхове будівництво "АЛТКОМ" Субпідрядник з влаштування цементобетонного покриття - ТОВ "Європейська дорожньо- будівельна компанія"	Зіненко Сергій Сергійович (директор), Бобух Роман Миколайович (керівник дільниці), Вольвач Анна Миколаївна (інженер технічного відділу)	2018-2020
км.150+000- км.155+000	ТОВ "Шляхове будівництво "АЛТКОМ" Субпідрядник з влаштування цементобетонного покриття - ТОВ "Європейська дорожньо- будівельна компанія".	Зіненко Сергій Сергійович (директор), Бобух Роман Миколайович (керівник дільниці), Юречко В'ячесла Анатолійович (виконроб), Вольвач Анна Миколаївна (інженер технічного відділу).	2020-2021

Наприкінці 2019 року в Полтавській області відбулося з'єднання правого проїзду частин бетонної дороги Н-31 Дніпро-Царичанка-Кобеляки-Решетилівка, виконаних двома підрядниками – Onur і “ТОВ “Шляхове будівництво “АЛБТКОМ” (табл. 6). 147-кілометрова національна автодорога була побудована в 1960-х роках. Сьогодні частина старої асфальтної дороги перетворюється в сучасну 4-смугову цементобетонну магістраль.

На будівництво 80-кілометрової ділянки з двома масштабними транспортними розв'язками, що почалося у 2017 році, відводиться 5 років. Зараз рух вже відкрито на ділянці в 15 км по різних шарах бетону по правому проїзду. Загальна вартість дороги – близько 12 млрд. грн. Фінансування – держбюджет.

2019 рік для “Автомагістралі-Південь” став роком технічного переоснащення. З кінця серпня 2019 на автодорозі Н-14 “Олександрівка-Кропивницький-Миколаїв” в межах Миколаївської області працює новий бетоноукладач WIRTGEN¹ SP 124. Влаштовано верхній шар покриття на ділянці км 165-км 172 даної дороги. Новим бетоноукладачем уже влаштовані перші кількাসот метрів покриття цементобетонної дороги. Протяжність ділянки з бетонним покриттям по Н-14 – 45,6 км.

Крім Н-31 і Н-14, за цементобетонною технологією робиться реконструкція об'їзної Житомира на М-06 Київ-Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород) на ділянці км 129+600 – км 151+730, Житомирська обл.

Цементобетонне покриття II – ї категорії знаходиться в межах старого покриття. Додатково виконана присипка (поширення ЗП) на 1м узбіччя для досягнення ширини з параметрів III – ї категорії 12 м до 14,5м як для II – ї категорії.

Конструкція нового покриття включає вирівнюючий шар із ґрунтоцементу марки М 40 товщиною 18 см. Покриття із монолітного цементобетонну класу міцності на стиснення В 40, на розтяг при згині B_{btb} -4,4 товщиною 26 см.

Розмір бетонних плит після реконструкції становить 4,5 м (довжина)×4,5 м (ширина). Шви розширення не виконувались. Замість них через кожні 150 ... 450 м влаштовані компенсаційні шви в кінці робочої зміни. Це рішення було в той час новим для практики дорожнього будівництва. При влаштуванні швів використовували той же склад цементобетону тільки за рахунок додавання води збільшувалась легкоукладальність сумішей до ПЗ.....П4 з осадкою конуса 10...14 см. У результаті цього міцність бетону зменшилась до класу міцності В 25....В 30 і зона швів є слабким місцем в конструкції.

Автомобільна дорога була введена в експлуатацію в 2005 році і практично через рік почали утворюватись поздовжні тріщини на відстані 1,5-2 м від краю бетонної плити. Для захисту конструкції від попадання через тріщини в основу поверхневих вод у 2006 р. на першій ділянці довжиною 12 км було влаштовано тонкошарове покриття (ТШП) із емульсійно-мінеральної суміші Мультимак (підрядник фірма Бітунова – України). Цей захід дозволив сповільнити темп наростання тріщиноутворення, яке становить менше 10...15% на захищеній ділянці. При цьому тріщини в основному волосяні. На ділянці без ТШП загальна довжина тріщини досягає до 40% від протяжності дороги. Розкриття тріщин до 1 ... 3 см. У процесі експлуатації автомобільної дороги догляду за технічним станом практично не було, а заходи по експлуатаційного утриманню швів не проводилися. Стан заливки швів бажає кращого, що пов'язано з відсутністю якісних недорогих мастик і заливщиків швів. Це призводить до проникнення води через тріщини покриття, яка далі через тріщини укріпленої основи проникає в ґрунт земляного полотна.

У 2010 р. виконано проект переведення дороги в І-б категорію з використанням існуючого профілю. Передбачено влаштування шару зносу із тонкошарового покриття із емульсійно-мінеральної суміші типу Slurry Seal товщиною 0,02 м.

Зазначимо, що найвідоміша цементно-бетонна дорога в Україні — це автомобільна дорога міжнародного значення «Варшавка» довжиною 487 кілометрів. Вона з'єднує Київ—Ковель та контрольно-пропускний пункт «Яготин».

Конструкція нового покриття включає вирівнюючий шар із ґрунтоцементу марки М 40 товщиною 16 см. Покриття із монолітного цементобетонну класу міцності на стиснення В 40, на розтяг при згині B_{btb} 4,4 товщиною 26 см.

7. Склади цементобетонну. Приклад підбору складу цементобетонну виконаний відділом цементобетонних покриттів ДерждорНДІ (к.т.н. Харченко С.З.) наведено нижче. За даними випробувань середнє значення міцності на стик становить $R_{cm}=53$ МПа, а коефіцієнт варіацій близький до середньо галузевого $C_v=13,5\%$.

За легкоукладальністю цементобетонна суміш відносилась до марки Ж1.

Суміш підібрана в відповідно до ДСТУ Б В.2.7-215 і становила на 1 м³:

- портландцемент ПЦ М 400 Д0 Ц – 420 ... 440 кг;
- щебінь гранітний (фр. 5 -10, 10 -20 та 20 – 40 мм) Щ – 1300 кг;
- пісок середній з Мк 2,9 – П – 560 кг;
- Добавки: Пластифікатор – < 2 кг;
- Повітровтягувальна – 0,8 кг.

Вміст повітря, для забезпечення морозостійкості за маркою F 200 від 5 до 6%. Цементобетонне покриття автодороги Київ – Ковель збудовано силами ПАТ “БУ – 813” в 2005 – 2010 роках.

Приклади підбору складу бетонних сумішей для різних технологій влаштування покриття наведено в роботах [11 - 12].

8. Основні технологічних операцій з будівництва цементобетонного покриття

Основні технологічних операцій з будівництва цементобетонного покриття (розділено на IX етапів) наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Основні технологічних операцій з будівництва цементобетонного покриття

Table 7 - The main technological operations for the construction of cement concrete pavement

Загальний вигляд	Опис технологічних операцій
	I етап - Зняття напружень в цементобетонному покритті гільотиною BTZ 7000 Перевага механічного методу руйнування: 1.Застосування старого покриття як основи із збереженням несучої спроможності та трудовитрат на розбирання 2.Не порушуються суцільність покриття як основи. 3.Дає можливість руху технологічного транспорту та тимчасового проїзду.
	II етап – Поширення старого покриття Влаштування ровиків поширення на ширину до 2-х метрів з кожної сторони за методом укочування із щебенево-піщаної суміші обробленої цементом.
	III етап – Влаштування вирівнюючого прошарку комплектом профілювальників ДС-100 Влаштування прошарку із суміші супіску і кам'яних висівок оброблених цементом ПЦ-500 по ГОСТ 23558-94
	IV етап – Влаштування верхнього шару покриття Влаштування верхнього шару покриття із цементобетону В40 (М550) Ж1 F200 товщиною h=26см через розділовий прошарок із поліетиленової плівки товщиною 300 мкр.

	V етап – нанесення плівкоутворюючого матеріалу Нанесення плівкоутворюючого матеріалу Wirtgen TSN-1800
	VI етап – нарізання швів в свіжоукладеному покритті Нарізання швів в свіжоукладеному покритті нарізниками Цедіма CF-198 $h=1/4 (1/3) \cdot h$.
	VII етап – розшивка швів: Ширина поперечних 8 мм. Повздовжніх 12 мм. Глибина 40 мм.
	VIII етап – герметизація швів на глибину $h=20\text{мм}$ котел Shafer LS 600/500 з закладкою дилатанційного термостійкого шнуру $d10-16\text{мм}$.
	IX етап – Застосування тонкошарових покриттів “Мультимак” на стадії будівництва жорстких покриттів. а/д Київ-Ковель – Ягодин км.78 - км. 90 (район Малина).

9. Порівняння методів влаштування деформаційних швів

Найбільшим недоліком та найслабшим місцем в бетонних покриттях є наявність швів, влаштування яких необхідне для забезпечення стійкості при зміні температури.

Сучасна бетоноукладальна техніка «Wirtgen»

- дозволяє влаштовувати покриття в один шар з різними способами армування стержнями (штирями) в зоні шва.
- дозволяє влаштовувати покриття товщиною до $h=45\text{см}$ за один прохід методом зрошування двох шарів бетону, без влаштування корзин.

- дозволяє виконати армування деформаційних швів стиску (поперечних і подовжніх) в автоматичному режимі методом занурювання діаметром d 22-25мм.

Переваги та недоліки різних способів влаштування швів наведено в табл. 8.

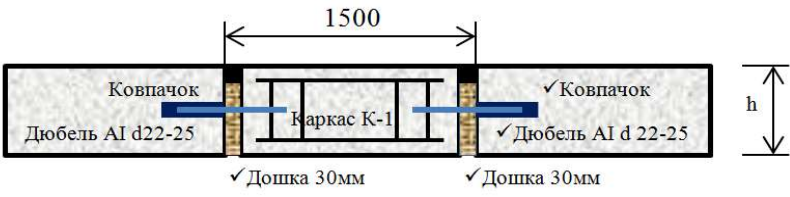
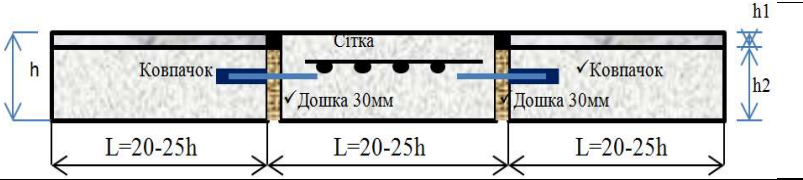
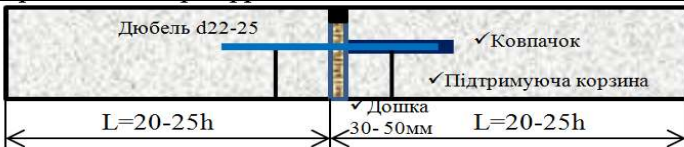
Таблиця 8 – Основні переваги і недоліки влаштування армування в зоні швів

Table 8 - The main advantages and disadvantages of reinforcement in the area of the seams

На корзинах	Автоматичне занурення
Переваги: Дає можливість влаштування шва розширення при значно менших трудовитратах без зупинки процесу бетонування. Недоліки: 1.Потребує додаткової кількості металу та трудовитрат для виготовлення і влаштування підтримуючих корзин та їх кріплення. 2.Неможливість фронтальної подачі цементобетонної суміші. Потребує додатковий боковий механізм подачі (бетонорозподільник з боковою подачею, або перевантажник), що веде до збільшення параметрів земляного полотна для організації руху технологічного транспорту. 3.Недоуцільнення шару цементобетону при товщині більших 30см. 4.Швидкість влаштування покриття на 20-30% нижча. 5.Неможливість влаштування шарів цементобетону різної міцності за один прохід та товщині більше 30см в ковзній опалубці.	Переваги: 1.Не потребує корзин для кріплення дюбелів і анкерів. 2.Дає можливість фронтальної подачі цементобетону автосамоскидами без додаткових технологічних операцій. 3.Дозволяє максимально автоматизувати влаштування деформаційних швів стиску, та якість їх влаштування. 4.Значно нижчий термін часу влаштування 1 м³ цементобетону, що не веде до хибного схоплювання цементобетонної суміші. 5.При застосуванні двошарових бетоноукладачів; - Значно поліпшується однорідність та міцність цементобетонного покриття в місцях влаштування деформаційних швів - Можливість застосування різних класів цементобетону за один прохід. - Влаштування товщини покриття до 45см та шириною до 15м. Недоліки: 1. При одношаровому порушуються однорідність суміші та міцність верхньої частини покриття.

Таблиця 9 - Варіанти влаштування швів розширення

Table 9 - Options for the expansion seams

Схема	Опис
	1. При фронтальній подачі цементобетону Влаштування залізобетонної вставки із сталевго каркасу К-1 (крок 150х150 мм d 16 мм)
	1а. Влаштування армобетонної вставки із сталевгої сітки
	2. При боковій подачі цементобетону на корзинах, або методом засверлювання при фронтальній подачі.

Висновки.

1. Будівництво цементобетонних покриттів має достатньо довгу та цікаву історію і свої традиції в Україні. На сьогодні є приклади дорожніх цементобетонних покриттів, що прослужили більше 50 років, що підтверджує позитивний досвід дорожнього будівництва в галузі будівництва бетонних покриттів.

2. Є хороший досвід при будівництві доріг та аеродромів з бетонними покриттями в Україні в 1994 - 2015 роках.

3. Однак формулювання висновку про хороший досвід не означає все пройшло гладко. Проблеми з деякими ділянками, що мають задовільну поздовжню рівність, тріщини, недостатню шорсткість і герметичність плит, потребують детального теоретичного опису та експериментальної перевірки.

4. Досвід показує, що можна уникнути багатьох проблем, якби інвестори, проектувальники та підрядники приділяли більше уваги деталям і враховували дорожній досвід.

5. Утримання та ремонт бетонних покриттів в Україні недостатньо розвинуте, в порівнянні з будівництвом нових. Питання технічного обслуговування вимагають глибоких знань фахівців та значного досвіду. На практиці є лише незначна група професіоналів, що потребує серйозної роботи по підготовці кадрів для галузі.

6. Багато треба зробити щодо створення доброї традиції в Україні у використанні експертизи для запобігання проблемам технічного обслуговування.

7. Цементобетонні покриття довговічні, стабільні в роботі при зміні напружень і навантажень, екологічно чисті та високотехнологічні, що не потребують великої кількості енерго- та паливо витрат, мають значно нижчу собівартість цементу як в'язучого по відношенню до бітуму. І основне, цемент є вітчизняним в'язучим, на відміну від бітуму, що експортується.

Цементобетон в дорожньому будівництві - це технологія яка потребує чіткого дотримання технологічних етапів влаштування та наукового супроводу.

За ступенем впливу на довговічність можна виділити такі основні вимоги до ЦБ покриттів: недостатня міцність на розтяг при згині, недостатня товщина шару цементобетону, слабкий ґрунт земляного полотна і/або недостатня несна здатність основи, відсутність дренажу, незадовільна нарізка швів та несвоєчасна заливка/заповнення швів тощо.

8. Із загального аналізу видно, що повернення до традиції виконання у Україні дороги з бетонними покриттями дуже вигідні з економічної, соціальної та екологічної точок зору.

До існуючих доріг, з строком служби більше 50 років слід відноситися як до "пам'ятників дорожньої культури з відповідними охоронними заходами. На об'єктах такого будівництва треба ставити пам'ятні знаки, з прізвищами та короткою біографією фахівців дорожників. Таким чином буде збережено пам'ять про людей, які своєю важкою працею створили об'єкти інфраструктури та буде піднесено престиж спеціальності.

Набутий безцінний досвід та традиції мають бути зафіксовані в паспорті кожної ділянки дороги, для чого треба зібрати по крупинках свідчення про технологію та матеріали від начальників, виконробів та робітників, які будували конкретні ділянки доріг.

Перелік посилань

1. Кудрявцев А.С. Очерки истории дорожного строительства в СССР. Дооктябрьский период / А. С. Кудрявцев. - М: [1951] (2016). 332 с.
2. Бабков В. Ф. Развитие техники дорожного строительства. М.: Транспорт, 1988. 272 с.
3. Гамеляк І.П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям // Науково-виробничий журнал № 5 (235) вересень – жовтень 2013 р. С. 24 -31.
4. Дубелир Г.Д. Автогужевые дороги Том первуї. ОГИЗ ГОСТРАНСИЗДАТ. 1934. 455 с.
5. Джорджадзе А.З. Дорожное дело в Соединенных Штатах Северной Америки. М: Транспечать НКПС. 1930. 112 с.
6. Betonstrassenbau in Deutschland, Herausgegeben Vom Deutschen Zement-Bund. Berlin – Charlottenburg, Zementverlag G.M.B.H. 1936.
7. Автомобильные дороги Беларуси. Очерки истории развития дорожной отрасли / В. И. Яромко [и др.]. – Минск: НПО «Белавтодорпрогресс», 1999. 249 с.

8. Из истории строительства автомобильных дорог. Строительно-информационный портал. Дата обращения: 8 декабря 2019. <http://fccland.ru/dorozhno-stroitelnye-mashiny/206-iz-istorii-stroitelstva-avtomobilnyh-dorog.html>

9. Дорожные машины. Каталог - справочник. Часть 2. М., ЦНИИТЭстроймаш, 1977. 155 с.

10. Марышев Б.С., Петрушин А.К., Шейнин А.М. Скоростное строительство дорожных одежд с цементобетонным покрытием. М., Транспорт, 1978. 216 с.

11. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П., Карпюк О.А. Высокопрочный цементобетон с комплексными добавками для дорожного и аэродромного строительства. Минск, Республика Беларусь, Автомобильные дороги, № 2 (16), 2015. 9 с..

12. Гамеляк І. П. Дорожній цементобетон для будівництва місцевих доріг/І.П. Гамеляк, А.Г. Шургая, А.М. Дмитриченко // Автомоб. дороги і дорожнє буді-во Національного транспортного університету. К., 2018. Вип. 103. С. 25 – 34.

HISTORY AND PERSPECTIV OF CONSTRUCTION CEMENT-CONCRETE ROAD AND AIRFIELD PAVEMENT IN UKRAINE

Gameliak Igor Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, +380503524124, <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, <https://orcid.org/0000-0003-2182-2209>.

Moroz Vladimir Sergeevich, Engineer of Scientific Production Association "Transengineering" Kiev, e-mail: vsmoroz1@gmail.com, +38093 610 59 95 ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9763-6213>

Annotation. The article is devoted to the analysis of experience of construction of highways with a cement concrete pavements in Ukraine since the end of 40th years of the last century of this time. Listed. types of constructions of rigid road clothes, historical review of constructions of highways and airfields with a cement-concrete pavements, the most important innovations in designs and technologies of road cement concrete. An example of selection of the composition of cement-concrete mixture for the arrangement of concrete pavement of highways is given.

The object of research is the processes of construction of cement-concrete pavement of highways.

The purpose of the article is to inform specialists and the public about the experience of construction of cement concrete roads since the late 40s of the last century and to provide the most important innovations in the construction and technology of road cement concrete.

Research methods - scientific and experimental.

The results of the article can be used in the operation of road and airfield pavements with cement-concrete layer.

Key words: cement concrete, pavement, rigid pavement, high-speed construction.

Reference

1. Kudriavtsev A.S. Ocherky ystoryy dorozhnoho stroytelstva v SSSR. dooktiabrskiy peryod / A. S. Kudriavtsev. - M: [1951] (2016). 332 s.
2. Babkov V. F. Razvitye tekhniki dorozhnoho stroytelstva. M.: Transport, 1988. 272 s.
3. Gameliak I.P., Koretskyi A.S., Koretskyi S.S. Pro neobkhdnist budivnytstva v ukraini avtomobilnykh dorih iz tsementobetonnyim pokryttiam // Naukovo-vyrobnychiy zhurnal № 5 (235) veresen – zhovten 2013 r. S. 24 -31.
4. Dubelyr H.D. Avtohuzevyye dorohy Tom pervyy OHYZ HOSTRANSYZDAT 1934. 455 s.
5. Dzhordzhadze A.Z. Dorozhnoe delo v Soedynennykh Shtatakh Severnoi Ameriky. M: Transpechat NKPS. 1930. 112 s.
6. Betonstrassenbau in Deutschland, Herausgegeben Vom Deutschen Zement-Bund. Berlin – Charlottenburg, Zementverlag G.M.B.H. 1936.

7. Avtomobylnye dorohy Belarusy. Ocherky ystoryy razvytyia dorozhnoi otrasly / V. Y. Yaromko [y dr.]. – Mynsk: NPO «Belavtodorprohress», 1999. 249 s.
8. Yz ystoryy stroytelstva avtomobylnykh doroh. Stroytelno-ynformatsyonnyi portal. Data obrashcheniya: 8 dekabria 2019. <http://fccland.ru/dorozhno-stroitelnye-mashiny/206-iz-istorii-stroitelstva-avtomobilnyh-dorog.html>
9. Dorozhnie mashyny. Katalog - spravochnyk. Chast 2. M., TsNYITЭstroimash, 1977. 155 s.
10. Maryshev B.S., Petrushyn A.K., Sheinyn A.M. Skorostnoe stroytelstvo dorozhnykh odezhd s tsementobetonnyy pokrytyem. M., Transport, 1978. 216 s.
11. Gameliak I.P., Shurhaia A.H., Yakymenko Ya.M., Chyzhenko N.P., Karpiuk O.A. Vysokoprochnnyi tsementobeton s kompleksnyy dobavkamy dlia dorozhnoho y aэrodromnoho stroytelstva. Mynsk, Respublika Belarus, Avtomobylnye dorohy, № 2 (16), 2015. 9 s..
12. Gameliak, I. P. Dorozhnii tsementobeton dlia budivnytstva mistsevykh dorih/I. P. Hameliak, A. H. Shurhaia, A. M. Dmytrychenko // Avtomob. dorohy i dorozhnie budi-vo Natsionalnoho transportnoho universytetu. K., 2018. Vyp. 103. S. 25 – 34.

ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ПОКРИТТІВ

ESTIMATION OF MEASUREMENT ERROR OF THE PAVEMENTS ELASTICITY MODULUS



Мельниченко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, +38 (044) 280-98-05

<http://orcid.org/0000-0003-0791-6532>



Долгов Микола Анатолійович, доктор технічних наук, доцент Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: m.dolgov@ntu.edu.ua, +38 (044) 280-98-05

<http://orcid.org/0000-0002-3962-7551>

Анотація. Розглянуто різні методи вимірювання модуля пружності покриттів. Наведено фактори, що впливають на похибку вимірювання характеристик пружності покриттів. Проведено аналіз метрологічного забезпечення методики визначення модуля пружності покриттів під час випробування зразків на розтяг. Розрахована абсолютна та відносна похибки вимірювання модуля пружності покриття.

Ключові слова: покриття, точність вимірювання, товщина покриття, модуль Юнга, випробування на розтяг.

Вступ. Покриття широко використовуються в різних сферах машинобудування. Вони захищають деталі та механізми машин від впливу температур, корозії радіації, зносу тощо.

Модуль пружності є однією з найбільш важливих механічних характеристик матеріалу. Особливістю матеріалів у вигляді покриття є те, що їх модуль пружності відрізняється від модуля пружності того ж матеріалу, але в компактному вигляді. Тому його треба визначати для кожного конкретного покриття. Модуль пружності покриттів є технологічно залежною характеристикою, тому що залежить від умов нанесення та мікроструктури матеріалу.

Складність експериментальних методик для визначення модуля пружності покриття викликає появу похибок. Тому вдосконалення метрологічного забезпечення методів визначення модулів пружності та оцінка похибки вимірювання пружних характеристик є актуальною науково-практичною задачею. А розробка нових методів визначення модуля пружності покриттів повинна охоплювати наукову та технічну складові метрологічного забезпечення.

Мета і методи. Метрологічне забезпечення методів визначення модуля пружності покриттів базується на встановленні технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та точності вимірювань. Для дослідження характеристик пружності покриттів використовують статичні та динамічні методи [1]. Статичні методи вимірюють модулі пружності покриттів(зразків), відділених від

основи. Також для цих методів використовують зразки у вигляді системи основа-покриття. В таких зразках під час випробувань виникають навантаження як в основі та покритті.

Для визначення модуля пружності покриття використовують різні види навантаження: трьох точкове згинання зразка з покриттям [2]; чотирьох точкове згинання зразка з покриттям [3]; згинання консольної балки, на яку з двох боків нанесене покриття [4]; згинання консольної балки з покриттям на одній стороні [5]; розтягування зразка [1], вдавнення індентора [6, 7]. Динамічним методом модуль пружності покриттів визначали в роботах [8, 9].

В процесі вимірювання модуля пружності покриття виникає ряд факторів, що впливають на похибку результатів експериментальних досліджень. Ці фактори можна розділити на дві групи:

1) пов'язані з вибором методу вимірювання, що включають в себе конструкційні особливості зразків з покриттями;

2) пов'язані з умовами проведення експерименту.

Результати і пояснення. Розрахунок похибки вимірювання провели на прикладі методики розробленої раніше [1]. Методика вимірювання модуля пружності покриття полягає в наступному. Плоский металевий зразок з покриттям навантажують на розривній машині. На верхню та нижню поверхню металевого зразка (основу) нанесено покриття однакової товщини. Частина основи в робочій зоні зразка залишалася непокритою. Цю зону без покриття використовують для вимірювання деформації основи на ділянці без покриття. Під час розтягу зразка спочатку контролюють деформації основи на ділянці без покриття і після досягнення нею деякого рівня ε вимірюють за допомогою динамометра відповідне їй зусилля P_s . Потім контролюють деформації основи на ділянці зразка з покриттям і після досягнення нею рівня ε , вимірюють відповідне зусилля P_{s-c} . Відповідно до формули (1) визначають модуль пружності покриття E_c .

$$E_c = E_s \frac{H}{h} \left(\frac{P_{s-c}}{P_s} - 1 \right), \quad (1)$$

де E_s – модуль пружності покриття, H – половина товщини металевої основи, h – товщина покриття.

Геометричні параметри типових зразків з покриттями наступні:

$$H = 1 \text{ мм}; \quad h = 0,2 \text{ мм},$$

Абсолютні похибки вимірювання товщини наступні:

$$\Delta H = 0,005 \text{ мм}; \quad \Delta h = 0,005 \text{ мм}.$$

Приймемо, що модуль пружності металевої основи становить $E_s = 210$ ГПа.

Положимо, що вимірювання навантаження показали наступне:

$$P_{s-c} = 1100; \quad P_s = 1000.$$

Абсолютні похибки вимірювання навантаження наступні:

$$\Delta P_{s-c} = 5 \text{ Н}; \quad \Delta P_s = 5 \text{ Н}.$$

Розрахували середнє значення модуля пружності покриття E_c :

$$\begin{aligned} E_c (< P_{s-c} >, < P_s >, < H >, < h >) &= E_s \cdot \frac{< H >}{< h >} \left(\frac{< P_{s-c} >}{< P_s >} - 1 \right) = \\ &= 210 \cdot \frac{0,5}{0,2} \cdot \left(\frac{1100}{1000} - 1 \right) = 52,5 \text{ ГПа} \end{aligned}$$

Обчислили похідні функції (1):

$$\frac{\partial E_c}{\partial P_{s-c}} = \frac{E_s H}{h P_s} \quad (2)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial P_s} = -\frac{E_s H P_{s-c}}{h P_s^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial H} = \frac{E_s}{h} \left(\frac{P_{s-c}}{P_s} - 1 \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial h} = -\frac{E_s H}{h^2} \left(\frac{P_{s-c}}{P_s} - 1 \right) \quad (5)$$

Обчислили значення похідних від середніх значень аргументів відповідно до формул (2) – (4):

$$\frac{\partial E_c}{\partial P_{s-c}} = \frac{210 \cdot 0,5}{0,2 \cdot 1000} = 0,53 \frac{\text{ГПа}}{\text{Н}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial P_s} = -210 \cdot \frac{1}{0,2} \cdot \frac{1100}{1000^2} = -0,58 \frac{\text{ГПа}}{\text{Н}} \quad (7)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial H} = \frac{210}{0,2} \cdot \left(\frac{1100}{1000} - 1 \right) = 105 \frac{\text{ГПа}}{\text{мм}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial E_c}{\partial h} = -\frac{210 \cdot 1}{0,2^2} \left(\frac{1100}{1000} - 1 \right) = -262,5 \frac{\text{ГПа}}{\text{мм}} \quad (9)$$

Обчислили складові похибки функції:

$$\Delta E_1 = \left| \frac{\partial E_c}{\partial P_{s-c}} \right| \cdot \Delta P_{s-c} \approx 2,63 \text{ ГПа}$$

$$\Delta E_2 = \left| \frac{\partial E_c}{\partial P_s} \right| \cdot \Delta P_s \approx 2,89 \text{ ГПа}$$

$$\Delta E_3 = \left| \frac{\partial E_c}{\partial H} \right| \cdot \Delta H \approx 0,53 \text{ ГПа}$$

$$\Delta E_4 = \left| \frac{\partial E_c}{\partial h} \right| \cdot \Delta h \approx 1,31 \text{ ГПа}$$

Розраховували абсолютну ΔE_c та відносну δE_c похибки вимірювання модуля пружності покриття:

$$\Delta E_c = \sqrt{(\Delta E_1)^2 + (\Delta E_2)^2 + (\Delta E_3)^2 + (\Delta E_4)^2} = 4,2 \text{ ГПа}$$

$$\delta E_c = \frac{\Delta E_c}{\langle E_c \rangle} = 7,9\%$$

Результат вимірювання модуля пружності E_c після округлення можна записати в наступному вигляді:

$$E_c = (53 \pm 4) \text{ ГПа}, \quad \delta E_c = 8\% \quad (10)$$

Висновки та рекомендації

Розглянуто питання метрологічного забезпечення методів вимірювання модуля пружності покриттів. Метрологічне забезпечення полягає в застосуванні метрологічних норм, правил та методик вимірювання, а також розробці, виготовленні й застосуванні засобів вимірювальної техніки для забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань.

Для повного метрологічного забезпечення розглянутого методу вимірювання модуля пружності покриття під час випробування зразків з покриттям необхідно розробити комплект нормативно-технічних документів за трьома складовими:

- опис методу вимірювання та його суті;
- опис засобів вимірювання навантаження, деформації та товщини покриття;
- опис засобів вимірювальної техніки, що реалізують даний метод, вимоги до них, методики градування, калібрування та повірки, а також рекомендації щодо використання.

Перелік посилань

1. Dolgov N.A. Method for Determining the Modulus of Elasticity for Gas Thermal Spray Coatings / N.A. Dolgov // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2004. – V.43. – P. 423 – 428.
2. Yilbas B.S. HVOF coating and laser treatment: three-point bending tests / B.S. Yilbas, A. Arif, M.A. Gondal // Journal of Materials Processing Tech. – 2005. – V.164 – 165. – P.954 – 957.
3. Influence of plasma spray parameters on mechanical properties of yttria stabilized zirconia coatings. I: Four point bend test / A.Kucuk, C.C.Berndt, U.Senturk et al. // Materials Science and Engineering: A. – 2000. – V.284. – P.29 – 40.
4. Вязовская Л.М. Определение модуля упругости тонких покрытий / Л.М. Вязовская, Г.Н. Гутман, В.Г. Фокин // Заводская лаборатория. – 1986. – Т. 52, № 10. – С. 76 – 77.
5. Khan A. Young's modulus of silicon nitride used in scanning force microscope cantilevers / A. Khan, J. Philip, P. Hess // Journal of Applied Physics. – 2004. – V. 95, No 4. – P. 1667 – 1672.
6. Relationships between hardness, Young's modulus and elastic recovery in hard nanocomposite coatings / J.Musil, F.Kunc, H.Zeman, H.Polakova // Surface and Coatings Technology. – 2002. – V. 154, Nos 2 – 3. – P. 304 – 313.
7. A new technique to determine the elastoplastic properties of thin metallic films using sharp indenters / J.L. Bucaille, S. Stauss, P. Schwaller, J. Michler // Thin Solid Films. – 2004. – V. 447. – P. 239 – 245.
8. Measurement of the elastic modulus of nanostructured gold and platinum thin films / M.C. Salvadori, I.G. Brown, A.R. Vaz et al. // Phys. Rev. B. – 2003. – V. 67, No 15. – P. 1 – 4.
9. Arai M. Estimation method of Young's modulus of thermal barrier coating layer based on free bending vibration / M. Arai, K. Kishimoto // Journal of the Society of Materials Science. – 2003. – V. 52, No 9. – P. 1135 – 1139.

ESTIMATION OF MEASUREMENT ERROR OF THE PAVEMENTS ELASTICITY MODULUS

Melnichenko Olexander Ivanovich, PhD (Candidate of Technical Sci), Professor, National Transport University, Chief of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, +38 (044) 280-98-05, <http://orcid.org/0000-0003-0791-6532>

Dolgov Mykola Anatolievich D.Sc., Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: m.dolgov@ntu.edu.ua, +38 (044) 280-98-05, <http://orcid.org/0000-0002-3962-7551>

Abstract. Various methods for measuring the modulus of elasticity of coatings are considered. The factors influencing the error of measuring the elastic characteristics of coatings are given. The analysis of metrological support of the method of determining the modulus of elasticity of coatings during tensile testing of samples is carried out. The absolute and relative measurement errors of the modulus of elasticity of the coating are calculated.

Keywords: coating, measurement accuracy, coating thickness, Young's modulus, tensile tests.

References

1. Dolgov N.A. Method for Determining the Modulus of Elasticity for Gas Thermal Spray Coatings / N.A. Dolgov // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2004. – V.43. – P. 423 – 428.
2. Yilbas B.S. HVOF coating and laser treatment: three-point bending tests / B.S. Yilbas, A. Arif, M.A. Gondal // Journal of Materials Processing Tech. – 2005. – V.164 – 165. – P.954 – 957.
3. Influence of plasma spray parameters on mechanical properties of yttria stabilized zirconia coatings. I: Four point bend test / A.Kucuk, C.C.Berndt, U.Senturk et al. // Materials Science and Engineering: A. – 2000. – V.284. – P.29 – 40.
4. Вязовская Л.М. Определение модуля упругости тонких покрытий / Л.М. Вязовская, Г.Н. Гутман, В.Г. Фокин // Заводская лаборатория. – 1986. – Т. 52, № 10. – С. 76 – 77.
5. Khan A. Young's modulus of silicon nitride used in scanning force microscope cantilevers / A. Khan, J. Philip, P. Hess // Journal of Applied Physics. – 2004. – V. 95, No 4. – P. 1667 – 1672.
6. Relationships between hardness, Young's modulus and elastic recovery in hard nanocomposite coatings / J.Musil, F.Kunc, H.Zeman, H.Polakova // Surface and Coatings Technology. – 2002. – V. 154, Nos 2 – 3. – P. 304 – 313.
7. A new technique to determine the elastoplastic properties of thin metallic films using sharp indenters / J.L. Bucaille, S. Stauss, P. Schwaller, J. Michler // Thin Solid Films. – 2004. – V. 447. – P. 239 – 245.
8. Measurement of the elastic modulus of nanostructured gold and platinum thin films / M.C. Salvadori, I.G. Brown, A.R. Vaz et al. // Phys. Rev. B. – 2003. – V. 67, No 15. – P. 1 – 4.
9. Arai M. Estimation method of Young's modulus of thermal barrier coating layer based on free bending vibration / M. Arai, K. Kishimoto // Journal of the Society of Materials Science. – 2003. – V. 52, No 9. – P. 1135 – 1139.

ВПЛИВ МЕХАНІЗМУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ РІЗНОГО ТИПУ

INFLUENCE OF THE MECHANISM OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS ON THE STRESSED AND DEFORMED CONDITION OF DIFFERENT TYPES OF ROAD PAVEMENTS



Павленко Надія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, представник «Кредо-Діалог» в Україні, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, +380958080608

ORCID 0000-0001-5746-6221



Шуляк Іван Станіславович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожнього проектування, геодезії та землеустрою, e-mail: i.s.shuliak@gmail.com, +380506437690

ORCID 0000-0003-0609-731X

Анотація. Запропоновано рішення напружено-деформованого стану для дискретних матеріалів під дією рівномірно розподіленого навантаження ґрунтується на закономірну зміну поведінки дискретних шарів в залежності від коефіцієнту розподільчої здатності матеріалів самих шарів при виборі варіантів конструкцій дорожнього одягу на слабких або перезволожених ґрунтах земляного полотна.

В статті описано як в результаті аналізу поведінки різних типів покриттів маємо можливість для будь-яких конструкцій дорожніх одягів, в основі яких є незв'язні матеріали, встановити дійсне значення напружень зсуву і еквівалентного модуля пружності з урахуванням параметру розподільчої здатності дискретних матеріалів, що відповідає їх реальній поведінці під навантаженням. Також встановлено, що цементобетонне покриття є не тільки більш надійним і довговічним, скільки сприяє при значно менших товщинах конструкції розподіляти навантаження по глибині в кілька разів краще і більш рівномірно.

Ключові слова: КРЕДО РАДОН UA, автомобільна дорога, автоматизоване проектування, проект ремонту, дорожній одяг, посилення, конструювання, жорсткий дорожній одяг, модуль пружності, транспортний потік, методика розрахунку

Вступ. Огляд основних розрахункових схем і теоретичних основ в діючих нормативних документах [1, 2] показує, що конструкція дорожнього одягу розглядається як одношарова або багатошарова пружна система. Прийнята властивість суцільності властивостей, однорідності і лінійної пружності системи спотворює, а часто і приховує багато особливостей поведінки шарів під навантаженням. Реальна конструкція дорожнього одягу має властивості, які змінюються по глибині (структура шару, модуль шару, та ін.). Експериментально доведено, що поправки в рішення будуть тим значніше, чим більше розходження у властивостях сусідніх шарів [3].

Фактично, конструктивні шари не є ідеально пружними тілами, не мають лінійної залежності між напруженнями і деформаціями при навантаженні, мають специфічний розподіл напружень по глибині. Це недостатньо врахований факт, або взагалі не враховується теорією пружності, на якій ґрунтуються розглянуті методи розрахунку дорожніх одягів.

Теорія розрахунку нежорстких дорожніх одягів перехідного типу і діючі інструкції з розрахунку дорожніх одягів на міцність в багатьох країнах базуються на багаторічних наукових дослідженнях, багатій теоретичній і експериментальній базі. Перевага теорії розрахунку - мінімізація емпіричних даних, можливість на основі закономірностей деформування розрахуватися на міцність будь-якого конструктивного шару і конструкції в цілому. Однак на сьогоднішній день не всі механічні, фізичні особливості пов'язані зі структурою, контактуванням і характером розподілу навантаження в масиві вирішені остаточно і мають однозначність. Цей факт дає нам право говорити про недостатність врахування впливу структурних особливостей дискретних (незв'язних) шарів на напружено-деформований стан дорожнього одягу.

Однак відкритим і нерозглянутим залишається питання врахування особливості поведінки незв'язних шарів під навантаженням і специфічне розподіл напружень в таких шарах при розрахунках на міцність [3].

Аналіз існуючих методів розрахунку дорожніх одягів, їх теоретичної бази, сучасні наукові напрямки і необхідність врахування структурних особливостей зернистих матеріалів робить актуальним завдання оцінки напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з різними типами покриття і впливом розподілу навантаження на шари з незв'язних матеріалів.

Актуальність даній тематиці також надає стрімкий розвиток зацікавленості та впровадження конструювання та розрахунку жорстких дорожніх одягів. Плита із цементобетону, що розподіляє навантаження від транспортного потоку має зовсім інші властивості і поведінку, ніж аналогічна конструкція із асфальтобетонним покриттям. Основне завдання проектувальника – обрати надійну конструкцію, підтвердити її розрахунками на міцність, забезпечивши тим самим довговічність автомобільної дороги, як об'єкту інформаційного моделювання.

Але в даний час є проблема, пов'язана з тим, що мало уваги приділяється розрахункам дорожніх одягів жорсткого типу, а саме їх вплив на зсувні процеси в незв'язних шарах основи та ґрунтах земляного полотна.

Для обліку, в якійсь мірі, специфіки поведінки зернистих шарів під навантаженням в методи розрахунку вводять поправочні коефіцієнти, перш за все у формі коефіцієнтів запасу міцності. Саме тому коефіцієнти запасу міцності на зрушення в малозв'язних матеріалах і на поверхні ґрунту робочого шару найбільші. Однак, це не вихід з положення, так як не завжди відома величина похибки при визначенні головних напружень в зернистому або незв'язному шарі і, відповідно, достовірність величини напружень зсуву в шарах основи і ґрунтів не визначена.

В результаті роботи проведено аналіз розрахункових схем, опрацьовані досліджень різних авторів, розрахунки на міцність типових конструкцій та досвід експлуатації дорожніх одягів різних типів з метою обґрунтування прийняття оптимальної розрахункової схеми конструкції дорожнього одягу при розрахунках на зсув в ґрунтах земляного полотна.

Математичне моделювання. Використаємо в якості порівняння роботи ґрунтів основи дорожнього одягу параметр «с», який називається «коефіцієнт розподілу напружень» або «коефіцієнт розподільної здатності». Його величина впливає на швидкість згасання по глибині нормальних напружень σ_z під центром об'їзду ділянки. При «с» = 1 формули 1-3 збігаються з рішенням задачі про напружений стан півпростору з монолітного матеріалу. При «с» < 1 згасання напруг сповільнюються. З літературних експериментальних даних виходить, що напруги в дискретних середовищах зменшуються по глибині в 2-3 рази повільніше, ніж в разі, якщо матеріал монолітний [4].

Розрахунок напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу перехідного типу включає в себе введення вихідних даних в удосконалене теоретичне рішення [4], представлене основними залежностями:

$$\sigma_z = -q\delta \int_0^{\infty} (cz\alpha + 1)e^{-c\alpha} J_1(\alpha\delta) d\alpha; \quad (1)$$

$$\sigma_r = -\frac{q\delta}{2} \int_0^{\infty} \left\{ \nu + (1 + \nu)c^2 + [\nu - (1 + \nu)c^2] \right\} e^{-c\alpha} J_1(\alpha\delta) d\alpha; \quad (2)$$

$$u_{z \max} = q\delta \frac{1 - \nu^2}{cE_1} \int_0^{\infty} R(\alpha) J_1(\alpha\delta) \frac{d\alpha}{\alpha}, \quad (3)$$

де q – рівномірно розподілене навантаження, МПа; δ – постійна інтегрування; c – коефіцієнт розподільчої здатності матеріалу; z – глибина розташування конструктивного шару, см; α – параметр інтегрування; J_1 – функція Бесселя першого ступеню першого порядку; ν – коефіцієнт Пуассона.

Практична частина. В опорі матеріалів і в теорії пружності [5] доведено, що здатність розподілення навантаження залежить від добутку модуля на куб товщини.

Необхідна товщина цементобетонного покриття зазвичай більше сумарної товщини асфальтобетонних шарів, а товщина всієї конструкції жорсткого дорожнього одягу - навпаки, менша, ніж нежорсткого типу. Це доведений факт і пояснюється він наступним. Покриття з цементобетону набагато краще розподіляє тиск на розташовану під ним основу, ніж асфальтобетонне покриття тієї ж товщини, оскільки модуль цементобетону набагато більше модуля асфальтобетону і властивості більш однорідні за рахунок монолітності. Але внаслідок відмінності в модулях, напруження від розтягування при згині в цементобетоні більше, ніж в асфальтобетонному покритті тієї ж товщини. В результаті, щоб уникнути появи тріщин від розтягування при згині, доводиться влаштовувати досить товсте цементобетонне покриття, хоча це і є зайвим з точки зору його високої розподільчої здатності.

Порівняємо розраховані в програмі CREDO РАДОН UA [6] напруження, що виникають в жорсткій і в нежорсткій конструкціях дорожнього одягу при приблизно однаковій їх капітальності. Як приклад нежорсткого дорожнього одягу приймемо наступну конструкцію, таблиця 1:

Таблиця 1 – Конструкція нежорсткого дорожнього одягу
Table 1 – The design of non-rigid pavement

Но мер п/п	Назва матеріалу конструкції	Розрахункова товщина шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа
1	Щебеномастиковий асфальтобетон ЦМА-20 на бітумі БМПА 60/90-53	5.0	530
2	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД 60/90, Тип А, Марка І	6.0	445
3	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД 60/90, Тип А, Марка І	10.0	336
4	Щебеново-піщані суміші, укріплені цементом М20	18.0	185
5	Щебеново-піщана суміш С5	20.0	114
6	Пісок середньої крупності	34.0	67
7	Суглинок легкий пілуватий	-	30

В якості прикладу жорсткого дорожнього одягу приймемо конструкцію, наведену в таблиці 2.

Таблиця 2 – Конструкція жорсткого дорожнього одягу**Table 2** – The design of rigid pavement

Но мер п/п	Назва матеріалу конструкції	Розрахункова товщина шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа
1	Важкий бетон класа Bbtb 3.6	26.0	-
2	Піски дрібні, укріплені цементом М40	16.0	185
3	Щебенево-піщана суміш С5	20.0	97
4	Пісок середньої крупності	15.0	47
5	Суглинок легкий пілуватий	-	30

Детальний розрахунок напруженого стану проводився авторами огляду виходячи з точного рішення теорії пружності для багатошарової середовища при одних і тих же розрахункових характеристиках шарів (наведених в таб. 1, 2) [7] для нормативного статичного навантаження на вісь 115 кН (тиск в шинах 0,80 МПа, діаметр штампа 34,5 см). Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби становить 994 авт/добу. В якості матеріалу для статті наведені дві типові конструкції дорожнього одягу, але аналіз та розрахунки були виконані з певним кроком товщин матеріалів, змін властивостей основи, обробляючи масив даних. Однак для даного матеріалу достатньо дві типові конструкції.

Розрахунок конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу дав наступні результати:

- Напруження на розтяг в шарах із асфальтобетонним покриттям — $\sigma_r = 0,946$ МПа;
- Вертикальне навантаження на ґрунт основи — $\sigma_z = 0,00583$ МПа (з урахуванням розподільчої здатності «с»)

Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу дав наступні результати:

- Напруження розтягу в цементобетонному покритті — $\sigma_r = 1,298$ МПа;
- Вертикальне навантаження на ґрунт основи — $\sigma_z = 0,00576$ МПа (з урахуванням розподільчої здатності «с»).

Ми отримали при оцінці напруженого стану, що жорсткий дорожній одяг розподіляє тиск на ґрунт земляного полотна краще, хоча його товщина на 4 см менше, ніж жорсткого по покриттю, але загальна товщина конструкції менше на 16 см. Однак напруження від розтягу при згині в цементобетоні в 1,4 рази більше, ніж в асфальтобетоні, при тому, що вони мають приблизно однакову міцність на згин. При влаштуванні покриття з асфальтобетону необхідно збільшити шар з піску (дренуючий шар) в 2 рази, як найкращого матеріалу, розподіляє рівномірно напруги і є найбільш незв'язним і однорідним.

Даний огляд не охоплює усі можливі конструктивні особливості. Має бути порівняння цементобетонних шарів на асфальтобетонній основі, вплив армування та його особливості на розподіл несучої здатності конструкції. І після повного аналізу можна буде рекомендувати впровадження конструкцій із цементобетонним покриттям не лише з економічної точки зору, але й з підтвердженням на розрахунках підвищеної несучої здатності [8].

Висновки

Проаналізувавши результати розрахунків на міцність на зсув в ґрунтовій основі конструкції, робимо висновок про доцільність у використанні на практиці конструкцій дорожнього одягу із цементобетонним покриттям у випадках, коли мова йде про розподіл навантаження на товщину на слабких або зволжених ґрунтах земляного полотна, адже раціональність конструкції дорожнього одягу в межах діючих норм по запасу міцності має бути витримана. При міцності заповнювача однаковим кам'яним матеріалом 6-12 МПа, при однакових умовах, на одному ґрунті основи конструкції ведуть себе зовсім по-різному під час моделювання навантаження, що дає право рекомендувати цементобетонне покриття як покриття з кращими розподільчими властивостями для отримання однакових напружень зсуву в незв'язних матеріалах основи.

Перелік посилань

1. ГБН В.2.3-37641918-559: 2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2019. – 61 с.
2. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Дорожній одяг жорсткий. Проектування. – К.: К.: Міністерство інфраструктури України, 2016. – 71 с.
3. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве.- М.: Стройиздат, 1966. – 319 с.
4. Павленко Н.В., Ряпухін В.М., Плевако В.П. Напружений і деформований стани дорожніх одягів перехідного типу з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип.47. – С.161-171.
5. С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. Пластинки и оболочки, М., Наука, 1966, 635с.
6. <https://credo-ua.com/product/credo-radon/>
7. Мерзликин А. Е., А. К. Приварников. Об использовании адаптивных программ интегрирования при решении прикладных задач теории многослойных оснований. Новое в проектировании конструкций дорожных одежд. Труды СоюздорНИИ. М., 1988, с. 22 – 36.
8. Радовский Б.С. Цементобетонные покрытия в США - конструкции, Автомобильные Дороги, 2015, № 2, с. 48-60.

INFLUENCE OF THE MECHANISM OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS ON THE STRESSED AND DEFORMED CONDITION OF DIFFERENT TYPES OF ROAD PAVEMENTS

Pavlenko Nadiia Volodimirivna, Ass. Prof., Cand., Eng. Sc., representative of «Credo-Dialogue» in Ukraine, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, +380958080608, ORCID 0000-0001-5746-6221

Shuliak Ivan Stanislavovych, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, e-mail: i.s.shuliak@gmail.com, +380506437690, ORCID 0000-0003-0609-731X

Abstract. The proposed solution of stress-strain state for discrete materials under the action of evenly distributed load is based on a natural change in the behavior of discrete layers depending on the coefficient of distribution of materials of the layers themselves when choosing options for pavement structures on weak or wet soils.

In the article it is described how as a result of the analysis of behavior of various types of coverings we have an opportunity for any designs of pavements which are based on incoherent materials, to establish actual value of shear stresses and equivalent modulus of elasticity taking into account the parameter of resolution of discrete materials. real behavior under load. It is also established that the cement-concrete coating is not only more reliable and durable, but also helps to distribute the load in depth several times better and more evenly at much smaller structural thicknesses.

Keywords: CREDO RADON UA, road, computer-aided design, repair project, road pavement, strengthening, construction, rigid pavement, elasticity module, a transport stream, calculation method, information support, dynamic or static loading.

References

1. GBN B.2.3-37641918-559: 2019 Non-rigid road clothes. Designing. - Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2019. - 61 p.
2. GBN B.2.3-37641918-557: 2016 Rigid road clothes. Designing. - Kyiv: Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2016. - 71 p.
3. Kandaurov II Mechanics of granular media and its application in construction.- М.: Stroyizdat, 1966. – 319 p.
4. Pavlenko NV, Ryapukhin VM, Plevako VP Stressed and deformed condition of road clothes of transitional type from discrete materials // Scientific herald of construction / Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU. - 2008. - Vip.47. - P.161-171.
5. SP Tymoshenko, S. Voinovsky-Krieger. Plates and shells, M., Science, 1966, 635 p.
6. <https://credo-ua.com/product/credo-radon/>
7. Merzlikin AE, AK Privarnikov. On the use of adaptive integration programs in solving applied problems of the theory of multilayer bases. New in the design of pavement structures. Proceedings of SoyuzdorNII. M., 1988, p. 22 - 36.
8. Radovsky BS Cement Concrete Coatings in the USA - Structures, Roads, 2015, № 2, p. 48-60.

**ALGORITHM JUSTIFICATION OF DEPENDENCE "TIME-COST-QUALITY"
INTO LONG-TERM CONTRACTS WITH MAINTENANCE OF ROADS**

**АЛГОРИТМ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ЧАС-ВАРТІСТЬ-ЯКІСТЬ»
У ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТАХ З УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**



Zavorotnyi Serhii Mikolaiovych, National Transport University, Omelyanovich Pavlenko St. 1, Kiev, Ukraine 01010, graduate student of transport construction and property management, e-mail: seregazavorotnyi@gmail.com, тел. +380632406670,

<https://orcid.org/0000-0002-2139-8877>

Summary. In this study reviewed the main groups of methods and models the dependency of "time-cost-quality" optimization are considered which can be divided into: mathematical, heuristic, and metheuristic. The main advantages and disadvantages of these methods are presented. Mathematical have a high accuracy of the results, but there is a need to perform a large number of calculations. Heuristic is more simple and understandable than others, but does not provide global optimization. Metheuristic have a sufficient level of accuracy of calculations and rather flexible by combining the previous two methods.

Also, based on the analysis, an optimal method was identified that is currently the most progressive. According to the development trends and benefits, the meta-heuristic method is quite effective. To create the algorithm of justification the dependence of "time-cost-quality", the structure was investigated the innovative "time-cost-quality" tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation authors of Wenfa and Xinhua. A detailed analysis of this model allowed us to obtain an equation that can be used to justify the dependence of "time-cost-quality".

Key words: Output and Performance-based Road Contract, maintenance of highways, optimization.

Introduction. Time, cost and quality are the most important criteria of any contract. The relationship between these components, in **Output and Performance-based Road Contract (OPRC)** for maintenance of highways, is a multi-parameter complex task at the expense of a significant period of validity of contracts (in accordance with [1] 5-7 years) and the constant process of maintenance of highways. For successful implementation of long-term contracts, project managers should clearly understand the relationship between these three components, and therefore the success of the OPRS implementation depends very much on the ability to qualitatively optimize the "time-cost-quality" dependency (TCQ). At present there are a sufficient number of methods and models that are proposed for use in civil engineering and construction in general. However, there are no such methods and models for solving this task in the field of maintenance of roads on the basis of OPRS. Paying attention to the current state of highways of Ukraine and the need for a gradual transition from short-term to long-term contracts [1] there is a need to develop an algorithm for justification the dependence of "time-cost-quality" for OPRS of the maintenance of highways.

Materials and methods. Methods and models by which one can justify the dependence of "time-cost-quality" can be divided into: mathematical, heuristic, and metheuristic. At present, the metaheuristic method is more effective to optimize this dependence. Taking into account the advantages of this method, the basis for justifying the dependence of "time-cost-quality" long-term contracts on maintenance of highways served the innovative "time-cost-quality" tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation

authors of Wenfa and Xinhua. Analyzing scientific researches it was determined that this issue in scientific sources is almost not covered.

Methods of research: historical, analytical, mathematical.

Results and Discussion. Cost (C) and time (T) are the most important constituents of the contract, but quality (Q) is no less important, especially for maintenance of highways. When performing maintenance of highways on the basis of **Output and Performance-based Road Contract (OPRS)** quality is of great importance, because the quality of the maintenance of highways directly affects the level of traffic safety. Usually time and cost are expressed in numerical expressions, but the quality of specific numeric expressions is not [1], which makes it difficult to possibility optimization these parameters objectively and effectively implement OPRS. At present, there are many methods and models that can solve this task. Every year they have been more and more to improved, which has led to the emergence of three main groups, which can be conditionally divided into [3]: mathematical, heuristic and metaheuristic.

Mathematical methods are based on the definition of the main factors that influence the relationship between time, cost and contract quality in order to formulate a problem in the form of a mathematical model using linear, nonlinear, integer, and dynamic programming. [3,4,5].

Heuristic methods use sequential algorithms designed to determine and adopt the most optimal solution based on the basic principles and requirements of the task [3,5]. These algorithms are very simple and understandable, which allows you to make managerial decisions, but the lack of mathematical reasonableness and lack of global optimization is a big drawback of them. [3,5].

Metheuristic methods, unlike previous ones, are more flexible and modern thanks to the simultaneous combination of a mathematical and heuristic component. This method is used at different levels of the optimization process, thus ensuring the quality of the results obtained. That is, so-called evolutionary algorithms are created. Analyzing foreign and domestic studies, one can conclude that the genetic algorithm has become widespread [3-5].

Methods and models for optimizing time, cost and contract quality are shown in Fig. 1.

As we see, there are a number of methods and models that allow you to optimize the time, cost and quality of contracts. Among the leading specialists there is a great tendency to use metheuristic methods.

To date, there are many models built on the basis of the meta-heuristic method. The authors [2] state that there are about 23 effective methods for optimizing time and cost of contracts for 2013. In recent years, the most widely used genetic algorithm (GA), on the basis of which were created: algorithm for optimizing "particle swarm" by Yang I.T. [6]; the optimization algorithm of "anticipate colony" by the authors of Xiong Y. and Kuang Y. [7] and Ng S.T. and Zhang Y. [8]; the algorithm of "finding harmony" by Geem Z. W. [9]. Leu S. and Yang S. [10] have developed a multi-criteria optimization model for construction projects, but this model required a large number of calculations, which complicated its use.

The disadvantage of later models is the failure to consider quality as an optimization criterion, but modern requirements and statistical studies have shown that quality is a very important indicator of the contract, and for the OPRS, it can be said, even the weekend. El-Rayes K. and Kandil A. [11], on the basis of GA, have developed a multi-purpose model to find the optimal way of using resources in order to minimize the time and cost of providing the maximum level of project implementation quality [2].

Attention is drawn to the fact that time, cost and quality (TCQ) are the most important and at the same time the most controversial goals of construction projects, Wenfa Hu and Xinhua He [2], to solve the optimization problem, TCQ has been proposed an innovative time-cost-quality tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation. This model is based on the structural division of the project (contract) into work, time, cost and quality of which will depend on such resources as: construction works (labor costs of workers) (L); materials and products (M); equipment and machinery (E) and administration (A) [2] (table 1). Then, for each resource, time, cost, and quality are indicated, which are eventually summed up. That is, the idea of this model is to continuously interact and influence each other's resources of project through the prism of TCQ.

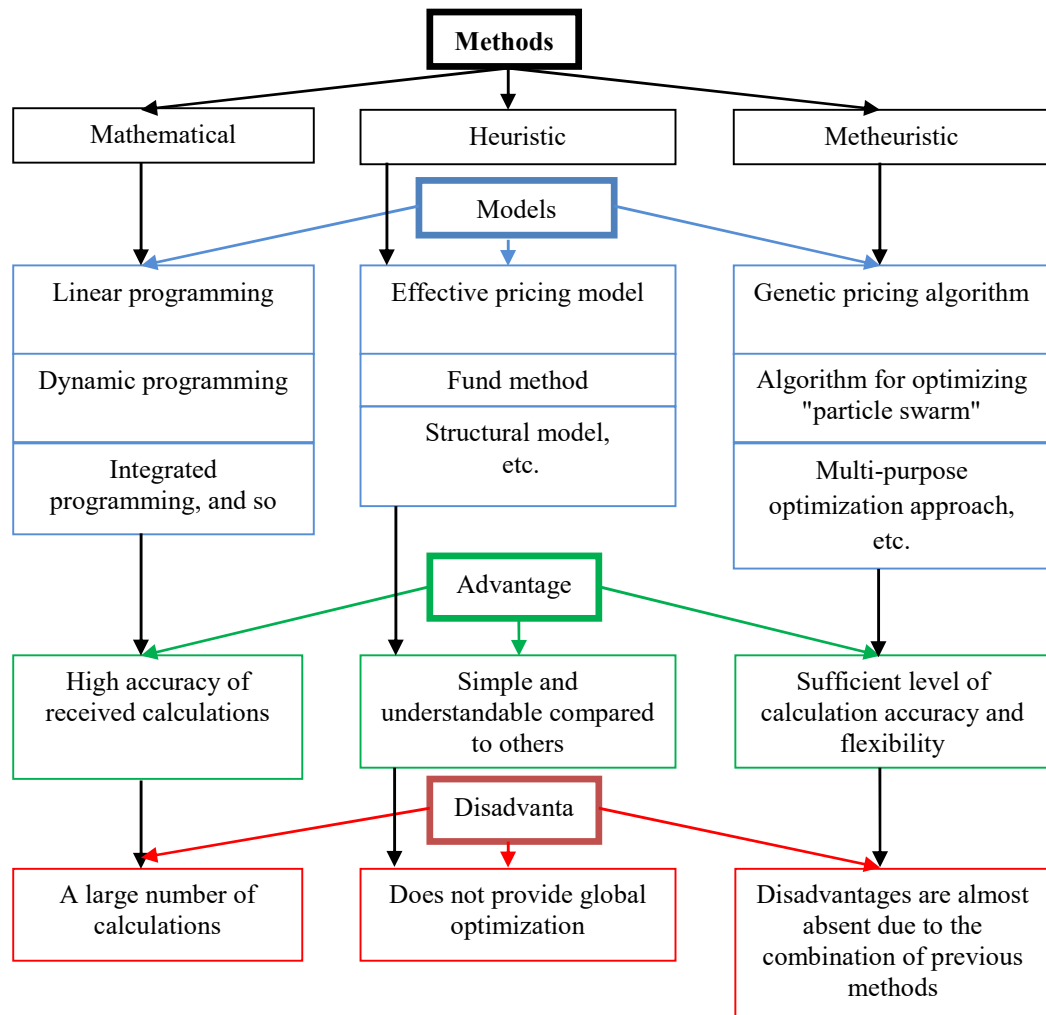


Figure 1 – Methods and models of time optimization, cost and contract quality

Рисунок 1 – Методи та моделі оптимізації часу, вартості та якості контрактів

The process of TCQ interconnection is proposed to be described by the function (1) [12, 13]:

$$F = \begin{cases} Xef(x_1; x_2; x_3; x_4; x_5) \\ Yef(y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6), \\ Zef(z_1; z_2; z_3) \end{cases} \quad (1)$$

where, X - optimized ivalue of time (T); Y - optimized value of cost (C); Z - optimized value of quality (Q); x1 - duration of performance of main (planned) works; x2 - the duration of unplanned and auxiliary works;

x3 - feature climatic and soil-geological conditions; x4 - speed of work of the personnel; x5 - delay; y1 - the cost of logistics; y2 - cost of execution of works; y3 - level of complexity of work execution; y4 - fines and incentive payments; y5 - inflation; y6 - the quality of contract financing; z1 - state requirements; z2 - consumer requirements; z3 - international requirements and norms.

Similarly, the authors [2] performed the distribution of their model. For each resource, it is proposed to determine the most important indicators (factors): labor productivity, labor costs, labor complexity, quality of work, cost of materials, quality of materials, productivity of construction equipment, construction equipment cost, amount of construction equipment, quality of construction equipment, cost of administration, quality administration (table 1). To solve the TCQ optimization problem, the contract is represented by a network-based activity-on-node model in which n is defined as a specific action or asset and described as an acyclic graph (5) [2]:

$$G = (A), \quad (5)$$

where, $A = \{0, \dots, n + 1\}$ - the number of nodes (actions, assets); P is the sum of all paths in the network activity-on-node. Starting from 0 and ending with $n + 1$; P_l is the sum of the actions (works, assets) that are on the path $l \in P$.

Table 1 – Structure an innovative time-cost-quality tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation (adapted from [2])

Таблиця 1 – Структура інноваційної моделі оптимізації часу, вартості та якості проектів будівництва на основі розподілу ресурсів (адаптовано з [2])

Project (Contract)							Total Σ
Works							
Work k (1)	Work (...)	Work (<i>i</i>)				Work (.. <i>n</i> ..)	
Resource							
..	..	Labor force (<i>L_i</i>)	Building materials and products (<i>M_i</i>)	Construction equipment (<i>E_i</i>)	Administrati on of works (<i>A_i</i>)	..	
Key indicators (factors) of resources							
..	..	-productivity; -the cost of labor; -complete work; -quality of work.	- the cost of materials and products; -quality of materials and products	- productivity of construction machinery; - the cost of construction machinery; - number of construction equipment;	-administration cost; -quality of administration	..	
Time-Cost-Quality							
..	..	Time (<i>i</i>)				..	Σ Time
..	..	Cost <i>L_i</i> (<i>i</i>)	Cost <i>M_i</i> (<i>i</i>)	Cost <i>E_i</i> (<i>i</i>)	Cost <i>A_i</i> (<i>i</i>)	..	Σ Cost
..	..	Quality <i>L_i</i> (<i>i</i>)	Quality <i>M_i</i> (<i>i</i>)	Quality <i>E_i</i> (<i>i</i>)	Quality <i>A_i</i> (<i>i</i>)	..	Σ Quality

To further construct the model, it is necessary to determine the interaction between the indicators of resources that have the greatest impact on the time, cost and quality of the contracts (projects). According to the authors [2], for the following resources, the interaction of the following factors will be most influential:

1. Labor force (L). For this resource, the most important relationship is the relationship between productivity (P_L) and quality of work (Q_L). To determine this interaction we use formula (6):

$$P_{L(i)} = P_{L_i}^{max} - P_{kL_i} \times (Q_{L(i)} - Q_{L_i}^{min}), \quad (6)$$

where, $Q_{L(i)}$ - the actual level of work quality (i), involved in activities (i), $Q_{L(i)} \in (Q_{L_i}^{min}, Q_{L_i}^{max})$; $Q_{L_i}^{min}, Q_{L_i}^{max}$ - minimum and maximum level of work quality (i), involved in activities (i); $P_{kL_i} = (P_{L_i}^{max} - P_{L_i}^{min}) / (Q_{L_i}^{max} - Q_{L_i}^{min})$; $P_{L_i}^{min}, P_{L_i}^{max}$ - minimum and maximum level of labor productivity (i) involved in activities (i); $P_{L(i)}$ - factual level of labor productivity involved in activities (i), involved in activities i (i), $P_{L(i)} \in (P_{L_i}^{min}, P_{L_i}^{max})$.

2. Building materials and products (M). This resource will depend on the relationship between the cost of materials and products (C_M) and their quality (Q_M). The relationship between the cost of materials and their quality can be described by the formula (7):

$$C_{M(i)} = C_{M_i}^{min} - C_{kM_i} \times (Q_{M(i)} - Q_{M_i}^{min}), \quad (7)$$

where, $Q_{M(i)}$ - is the actual quality level of materials (i), $Q_{M(i)} \in (Q_{M_i}^{min}, Q_{M_i}^{max})$; $Q_{M_i}^{min}, Q_{M_i}^{max}$ - minimum and maximum quality of materials (i); $C_{kM_i} = (C_{M_i}^{max} - C_{M_i}^{min}) / (Q_{M_i}^{max} - Q_{M_i}^{min})$; $C_{M_i}^{min}, C_{M_i}^{max}$ - minimum and maximum cost of materials in activity (i); $C_{M(i)}$ - s the actual cost of the materials involved in the activity (i), $C_{M(i)} \in (C_{M_i}^{min}, C_{M_i}^{max})$.

3. Construction equipment (E). For construction equipment and machinery, important factors will be: the performance of construction equipment (P_E) its cost (C_E) and quality (Q_E). Since construction equipment is a factor that greatly affects the time, quality and cost of the project implementation, it is necessary to introduce a modification coefficient which takes into account the impact of this technique on time (8) [1]:

$$P_{(i)} = P_{L(i)} \times F_{mod(i)}, \quad (8)$$

where, $P_{(i)}$ - actual productivity in activit (i); $F_{(i)}$ - modification factor of labor productivity (i) due to change of parameters of construction equipment; $P_{L(i)}$ - labor productivity in activity (i).

The modification factor can be obtained from the quality of equipment (9):

$$F_{mod(i)} = F_i^{min} + F_{kM_i} \times (Q_{E(i)} - Q_{E_i}^{min}), \quad (9)$$

where, $F_{mod(i)}$ - modification factor of productivity of activity (i); $P_{E(i)}$ - labor productivity in activity (i); $F_{kM_i} = (F_i^{max} - F_i^{min}) / (Q_{E_i}^{max} - Q_{E_i}^{min})$; $Q_{E_i}^{min}, Q_{E_i}^{max}$ - max - minimum and maximum quality of construction machinery and equipment (i) in the activity (i).

In order to determine the relationship between the quality of equipment and its cost, Wenfa Hu and Xinhua He used the same linear dependence as for materials and products (formula 7) (10):

$$C_{E(i)} = C_{E_i}^{min} - C_{kE_i} \times (Q_{E(i)} - Q_{E_i}^{min}), \quad (10)$$

where, $Q_{E(i)}$ - is the actual level of construction equipment quality (i) in the activity (i), $Q_{E(i)} \in (Q_{E_i}^{min}, Q_{E_i}^{max})$; $Q_{E_i}^{min}, Q_{E_i}^{max}$ - minimum and maximum level of quality of construction equipment (i) in the activity (i); $C_{kE_i} = (C_{E_i}^{max} - C_{E_i}^{min}) / (Q_{E_i}^{max} - Q_{E_i}^{min})$; $C_{E_i}^{min}, C_{E_i}^{max}$ - minimum and maximum cost of construction equipment (i) in the activity (i); $C_{E(i)}$ - the actual cost of the construction equipment involved in the activity (i), $C_{E(i)} \in (C_{E_i}^{min}, C_{E_i}^{max})$.

It is known that on a building site, and especially on sections of roads where maintenance is carried out, there is a need for overtime work (as, for example, cleaning snow cover from the travel part 24 hours a day), which in turn reduces labor productivity and increases cost [2]. That is, in order to objectively determine the cost of work in this case, it will be necessary to use the coefficient of change in the cost of construction equipment for overtime work α_i [2] (11):

$$\begin{aligned} C_{E(i)} &= (C_{E_i}^{min} - C_{kE_i} \times (Q_{E(i)} - Q_{E_i}^{min})) \times \alpha_i = \\ &= (C_{E_i}^{min} - C_{kE_i} \times (Q_{E(i)} - Q_{E_i}^{min})) \times (1 + (D_{t(i)} - 1) \times S_{d_i}), \end{aligned} \quad (11)$$

Administration of works (A). For administration the most important is the relationship between quality (Q_A) and cost (C_A) work management (12):

$$C_{A(i)} = C_{A_i}^{min} - C_{kA_i} \times (Q_{A(i)} - Q_{A_i}^{min}), \quad (12)$$

where, $Q_{A(i)}$ - is the actual level of administration of work (i) in the activity (i), $Q_{A(i)} \in (Q_{A_i}^{min}, Q_{A_i}^{max})$; $Q_{A_i}^{min}, Q_{A_i}^{max}$ - minimum and maximum level of quality of administration of work (i) in activity (i); $C_{kA_i} = (C_{A_i}^{max} - C_{A_i}^{min}) / (Q_{A_i}^{max} - Q_{A_i}^{min})$; $C_{A_i}^{min}, C_{A_i}^{max}$ - minimum and maximum cost of administering work (i) in activity (i); $C_{A(i)}$ - the actual cost of administering work (i) in activity (i), $C_{A(i)} \in (C_{A_i}^{min}, C_{A_i}^{max})$.

We have determined that during the time of overtime, the cost of construction equipment for the corresponding work increases. The cost of administering works, in this case, will also increase, therefore, in order to objectively determine the cost of administering work in overtime, it is necessary to introduce an appropriate coefficient of increase in the cost of administering work in overtime β_i [2] (13):

$$\begin{aligned} C_{A(i)} &= (C_{A_i}^{min} - C_{kA_i} \times (Q_{A(i)} - Q_{A_i}^{min})) \times \beta_i = \\ &= (C_{A_i}^{min} - C_{kA_i} \times (Q_{A(i)} - Q_{A_i}^{min})) \times (RT_i + 1 - \frac{RT_i}{D_{t(i)}}), \end{aligned} \quad (13)$$

where, β_i - coefficient of change in the cost of administration for overtime work (associated with an increase in the number of used construction equipment and equipment); $\beta_i = (RT_i + 1 - \frac{RT_i}{D_{t(i)}})$; RT_i - hourly rate of administration of work in overtime (we accept equal to 2.0 [2]).

For the final completion of the definition of the basic model interrelations, it is necessary to determine how the work force affects the time of activity (work) and vice versa. To determine the time it takes to realize a particular activity, you need to know the amount of work, the actual productivity of the work and the factors that determine the overtime work or not (14):

$$T_{d(i)} = V_{d(i)} / P_{d(i)} \times D_{t(i)}, \quad (14)$$

where, $T_{d(i)}$ – time of implementation of activity (i); $V_{d(i)}$ – volume of activity (i); $P_{d(i)}$ – actual performance in activity (i); $D_{t(i)}$ – coefficient of overtime work, $D_{t(i)} \in [1,0,1,5]$ – if overtime work is performed from 0 to 4 hours per day (since the working day is 8 hours per day), $D_{t(i)} = 1.0$ – if there are no overtime work.

The cost of labor is determined by the cost of activity (i) and the overtime work (if any) (15):

$$\begin{aligned} C_{L(i)} &= C_{t_i}^S \times T_{d(i)} + (D_{t(i)} - 1) \times (C_{Dt(i)} \times C_{t_i}^S) \times T_{d(i)} = \\ &= C_{t_i}^S \times T_{d(i)} \times \left[1 + (D_{t(i)} - 1) \times C_{Dt(i)} \right] = \\ &= (C_{t_i}^S \times V_{d(i)}) \times ([P_{L_i}^{max} - P_{kL_i} \times (Q_{L(i)} - Q_{L_i}^{min})] \times \\ &\times [F_{mod_i}^{min} + F_{kM_i} \times (Q_{E(i)} - Q_{E_i}^{min})])^{-1} \times (C_{Dt(i)} + 1 - C_{Dt(i)} / D_{t(i)}), \end{aligned} \quad (15)$$

where, $C_{L(i)}$ – cost of labor in activity (i); $C_{t_i}^S$ – cost of work per unit of time (example: day) of activity (i); $C_{Dt(i)}$ – the coefficient of taking into account the cost of work activities (i) in the extraordinary time (we accept equal to 2.0 [2]).

Having determined the basic relationships of the indicators (factors) of resources, one can finally describe the model. To do this, we will describe the formulas that help determine the time (formula 16), cost (formula 17) and quality (formula 18):

1. Total time (T):

$$T = \max_{i=1,n}(t_{est(i)} + T_{d(i)}), \quad (16)$$

where, T – total duration of the project (contract); $t_{est(i)} = \max_{h=1,i-1}(t_{est(n)} + T_{d(i)})$, early start of activity (i) early start of activity (i) which corresponds to the end of previous work and the first $t_{est_1} = 0$.

2. Total cost (C):

$$C = \sum_{i=1}^n (C_{L(i)} + C_{M(i)} + C_{E(i)} + C_{A(i)}), \quad (17)$$

where, C – total cost of work; $C_{L(i)}$, $C_{M(i)}$, $C_{E(i)}$, $C_{A(i)}$ – the cost of works, materials and products, construction equipment, administration of activity (i); n – quantity of works.

3. Total quality (Q):

$$Q = \sum_{i=1}^n (g_i \times Q_{total(i)}), \quad (17)$$

where, Q – total quality of the project; n – quantity of works in the project; g_i – quality score for each activity (i), $\sum_{i=1}^n WT_i = 1.0$; $Q_{total(i)}$ – the quality of the activity (i), calculated taking into account the quality of work, materials and products, construction equipment, administration, $Q_{total(i)} = L_{WT_i} \times Q_{L(i)} + M_{WT_i} \times Q_{M(i)} + E_{WT_i} \times Q_{E(i)} + A_{WT_i} \times Q_{A(i)}$; L_{WT_i} , M_{WT_i} , E_{WT_i} , A_{WT_i} – indicators of quality of works, materials and products, construction equipment, administration of activities (i); $Q_{L(i)}$, $Q_{M(i)}$, $Q_{E(i)}$, $Q_{A(i)}$ – quality of work, materials and products, construction equipment, administration of activities (i).

Having defined the total time, cost and quality of the project (contract), you need to specify the conditions (boundaries) of the task. A contract can only be successfully implemented if it is executed in minimal time in accordance with the requirements for the quality of work (DBN, DSTU, etc.) and without over-spending of funds, ie within the limits specified in the budget contract [2,3]. Based on these requirements one can form the main conditions (boundaries) of the model (18):

$$\begin{array}{ll} \min & Z_1 = T, \\ \text{s. t.} & C \cdot X \leq A; Q \cdot X \geq B, \end{array} \quad (18)$$

where, A – maximum cost; B – minimum requirements for the quality of work; $X = [D_{t(1)} \dots D_{t(n)} Q_{L(1)} \dots Q_{L(n)} Q_{M(1)} \dots Q_{M(n)} Q_{E(1)} \dots Q_{E(n)} Q_{A(1)} \dots Q_{A(n)}]_{1 \times 5n}^T$ – vector of all variables of the model.

After defining all the data and setting the terms of the task, you must choose a method by which you can solve the multi-purpose task of optimizing time, cost and quality. In this and previous articles, we have already noted that for our purposes, the genetic algorithms are the most effective in our opinion [3,14]. For this model authors [1] also used the genetic algorithm, as a method of solving the optimization problem.

In [1], the authors proposed a model for construction projects, which determines the features of the model. It should be noted that this model was not used in the maintenance of roads on the basis of OPRS. By analyzing this model and comparing with the factors that we determined in [12, 13], an attempt will be made to use an innovative model to optimize the time, cost and quality of construction projects for maintenance of roads, taking into account all the features of this process.

Conclusions and Recommendations:

1. For the successful implementation of long-term contracts, the task of optimizing the "time-cost-quality" ratio must be solved. In modern scientific literature, many methods and models are considered, the purpose of which is to solve this tasks. These methods and models can be divided into: mathematical, heuristic, and metheuristic.

2. Based on the analysis conducted, it can be concluded that the issues of optimization of the "time-cost-quality" ratio, for maintenance of roads, had not risen before. Given the current state of motor roads in Ukraine, the requirements for their operational status and the need for the transition from short-to-long-term contracts for maintenance of roads, there is a need to create a modern optimization model to justify the "time-cost-quality" relationship in the contracts of maintenance maintenance of highways based on the final indicators.

3. In this study, an innovative model for optimizing the time, cost and quality of construction projects based on resource allocation, the authors of Wenfa Hu and Xinhua He, was taken as the basis for the creation of the model. This model is based on the structural division of the project (contract) into work, the time, cost and quality of which will depend on such resources as: construction work (labor costs of workers) (L); materials and products (M); equipment (E) and administration (A). However, it should be noted that this model is effective for optimizing the time, cost and quality of projects in civil engineering, and for the maintenance of roads, this model has not been used before. Therefore, there is a need for a more detailed consideration of the innovative model and its possible improvement, adaptation or addition, in accordance with the requirements and needs of the current state of the maintenance system of Ukrainian highways.

4. In our opinion, an innovative model for optimizing time, cost and quality of projects on the basis of resource allocation is the most optimal and progressive for use as a basis for optimizing the time-cost-quality ratio of operational maintenance of highways on the basis of Output and Performance-based Road Contract.

References

1. State target economic program for the development of public roads of state importance for 2018-2022 years. [Electronic resource]. - Access mode: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%d0%bf>. (Ukr)

2. Wenfa Hu¹, Xinhua He. An Innovative Time-Cost-Quality Tradeoff Modeling of Building Construction Project Based on Resource Allocation. Hindawi Publishing Corporation. Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 673248, 10 pages.
3. Zavorotnyi S. M. Analysis of methods of optimization of ratio «time – value» to implement performance based road maintenance contracts / S. M. Zavorotnyi, A. M. Kharchenko // Highways and Road Construction. - K.: NTU, 2017. - Vol. 101. (Ukr)
4. Jorge M-M. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. New Developments in Pure and Applied Mathematics. [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>. (Eng)
5. Training materials online. Marketing pricing policy. [Electronic resource]. - Access mode: http://pidruchniki.com/18260617/marketing/vitrati_vklyuchennyam_sobivartist. (Ukr)
6. Yang I.T. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis, J. Constr. Eng. Manage. Vol. 133, No. 7, 2007, - pp. 498–505. (Eng)
7. Xiong Y., Kuang Y. Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time–cost trade-off, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 134, No. 2, 2008, - pp. 153- 156. (Eng)
8. Ng S.T., Zhang Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 134, No. 9, 2008, - pp. 721-728. (Eng)
9. Geem Z. W. Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 136, No. 6, 2010, - pp. 711- 716. (Eng)
10. Leu S., Yang S. Genetic algorithm based multi-criteria optimal model for construction scheduling. Journal of Construction Engineering and Management, 1999, 125(6): 420-427. (Eng)
11. K. El-Rayes and A. Kandil, “Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction,” Journal of Construction Engineering and Management, vol. 131, no. 4, pp. 477–486, 2005. (Eng)
12. Zavorotnyi S. M. Factors affecting the time, value and quality of realization to performance based road maintenance contracts / S. M. Zavorotnyi, A. M. Kharchenko // Project management, systems analysis and logistics. - K.: NTU, 2018. - Vol. 1 (Ukr)
13. Zavorotnyi S. M. Optimization of Relations "Time - Cost" to smplement performance based road maintenance contracts / S. M. Zavorotnyi, A. M. Kharchenko // Project management, systems analysis and logistics. Part 1: Series «Engineering» – K.: NTU – 2016. – Vol. 18. (Ukr)
14. Zavorotnyi S. M. Genetic algorithm as optimization method relationship "time - cost" to implement performance based road maintenance contracts / S. M. Zavorotnyi, A. M. Kharchenko // Highways and Road Construction. - K.: NTU, 2018. - Vol. 102. (Ukr)

АЛГОРИТМ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ЧАС-ВАРТІСТЬ-ЯКІСТЬ» У ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТАХ З УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Заворотний Сергій Миколайович, Національний транспортний університет, вул. Омеляновича Павленка 1, Київ, Україна 01010, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: seregazavorotnyi@gmail.com, тел. +380632406670, <https://orcid.org/0000-0002-2139-8877>

Анотація. В даному дослідженні розглянуто основні групи методів та моделей оптимізації залежності «час-вартість-якість», які умовно можна поділити на: математичні, евристичні та метаевристичні. Наведено основні переваги та недоліки даних методів. Математичні мають високу точність отриманих результатів, але виникає необхідність виконати велику кількість розрахунків. Евристичні більш прості та зрозумілі в порівнянні з іншими, але не забезпечують глобальну оптимізацію. Метаевристичні мають достатній рівень точності розрахунків та досить гнучкі за рахунок поєднання в собі попередніх двох методів.

Також на основі проведеного аналізу було визначено оптимальний метод, який на даний час є найбільш прогресивним. Відповідно до тенденцій розвитку та переваг достатньо ефективним є метаевристичний метод. Для створення алгоритму обґрунтування залежності «час-вартість-якість» було досліджено структуру інноваційної моделі оптимізації часу, вартості та якості проектів будівництва на основі розподілу ресурсів авторів Венфа і Ксінхуа. Детальний аналіз даної моделі дозволив отримати рівняння за допомогою яких можна обґрунтувати залежність «час-вартість-якість».

Ключові слова: довгострокові контракти засновані на кінцевих показниках, експлуатаційне утримання автомобільних доріг, оптимізація.

Перелік посилань

1. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%d0%bf>.
 2. Wenfa Hu, Xinhua He. An Innovative Time-Cost-Quality Tradeoff Modeling of Building Construction Project Based on Resource Allocation. Hindawi Publishing Corporation. Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 673248, 10 p.
 3. Заворотний С.М. Аналіз методів оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках/ Заворотний С.М., Харченко А.М. //Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 101.
 4. Jorge M-M. Multiobjective Genetic Algorithm-Based for Time-Cost Optimization. New Developments in Pure and Applied Mathematics. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.inase.org/library/2015/vienna/bypaper/MAPUR/MAPUR-12.pdf>.
 5. Навчальні матеріали онлайн. Маркетингова цінова політика. [Електронний ресурс]. -Режим доступу: http://pidruchniki.com/18260617/marketing/vitrati_vklyuchennyam_sobivartist.
 6. Yang I.T. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis, J. Constr. Eng. Manage. Vol. 133, No. 7, 2007, - pp. 498–505.
 7. Xiong Y., Kuang Y. Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time–cost trade-off, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 134, No. 2, 2008, - pp. 153- 156.
 8. Ng S.T., Zhang Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE , Vol. 134, No. 9, 2008, - pp. 721-728.
 9. Geem Z. W. Multiobjective optimization of time-cost trade-off using harmony search, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 136, No. 6, 2010, - pp. 711- 716.
 10. Leu S., Yang S. Genetic algorithm based multi-criteria optimal model for construction scheduling. Journal of Construction Engineering and Management, 1999, 125(6): 420-427.
 11. K. El-Rayes and A. Kandil, “Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction,” Journal of Construction Engineering and Management, vol. 131, no. 4, pp. 477–486, 2005.
 12. Заворотний С.М. Фактори, які впливають на час, вартість та якість реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках / Заворотний С.М., Харченко А.М. //Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ, 2018. – Вип. 1.
 13. Заворотний С.М. Оптимізація відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках/ Заворотний С.М., Харченко А.М. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Ч.1: Серія «Технічні науки» – К.: НТУ, 2016. – Вип. 18.
- Заворотний С.М. Генетичний алгоритм, як метод оптимізації відношення «час – вартість» для реалізації довгострокових контрактів заснованих на кінцевих показниках / Заворотний С.М., Харченко А.М. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2018. – Вип. 102.

УДК 624.21.095
UDC 624.21.095

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ЗОН СПОЛУЧЕННЯ МОСТІВ З НАСИПАМИ

ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES DESIGNING ZONES CONNECTING OF BRIDGES WITH EMBANKMENTS



Кушнір Олександр Володимирович, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, аспірант, dornii48@gmail.com, +380974432495,

<https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Анотація. Перші дефекти в перехідній зоні, між прогоновою будовою мостів і насипами підходів, як правило, з'являються дуже швидко. Це було постійною проблемою і для автомобільних і для залізничних мостів. В той же час, в Україні та в інших країнах бувшого радянського союзу, серйозні дослідження, щодо покращення експлуатаційних властивостей цього вузлу не проводили з 1970-х років.

Різниця міцності дорожнього одягу на мостовій прогоновій будові (їздовому полотні) та у зоні насипу дороги є фундаментальним питанням. І вона, ця різна міцність, негативно впливає на експлуатаційний стан транспортних засобів, самої споруди, комфорт пасажирів.

Визначення механізму деградації зони сполучення насипу з мостом та факторів, що впливають на зменшення швидкості деградації дорожнього одягу в зону переходу моста є складною задачею. Нажаль, ця проблема не вирішена. А ремонтні заходи є достатньо витратними і не завжди забезпечують бажаний результат.

У цій статті проведено аналіз доступної літератури щодо проектування, будівництва, ремонту, експлуатації, моніторингу та досліджень зони сполучення мосту з насипом, її їздового полотна. Стаття містить результати літературного огляду, присвячений питанням конструкції та конструкції перехідної плити. В даний час посібники для проектувальників не доступні, що вимагає від практикуючих інженерів та державних департаментів транспорту покладатися на досвід та часте обслуговування. Такий посібник рекомендується розробити для того, щоб розпочати процес стандартизації конструкцій плит для під'їздів до мосту.

Ключові слова: підходи до мостів, дорожній одяг, асфальтобетонне покриття, перехідна плита, стоян, проїзна частина.

Вступ. Основним завданням влаштування перехідних плит у місцях сполучення мостів з автомобільною дорогою є забезпечення плавного переходу від конструкції насипу підходу до більш жорсткої конструкції прогонової будови мосту. В той же час, у процесі експлуатації транспортних споруд виникають різні види дефектів, що значно погіршують безпеку руху та знижують довговічність мостів, а також конструкції дорожнього одягу у зоні спряження [1-5].

Мета і методи. Метою даних досліджень було провести аналіз доступної літератури щодо проектування, будівництва, ремонту, експлуатації, моніторингу та досліджень зони сполучення мосту з насипом, її їздового полотна.

Результати і пояснення. Зрозуміло, що сучасні конструкції сполучення прогонової будови і насипів підходів мостів пройшли великий шлях вдосконалення.

Аналіз різних рішень, щодо поліпшення експлуатаційних якостей вузла сполучення мостів і шляхопроводів з насипом дороги до 2000-х років показує, що всі вони можуть бути поділені на два основні типи, а саме:

- з застосуванням перехідних плит;
- без застосування перехідних плит.

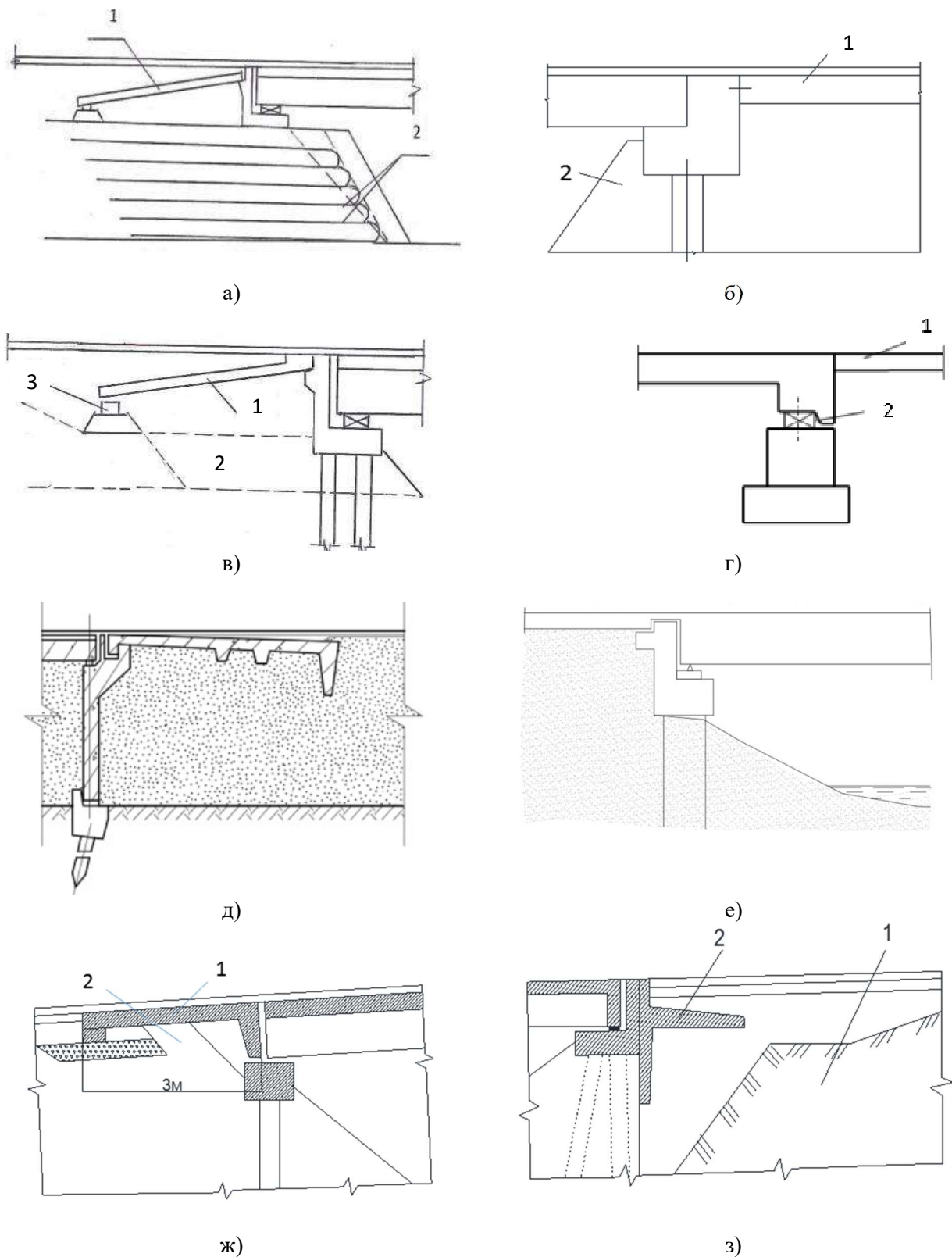


Рисунок 1 - Види сполучень постів з підходами [3, 4, 6]: 1 - перехідна плита; 2 - ґрунт насипу підходів.

Figure 1 - Connection means of overpasses construction with approach [3, 4, 6]: 1 - cross-over plate; 2 - the soil is ramped up.

В статтях сучасних науковців [6, 7, 4] можна зустріти багато інформації щодо позитивного застосування стоянів інтегрального (полуінтегрального) типів. Також, деякі науковці виділяють окрему групу мостів без перехідних плит з поліпшенням властивостей ґрунтів насипу (укріплення

грунту за рахунок додавання добавок, влаштування геосинтетичних прошарків, дренажних систем). В той же час застосування залізобетонних перехідних плит - досить простий і ефективний спосіб забезпечення рівності в місцях сполучення мосту з насипом. Крім цього, це рішення перевірене часом. Таке рішення використовується у вітчизняній практиці з 70-х років минулого століття після впровадження рекомендацій, розроблених в «СоюздорНИИ» [8-11], які використовують з [12].

Відомо багато технічних рішень, спрямованих на зниження зазначених негативних ефектів [3-6] (Рис. 1). Не всі рішення знайшли застосування на практиці, деякі, так і залишилися незатребуваними проектувальниками і будівельниками через відсутність експериментальної перевірки їх ефективності.

В Україні мостовики-дорожники користуються [12]. І на це є, як мінімум дві причини:

- в Україні близько 16 тис. мостів з яких більше половини влаштовано з перехідними плитами;
- інших посібників чи нормативних документів, просто не має.

Метод застосування перехідних має, як ряд переваг [8, 9], так свої недоліки.

До переваг можна віднести те, що при застосуванні перехідних плит зазвичай забезпечується плавний перехід від конструкції насипу підходу до більш жорсткої конструкції прогонової будови мосту. Крім цього, це один з дешевших і доступних (простіших) способів, як будівництва так і експлуатації.

Серед недоліків можна назвати, що у разі типового сполучення стояна з насипом підходу перехідною плитою конструктивно забезпечується шарнірне сполучення плити зі шафовою частиною стояна [4, 5]. В той же час, деформаційний шов над стояном сприяє виникненню ударів від коліс транспортних засобів, що рухаються по ньому, а перехідною плитою не гарантовано непопадання води з проїзної частини до конструкції стояна. Шарнірне з'єднання перехідної плити з стояном теж не забезпечує водонепроникнення і, таким чином, вода потрапляє всередину ґрунтового масиву насипу, що викликає його часткове ущільнення, яке проявляється в просіданні насипного ґрунту. Крім того, через динамічний вплив рухомих навантажень ґрунт насипу під перехідною плитою ущільнюється, і інтенсивність горизонтального тиску ґрунту на стоян збільшується.

Так, дослідження «СоюздорНИИ» виконували з розумінням необхідності комплексного підходу до проектування та будівництва мостів з насипами - «міст - земляне полотно - покриття». Але за основний критерій оцінки в 70-х роках приймали плавність проїзду по сполученню, яку визначали допустимими вертикальними прискореннями, яких зазнає автомобіль при проході нерівності. При тому, що сучасна норма згідно з 3.5.1 [15] У місцях сполучення насипу земляного полотна із стояками мостів і шляхопроводів не допускається осідання глибиною більше ніж 4 см.

А розрахунковим типом автомобіля було прийнято легковий, найбільше вертикальне прискорення якого прийнято $2,9 \text{ м/с}^2$.

Сьогодні, маючи велику кількість транспортних споруд з перехідними плитами ми спостерігаємо такі дефекти покриття, як тріщини та просідання, але розглядаємо їх з позицій довговічності. Тобто, властивості системи «міст - земляне полотно - покриття - деформаційний шов», яка здатна довго зберігати працездатність до настання граничного стану при певних умовах експлуатації.

Вирішення будь-якої проблеми слід починати з аналізу. Але для того, щоб виконати якісний аналіз таких дефектів важливо розуміти, ці дефекти виникають в процесі експлуатації, як наслідок не дотримання або недосконалої технології, або вони виникають, як результат помилки проектанта. В Україні має місце і ще одна причина – великоваговий транспорт, з наднавантаженнями на вісь. Прослідкувати це в Україні видається майже нереальним. Для цього має працювати серйозна система моніторингу, якої не має. А також, у більшості випадків не має даних у паспортах на споруди, які Укравтодор спільно з ДП ДерждорНДІ намагаються розробити. До слова, зроблено багато, а зробити потрібно ще більше.

Суттєвим недоліком вважаю той факт, що в діючих документах [8-10] не достатньо інформації для прийняття технічних рішень інженерами-проектантами на етапі нового будівництва та капітального ремонту. Деякі рішення, зокрема, щодо заглиблення перехідної плити виглядають не достатньо обґрунтованими.

Згідно одних даних [8-12] залежно від типу покриття, що влаштовується на підходах до мосту, застосовують такі типи перехідні плити - напівзаглиблені (Рисунок 2.б), якщо від верху плити до верху покриття дорожнього одягу відстань 45 мм і плити заглиблені (Рисунок 2.в), якщо від верху плити до верху покриття дорожнього одягу відстань 75 мм. З інших [13, 14], перехідні плити напівзаглиблені, якщо від низу плити до верху покриття дорожнього одягу відстань 45 мм.

Згідно з п. 11 [8] глибину укладання від поверхні покриття до верху перехідної плити у обпирання її на шафову стінку (а) і на кінці плити (б) приймають по табл. 1.

Таблиця 1

Тип переходних плит	Розміри, см	
	a	б
Напівзаглиблені	12	45
Заглиблені	30	70

Довжину перехідних плит призначають в залежності від очікуваних осад тіла і основи земляного полотна.

При недостатності даних про фізико-механічні характеристики ґрунтів довжину плит приймають в залежності від висоти насипу і гідрогеологічних умов її заснування по табл. 2.

Таблиця 2

Висота насипу, м	Довжина плит, м, при ґрунтах основання насипу	
	малостискаємих	підвищеної стискаємості
2-4	4	4
4-5	4	6
5-6	4-6	6-8
6-7	6	8
7-8	6	8
Більше 8	8	8

Примітка: До малостискаємих ґрунтів (Табл. 3) відносяться піски вологі і насичені водою, супіски слабозволожені, суглинки твердопластичні і т.п.; до ґрунтів підвищеної стискаємості - супіски вологі, суглинки тугoplastичні і т.п.

Є ще одна суттєва несправедливість, вимоги щодо конструкції дорожнього одягу [9] давно застаріли. На вулиці 2020 рік, у нас сучасна будівельна техніка, ми використовуємо велику кількість сучасних модифікуючих добавок для ДБМ [16], маємо нові вимоги до мінімальних товщини ДБМ в конструкції дорожнього одягу та нові уточнені розрахункові характеристики для матеріалів.

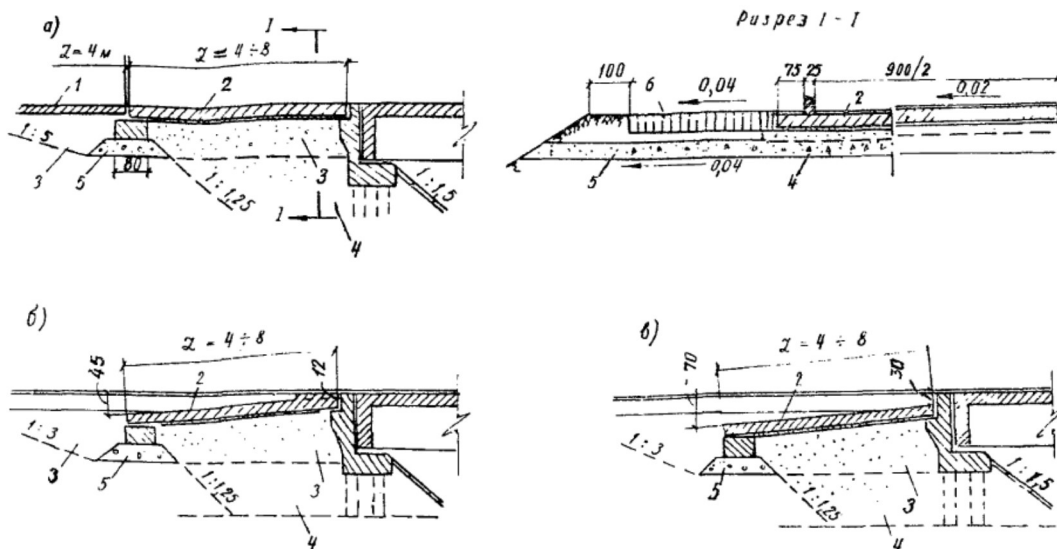


Рисунок 2 – Конструкції сполучення моста з насипом для цементобетонних покриттів (а) і для асфальтобетонних покриттів - напівзаглибленої плити (б), заглибленої плити (в): де 1 - проміжна плита; 2 - перехідна плита; 3 - крупно- і середньозернистий пісок; 4 - дренажний ґрунт; 5 - гравійно-щебенева подушка; 6 - укріплений ґрунт або асфальтобетон

Figure 2 – Constructions connection of the bridge with embankment for cement-concrete coatings (a) and for asphalt concrete coatings- semi-insulated plate (b), deepened plate (c): where 1 - intermediate plate; 2 - transition plate; 3 - large and medium grained sand; 4 - drainage soil; 5 - gravel-rubble pillow; 6 - reinforced soil or asphalt concrete

Сполучення мостів з насипом без застосування перехідних плит і спеціальних заходів взагалі не витримують ніякої критики. Навіть в тих випадках, коли ми даємо насипу підходів вистоятися (стабілізуватися) два і більше років, що сьогодні, просто не реально.

В [17, 18] інформації про заглиблені перехідні плити не має.

За кордоном в 1997-1999 роках були проведені дослідження [5], які дозволили запропонувати наступні заходи:

1. Прийняти нові порогові обсяги руху, вищі за встановлені раніше, для обов'язкового використання перехідних плит. Новий ліміт 1700 транспортних засобів на день на смугу руху та 250 транспортних засобів на годину на смугу руху, що відображає реальну пропускну здатність.

2. Вимагати використання перехідних плит для мостів при новому будівництві на всіх автодорогах, коли проектний обсяг руху перевищує обидва пороги. Усі проекти повинні бути погоджені з Державним Дорожнім Управлінням та мостовим інженером.

3. Коли перехідні плити влаштовано, їх треба перевірити на предмет відповідності проектного розрахунку та реального трафіку.

4. Перехідні плити потрібно будувати на повну ширину проїзної частини мосту (від бордюру до бордюру) щоб мінімізувати попадання води в насип.

5. Переконалися, що довжина перехідної плити сумісна з очікуваним осіданням ґрунтової основи насипу. Більш довгі перехідні плити слід влаштовувати у випадках, що передбачають дуже «м'яку» основу ґрунту та/або високі насипи для забезпечення більш поступового переходу.

6. Перехідні плити мостів побудовані на дорогах з асфальтобетонним покриттям і на неінтегральних мостах влаштовують нижче «червоної лінії» на 50 до 100 мм (глибина для полегшення фрезерування і дозволяє влаштувати дренаж між тротуаром і базовим підходом плити. Запропоновано проект, де кінець перехідної плити заглиблено на 700 мм нижче поверхні і похилий від стояна (рис. 3). Ця деталь дозволяє розміщення повного перекриття покриття на вершині підходу плити і забезпечує дренажування води подалі від задньої стінки.

7. У всі звіти про геологію для всіх проектів мостів включати: повний розрахунковий аналіз надр та надання рекомендацій, щодо поліпшення ґрунту, що стосується будівництва підходів. Влаштування підходів мосту повинні розглядатися, як окреме питання проектування, з врахуванням конкретних ґрунтів, об'ємів руху, типу будови та інших особливостей експлуатації. Повинні бути виділені ресурси для виконання цих завдань, переглянуті та доповнені нормативні вимоги.

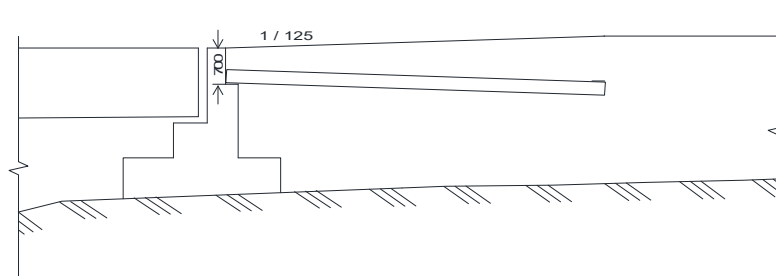


Рисунок 3 - Перехідна плита, та деякі конструктивні особливості [5]

Figure 3 - Proposed Approach Slab Details for Non-Integral Bridges [5]

8. Прийняти технічні характеристики матеріалів заповнювача, для будівництва мостового підходу, спрямовані на мінімізацію осідання насипу.

9. За можливості, влаштовувати нахил перехідної плити мосту до 1/125. Запропоновано цю концепцію впроваджувати поступово протягом 2 або 3 років для моніторингу та оцінки ефективності.

Висновки. Перехідні плити - важливий елемент для довгострокової експлуатації в задовільному стані мостів та шляхопроводів.

Огляд літератури розкриває деякі проблеми застосування перехідних плит мостових споруд та причини їх виникнення (нахил плити), сучасні конструктивні особливості (форма, розміри, способи кріплення плити), висновки, щодо проектування та обслуговування та рекомендації, які були зроблені для покращення експлуатаційних характеристик та терміну служби. У цій статті проведено аналіз

доступної літератури, щодо проектування, будівництва, ремонту, експлуатації, моніторингу та досліджень зони сполучення мосту з насипом, її їздового полотна. Стаття містить результати літературного огляду, присвяченого питанням конструкції дорожнього одягу та конструкції перехідної плити. Перехідні плити можуть бути різних геометричних розмірів і влаштовуватись з різним нахилом в тілі насипу, а це вимагає від проєктантів застосовувати індивідуальні рішення для дорожнього одягу. В даний час посібники для проєктувальників не доступні, що вимагає від інженерів-проєктантів та державних дорожніх служб покладатися на досвід та часте обслуговування. Такий посібник рекомендується розробити для того, щоб розпочати процес стандартизації конструкцій зон сполучення мостів з насипами.

Перелік посилань.

1. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям
2. Пегин П. А. Обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью / Пегин П. А., Лапин А. В. // ВЕСТНИК. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). - 2012. - № 3(30). - С. 92-95.
3. Попов В. И. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов / Попов В. И., Прохоров А. А. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». - 2014. - № 5(24). <http://naukovedenie.ru>
4. Попов В.И. Совершенствование конструкции сопряжения путепроводов с насыпью путем применения интегральных устоев <http://web.snauka.ru/issues/2017/03/79830>
5. C. Gallage, B. Dareeju, S. Dhanasekar State-of-the-art: track degradation at bridge transitions
6. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilitidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.,
7. Damien Dreier, Dr., Civil Eng.; Olivier Burdet, Dr., Civil Eng.; Aurelio Muttoni, Prof., Dr., Civil Eng.; EPFL-IBETON, Lausanne, Switzerland. Contact: damien.dreier@a3epfl.ch DOI: 10.2749/101686611X12994961034174 Transition Slabs of Integral Abutment Bridges
8. Методические рекомендации по проектированию и строительству сопряжений автодорожных мостов и путепроводов с насыпью / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (СОЮЗДОРНИИ). - Москва. - 1971
9. Методические рекомендации по проектированию и строительству сопряжений автодорожных мостов и путепроводов с насыпью / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (СОЮЗДОРНИИ). - Москва. - 1975 (Діючий)
10. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проєктування [Чинний від 2005-09-03]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 20 с. – (Національні стандарти України)
11. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проєктування [Чинний від 2005-09-03]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 20 с. – (Національні стандарти України)
12. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений Серия 3.503.I-96 Сопряжение автодорожных мостов и путепроводов с насыпью, ВЫПУСК О-І, Конструкции сопряжения материалы для проектирования
13. <https://helpiks.org/9-12198.html>,
14. <http://delostroiika.ru/wood-stroi/construction/3426-proezzhasya-chast-dlya-avtodorozhnyh-mostov-i-sopryazhenie-ih-s-nasypami.html>
15. ДСТУ 3587-97 Безопасность дорожного движения Автомобильные дороги, улицы и железнодорожные переезды / Требования к эксплуатационному состоянию
16. Каталог сучасних матеріалів для будівництва, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування / ДерждорНДІ, Київ 2011 111 с

17. ВСН 5-78 Інструкція з проектування і будівництва підвалин автодорожніх мостів і шляхопроводів, обсіпаних місцевими ґрунтами з урахуванням умов Молдавської РСР

18. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы

ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES DESIGNING ZONES CONNECTING OF BRIDGES WITH EMBANKMENTS

Kushnir Alexander Vladimirovich, National Transport University, Department of Road Construction Materials and Chemistry, postgraduate student, dornii48@gmail.com, +380974432495, <https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Abstract. The first defects in the transition zone between run structure of bridges and embankments of approaches, usually, appear very quickly. This was a constant problem and for road and rail bridges. At the same time, in Ukraine and in other countries of the former Soviet Union, serious studies have not been conducted to improve the performance of this unit since the 1970s.

The difference between the strength of the roadway on the bridge structure (driveway) and in the embankment area is a fundamental issue. And it, this different strength, adversely affects the operational condition of the vehicles, the structure itself, passenger comfort.

Determination of the mechanism of degradation of the bridge embankment area and the factors that influence the reduction of the speed of degradation of the roadway to the bridge crossing area. Unfortunately, this problem is not resolved. And repairs are expensive and do not always provide the desired result.

This article analyzes available literature on the design, construction, repair, operation, monitoring, and research of the bridge and embankment area of the bridge. The article contains the results of a literature review on the design and construction of the transition plate. Design guides are currently not available, which requires practicing engineers and state transportation departments to rely on experience and frequent service. It is recommended that this guide be developed to begin the process of standardizing slab structures for entrances to the bridge.

Keywords: approaches to bridges, road clothes, asphalt concrete coats, transition plate, stoyan, roadway.

References

1. Kushnir O.V. Provision of durability of road clothing on approaches to bridges with asphalt concrete
2. Pegin P.A., Ensuring the smoothness of the road surface and the safety of traffic of vehicles in the places where the bridge is connected with the embankment / Pegin PA, Lapin AV // VESTNIK. Moscow Highway State Technical University (MADI). - 2012. - № 3 (30). 92 P. 92-95.
3. Popov V.I. Methods of pairing of overpass structures with embankments of approaches / Popov V.I., Prokhorov A.A. // Internet-magazine "Naukovodeniye". - 2014. - No.5 (24). <http://naukovedenie.ru>
4. Popov VI Improvement of design of interfacing of overpasses with embankment by application of integral stands <http://web.snauka.ru/issues/2017/03/79830>
5. C. Gallage, B. Dareeju, S. Dhanasekar State-of-the-art: track degradation at bridge transitions https://www.researchgate.net/publication/277294173_State-of-the-art_track_degradation_at_bridge_transitions
6. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilotidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.
7. Damien Dreier, M.D., Civil Eng .; Olivier Burdet, M.D., Civil Eng .; Aurelio Muttoni, Prof., MD, Civil Eng .; EPFL-IBETON, Lausanne, Switzerland. Contact: damien.dreier@a3epfl.ch DOI: 10.2749 / 101686611X12994961034174 Transition Slabs of Integral Abutment Bridges
8. Methodical recommendations for the design and construction of conjugations of road bridges and embankments with embankment / State All-Union Road Research Institute (SOUZDORNII). - Moscow. - 1971
9. Methodical recommendations for the design and construction of conjugations of road bridges and embankments with embankment / State All-Union Road Research Institute (SOYUZDORNII). - Moscow. - 1975 (Active)
10. DBN B.2.3-14: 2006 Transport facilities. Bridges and pipes. Design Rules [Valid from 2005-09-03]. - K .: State Consumer Standard of Ukraine, 2008. - 20 p. - (National Standards of Ukraine)
11. DBN B.2.3-22: 2009. Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design requirements [Effective on 2005-09-03]. - K .: State Consumer Standard of Ukraine, 2008. - 20 p. - (National Standards of Ukraine)

12. Typical Structures, Products and Units of Buildings and Structures Series 3.503.I-96 Coupling of Road Bridges and Overpasses with Bulk, ISSUE O-I, Coupling Designs Design Materials
13. <https://helpiks.org/9-12198.html>,
14. <http://delostroika.ru/wood-stroi/construction/3426-proezzhaya-chast-dlya-avtodorozhnyh-mostov-i-sopryazhenie-ih-s-nasypami.html>
15. DSTU 3587-97 Road Safety Highways, Streets and Railway Crossings / Performance Requirements
16. Directory of modern materials for construction, repair and maintenance of public highways / State Research Institute, Kyiv 2011 111 p.
17. VSN 5-78 Instruction on the design and construction of the foundations of road bridges and overpasses strewn with local soil taking into account the conditions of the Moldavian SSR
18. SNIP 2.05.03-84 Overpasses and Underpasses

УДК 624.21.095:539.3
UDC 624.21.095:539.3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИГИНУ БАЛОЧНО-ПЛИТНИХ СИСТЕМ МОСТІВ ПІД ДІЄЮ СИНУСОЇДАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF BENDING OF BEAM-PLATE SYSTEMS OF BRIDGES UNDER THE ACTION OF SINUSOIDAL LOAD



Канін Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: kaninap@ukr.net, +380442807909,

<http://orcid.org/0000-0001-6849-2505>



Гриневицький Борис Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260,

<http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>



Цибульський Віталій Миколайович, Національний транспортний університет, кафедра опору матеріалів та машинознавства, старший викладач, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876,

<http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Анотація. Виконаний порівняльний аналіз компонентів напружено-деформованого стану балочно-плитної шаруватої конструкції автодорожнього моста під дією синусоїдального навантаження. За розрахункову схему була прийнята конструкція, яка складається з трьох шарів з різними геометричними та фізико-механічними характеристиками.

Розрахунок прогинів та нормальних напружень виконано за класичною, тривимірною та уточненою некласичною моделями. За результатами отриманих розрахунків були побудовані графіки компонентів напружено-деформованого стану. Тестові розрахунки також були виконані для однорідної балочної конструкції з безрозмірними характеристиками. Порівняльний аналіз отриманих даних прогинів балочно-плитної конструкції вказує на значну розбіжність у результатах за різними моделями, при цьому розподіл нормальних напружень по висоті поперечного перерізу майже однаковий.

Для дослідження достовірності розрахунків за уточненою некласичною моделлю був виконаний порівняльний аналіз результатів з даними експерименту Александрова А.Я для тришарових балочно-плитних систем, що підтвердив достовірність отриманих розрахунків. Під час аналізу результатів також було встановлено, що при деяких геометричних і фізико-механічних характеристиках розрахунок за уточненою моделлю не дає істотних змін результатів у порівнянні з класичною моделлю.

Значна різниця у розрахунках за різними методами вказує на необхідність враховувати деформації зсуву при знаходженні прогинів у балочно-плитних шаруватих конструкціях, що потребує розробки уточнених некласичних моделей.

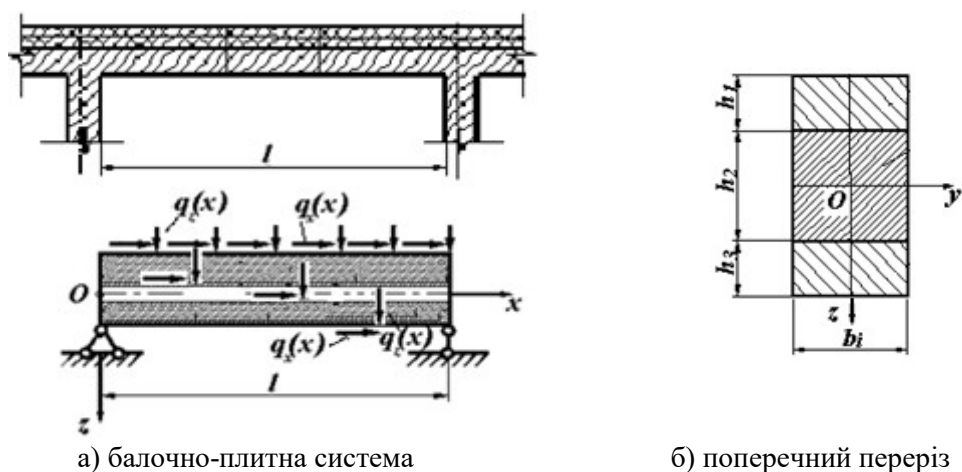
Ключові слова: неklasична модель, композитні матеріали, шарувата система, прогин, напруження, автодорожні мости.

Вступ. В сучасному будівництві широке застосування отримали різні композитні матеріали, що потребує неklasичних розрахункових моделей з врахуванням особливостей конструкцій. Використання неklasичних моделей необхідне при вирішенні задач вигину балок неоднорідних шаруватих систем, особливо при місцевих навантаженнях [1].

Прогонова будова автодорожнього моста може включати в одній конструкції шари із різних матеріалів. При розрахунку за уточненою неklasичною моделлю приймаємо, що балочно-плитна система складається із шарів різної товщини та жорсткості зі змінними властивостями [2]. Таким чином отримуємо можливість врахувати особливості шаруватої балочно-плитної конструкції із різними фізико-механічними характеристиками по шарам, а значить різну міцність та жорсткість [3-4].

Мета і методи. Метою даної статті є виконання порівняльного аналізу вигину плити прогонової будови автодорожнього моста під дією синусоїдального навантаження та перевірка адекватності уточненої неklasичної моделі.

Результати і пояснення. При дослідження адекватності уточненої неklasичної розрахункової моделі [1] була використана тришарова балочно-плитна система автодорожнього моста (рис.1).



l - довжина балочно-плитної системи;

$q_z(x)$ - нормальні навантаження, що прикладені на зовнішніх поверхнях і на межах шарів;

$q_x(x)$ - тангенціальних навантаження, що прикладені на зовнішніх поверхнях і на межах шарів;

b_i - ширина шару конструкції;

h_1, h_2, h_3 - товщина відповідного шару конструкції.

Рис. 1. Конструкція розрахункової схеми

Fig. 1. Design of the calculation scheme

Для даної схеми розрахунку були прийняті характеристики шарів [5], які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1- Вихідні дані для тришарової балочної системи

Table 1 - Initial data for a three-layer beam system

Кількість шарів, n	Номер шару, i	Ширина шару, b_i , м	Висота шару, h_i , м	Модуль пружності, E_i , МПа	Модуль зсуву G_i , МПа
3	1	0,01	0,03	10^4	360
	2		0,06	940	360 (36)
	3		0,03	10^4	360

Вирази функцій прогину синусоїдального навантаження мають наступний вигляд:

$$w(x) = \left[\sum_{i=0}^n q_{z0}^{(i)} c_z^{(i)} \right] \frac{l^4}{\pi^4} \left[\frac{\frac{1}{D_{11}} + \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2}{D_{22} + \frac{l^2}{\pi^2} \bar{D} - \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2} \right] \sin \left(\frac{\pi x}{l} \right) \quad (1)$$

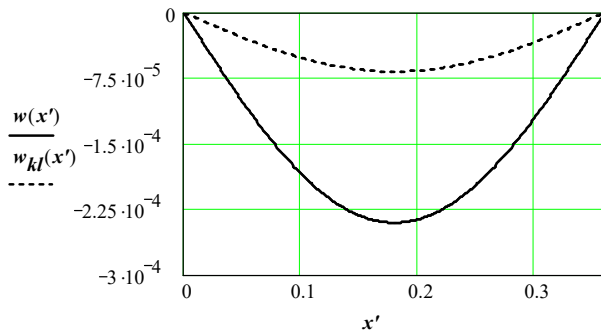
Де D_{11}, D_{12}, D_{22} – характеристики жорсткості, MHm^2 ;

q_{z0} – амплітуда навантажень, $кН/м$;

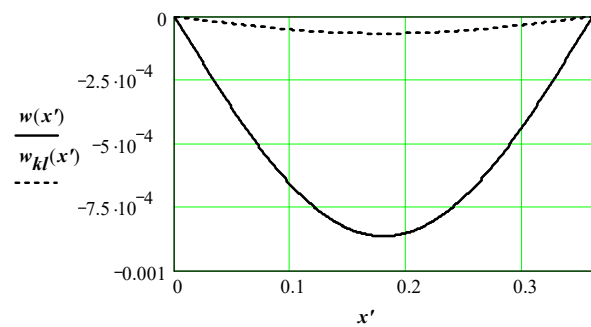
w – прогин, $м$;

l – довжина балочно-плитної системи, $м$.

За результатами розрахунку побудовані графіки прогинів (рис.2) і нормальних напружень (рис.3) для цієї балочної системи.



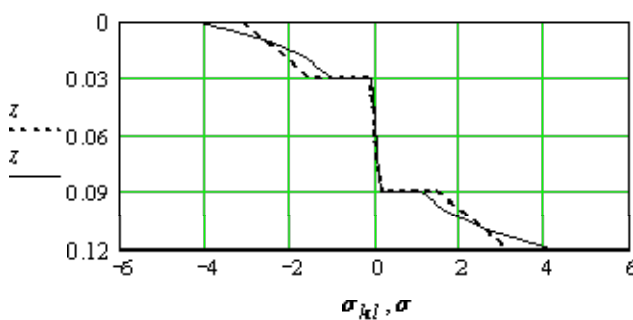
а) при $G_2 = 360 \text{ МПа}$



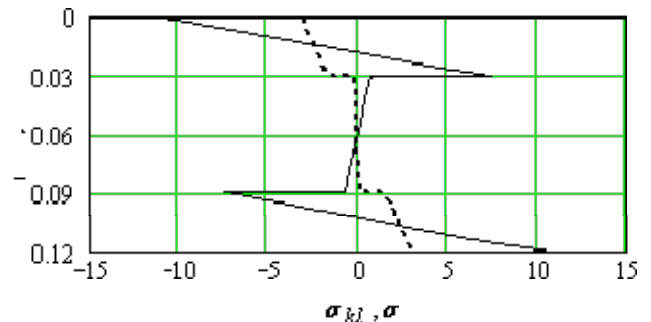
б) при $G_2 = 36 \text{ МПа}$

Рис. 2. Графіки прогинів за класичною (штрих-пунктирна лінія) та уточненою теоріями (суцільна лінія)

Fig. 2. Deflection graphs by classical (dashed line) and refined theories (solid line)



а) при $G_2 = 360 \text{ МПа}$



б) при $G_2 = 36 \text{ МПа}$

Рис. 3. Графіки нормальних напружень (штрих-пунктирна лінія) за класичною та уточненою теоріями (суцільна лінія).

Fig. 3. Graphs of normal stresses (dashed line) according to classical and refined theories (solid line).

Розрахунок складових напружено-деформованого стану балки також виконано за трьома моделями класичною, тривимірної (точної) і уточненої некласичної моделями при $l/h = 3$, при цьому балка вважалася однорідною з безрозмірними характеристиками. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку складових напружено-деформованого стану балочної конструкції

Table 2 – The results of the calculation of the components of the stress-strain state of the beam structure

l/h	z	Прогини			Нормальні напруження			Дотичні напруження		
		$w_{кл}$	$w_{трив}$	$w_{уточ}$	$\sigma_{кл}$	$\sigma_{трив}$	$\sigma_{уточ}$	$\tau_{кл}$	$\tau_{трив}$	$\tau_{уточ}$
3	0	9,978	12,532	12,814	-5,471	-5,724	-5,731	1,432	1,419	1,415
	$h/2$		12,533		0	0,021	0			
	h		12,033		5,471	5,636	5,731			

Під час дослідження було використано порівняння результатів з експериментом А.Я. Александрова [6] для тришарових балок-плит, які мають різні геометричні та фізико-механічні характеристики (таблиця 3).

Таблиця 3 – Порівняльні результати для тришарових балок-плит

Table 3 – Comparative results for three-layer beams-slabs

№ зразка	$w_{max.кл}$	$w_{max.експ}$	$w_{max.уточ}$	$\sigma_{max.кл}$	$\sigma_{max.експ}$	$\sigma_{max.уточ}$
	мм			МПа		
1	1,307	1,530	1,573	29,488	30,370	30,271
2	0,214	0,650	0,640	18,317	20,340	20,205
3	0,065	0,380	0,396	6,855	9,630	10,287

Висновки та рекомендації. Порівняльний аналіз прогинів балочно-плитної системи автодорожнього моста показав, що максимальні значення прогинів отримуємо за уточненою неklasичною моделлю, яка враховує вплив деформацій поперечного зсуву. Поруч з тим, при однакових модулях зсуву шарів балочної системи, характер розподілу напружень по висоті балки суттєво не відрізняється. Зміна геометричних і фізико-механічних характеристик істотно впливає на результати розрахунків за класичною моделлю, що вказує на необхідність удосконалення традиційних методів визначення прогинів та напружень. Порівняння отриманих значення компонентів напружено-деформованого стану за уточненою неklasичною моделлю розрахунку балочно-плитної системи автодорожнього моста та експериментальними даними Александрова А.Я. для тришарових балок вказує на достовірність отриманих результатів.

Перелік посилань

1. Піскунов В.Г. Розрахунок шаруватих конструкцій дорожнього одягу мостів армованого композитними матеріалами / В.Г. Піскунов, В.М. Цибульський – Вісник НТУ, 2012.
2. Канін О.П., Гриневицький Б.В., Цибульський В.М. Побудова неklasичної розрахункової моделі міцності композитної балочно-плитної конструкції автодорожніх мостів / О.П. Канін, Б.В. Гриневицький, В.М. Цибульський / Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ. – 2018. - № 104, С. 62-68.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.
5. Опір матеріалів. Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. За ред. Г.С. Писаренка – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
6. Александров А.Я. Расчет трехслойных панелей / Александров А.Я., Брюккер Л.Э., Куршин Л.М., Прусаков А.П. – М.: Оборонгиз, 1960.
7. Александров А.Я., Куршин Л.М. Многослойные пластинки и оболочки. В кн.: Тр. VII Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластинок. - М.: Наука, 1970.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BENDING OF BEAM-PLATE SYSTEMS OF BRIDGES UNDER THE ACTION OF SINUSOIDAL LOAD

Kanin Alexander Petrovich, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: kaninap@ukr.net, tel. +380442807909, <https://orcid.org/0000-0001-6849-2505>

Hrynevitskyi Borys Volodymyrovych, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260, <http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>

Tsybul'skyi Vitalii Mykolaiovych, National Transport University, Senior Lecturer of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876, <http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Abstract. A comparative analysis of the components of the stress-strain state of the beam-slab layered structure of the road bridge under the action of sinusoidal load is performed. The design scheme, which consists of three layers with different geometric and physico-mechanical characteristics, was adopted as the calculation scheme.

The calculation of deflections and normal stresses was performed according to the classical, three-dimensional and refined non-classical models. Based on the results of the obtained calculations, graphs of the components of the stress-strain state were constructed. Test calculations were also performed for a homogeneous beam structure with dimensionless characteristics. Comparative analysis of the obtained data of deflections of the beam-slab structure indicates a significant difference in the results for different models, while the distribution of normal stresses in the height of the cross section is almost the same.

To study the reliability of calculations according to the refined non-classical model, a comparative analysis of the results with the data of the experiment of Alexandrov A.Ya. for three-layer beam-slab systems was performed, which confirmed the reliability of the obtained calculations. During the analysis of the results it was also found that for some geometric and physico-mechanical characteristics, the calculation of the refined model does not give significant changes in the results compared to the classical model.

A significant difference in the calculations by different methods indicates the need to take into account shear deformations when finding deflections in beam-slab layered structures, which requires the development of refined non-classical models.

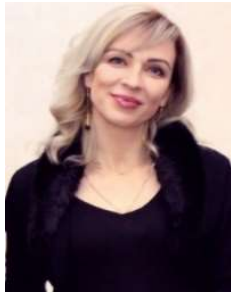
Keywords: non-classical model, composite materials, layered system, deflection, stress, road bridges.

References

1. Piskunov V.H. Rozrakhunok sharuvatykh konstrukttsii dorozhnoho odiahu mostiv armovanoho kompozytnymy materialamy / V.H. Piskunov, V.M. Tsybul'skyi – Visnyk NTU, 2012.
2. Kanin O.P., Hrynevitskyi B.V., Tsybul'skyi V.M. Pobudova neklasychnoi rozrakhunkovoi modeli mitsnosti kompozytnoi balochno-plytnoi konstrukttsii avtodorozhnikh mostiv / O.P. Kanin, B.V. Hrynevitskyi, V.M. Tsybul'skyi / Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». Kyiv: NTU. – 2018. - № 104, S. 62-68.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.
5. Opir materialiv. Pidruchnyk / H.S. Pysarenko, O.L. Kvitka, E.S. Umanskyi. Za red. H.S. Pysarenka – K.: Vyshcha shkola, 1993. – 655 s.
6. Aleksandrov A.YA. Raschet trekhslojnyh panelej / Aleksandrov A.YA., Bryukker L.E., Kurshin L.M., Prusakov A.P. – M.: Oborongiz, 1960.
7. Aleksandrov A.YA., Kurshin L.M. Mnogoslojnye plastinki i obolochki. V kn.: Tr. VII Vsesoyuz. konf. po teorii obolochek i plastinok. - M.: Nauka, 1970.

ROLLED EXTRA STIFF CONCRETE APPLICATION FOR ROAD BUILDING

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УКОЧУВАНОГО НАДЖОРСТКОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ



Smirnova Nataliia V., Kharkiv National Automobile and Highway University, Road Building and Maintenance Department, doctor of technical sciences, professor

<https://orcid.org/0000-0001-8458-1954>



Petrovych Volodymyr V. Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University.

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>



Semenenko Vyacheslav S., Kharkiv National Automobile and Highway University, post-graduate student in road building and maintenance

Summary: Road extra stiff concrete technology review for road layers application. The technology application allows create a concrete pavement with high durability using asphalt pavers and rollers. The technology allows traffic opening in 1-3 days.

Key words: rolled extra stiff concrete, concrete pavement, high load transport, concrete layers, RCC, Roller Compacted Concrete.

Introduction: Rising of heavy-duty vehicle on roads, continuous rising of an axle load is stimulating using concrete pavements. Significant high vehicle loads occur on roads and industrial areas, in ports and approaches to them. Concrete roads application with slip form technology needs investments. Concrete roads building slip form technology stipulates traffic interruption for significant time until the concrete achieve a strength, which enough for traffic opening. The problem is actual because of agricultural heavy goods transportation rising volume from fields over secondary roads to elevators and ports, because of rising of intensity, using of modern heavy-duty vehicle and continual searching concrete roads building reduction of prices. For solving the concrete roads building problem is required a technology, which allows to get a concrete pavement and open a traffic in 1-3 days (much faster than for concrete pavements made of concrete mix with Abrams cone characteristic 1-3 cm and traffic opening not earlier 7-14 days), steady to heavy loads, environment influences, safe and economical. The task is required careful approach to concrete components, mix design and right use of rolled extra stiff concrete during road layers design.

Materials and Methods: In Soviet Union a concrete mix, which applying with asphalt pavers and compacting with rollers began using in 1984-1985 years for asphalt base layers application. Maximum class of the concrete is B10. At the same time modern concrete roads pavements strength is B30 – B35. Today coarse aggregate – sand mix, strengthened with cement wide using for concrete and asphalt road base

applications. Also, lean concrete is applied over city streets and roads with next overlay application with asphalt or other thin bituminous layer. Wherein the strength class of the concrete is not more B15 [1]. The technology of lean concrete applied by asphalt pavers is a type of roller compacted concrete but just because there used the same concrete components and the concrete mixed on concrete mix plant. As top layer of roads the roller compacted concrete not be used in Ukraine.



Figure 1 – Rolled extra stiff concrete pavement application with an asphalt paver with edge shaping
Рисунок 1 – Влаштування покриття з укоchuваного наджорсткого цементобетону з формуванням кромки асфальтоукладальником

Using of roller compacted concrete for areas and roads covering started in 1930s in Sweden. In the USA first roller compacted concrete application was in Yakima airport, Washington in the beginning of 1940s. In the airport a runway was built. But the biggest development the roller compacted technology got in Canada in 1970s [5] on log sorting areas. The main requirements were quick pavement application for log trucks and loader work. At the same time there weren't any requirements for joints and smoothness. In 1980s US Army Engineer Corps was conducting big roller compacted concrete testing for freeze-thaw and natural conditions durability. The first big project was parking area for heavy military armor made in Ford Hood, Texas [6]. Reports about the testing gave "green light" for using the concrete in civil road and area building. In 1990s a road equipment industry started paver production with heavy vibrating plate and rollers which allow compaction of very stiff concrete mixes. Rising road and areas pavement load gave impulse for searching the pavement, resistant to big loads and at the same time with economical advantages. Roller compacted concrete RCC became an answer for the question.

In 1990s in the USA were made only 22 projects (418063 m²) with roller compacted concrete application [6]. In first decade (2000-2010 years) there were already 70 projects (7,4 million m²). Generally, there were industrial, military, sea ports projects. In the beginning or second decade roller compacted concrete got new scope of application: bike roads, local roads, commercial parking areas, oil and gas production. Also continuing using it in industrial and military projects. From 2011 till 2016 applied 8,4 million m² of roller compacted concrete pavements in the USA [8]. Dense structure of roller compacted concrete allows to reduce cement content in the mix without losing strength and workability. Boarder requirements to mix characteristics allow using local materials and residuals.

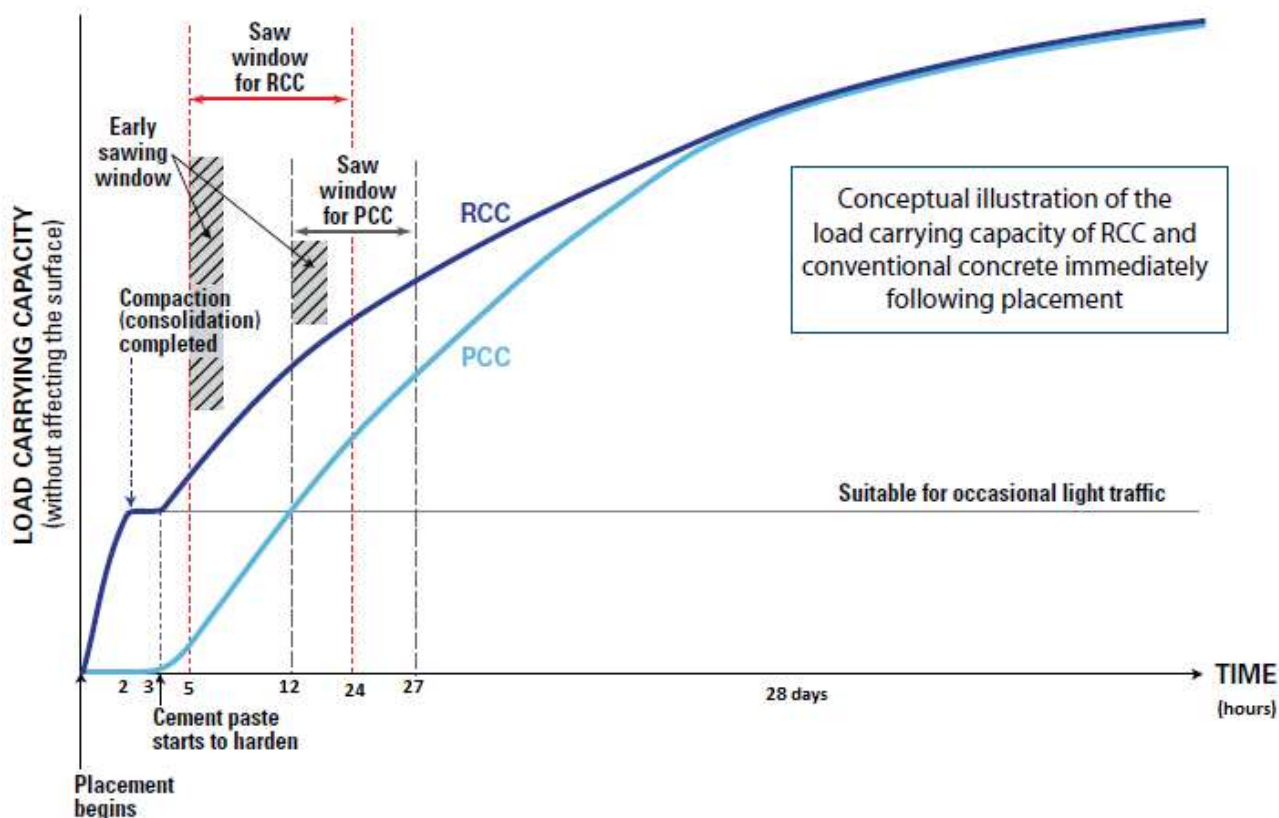


Figure 2 – Comparison in time in pavement possibility of load application for roller compacted and convenient concrete

Рисунок 2 – Порівняння у часі можливості сприйняття навантаження покриттям з укоцваного та звичайного цементобетону

Goal: World experience of road compacted concrete application review and definition of criteria and tools for using it in civil building projects in Ukraine.

Results and Discussion:

According to ACI (American Concrete Institute, USA) terminology, roller compacted concrete is defined as “concrete compacted by roller compaction that, in its unhardened state, will support a roller while being compacted”. Features of roller compacted concrete application technology based on boarder concept, which differ from convenient concrete. Roller compacted concrete durability and strength based on features of mix design, which requires only enough mortar to fill a space between aggregates.

Roller compacted concrete is a result of searching the way of make simpler existed concrete pavement technologies, searching methods of road building without bituminous materials, effort to use local materials and residuals.

Technology of road compacted concrete mix production allows to use mixing units with high productivity for support asphalt paver workability. It allows to set a high pace of concrete mix application, cutting project time and equipment operating costs. For setting necessary asphalt paver work pace on huge projects in the USA recommended using a mixing plant with 250 ton per hour productivity. According to the productivity an application speed is high. Together with early strength gain and wider window joints cut possibility give an allowance to earlier open road traffic.

Delivery, application and compaction of road compacted concrete mix are made with wide spread equipment: haul trucks, asphalt pavers, rollers. Possibility of using high volume trucks help support a pace of application. Modern asphalt pavers help to achieve 90 – 98 % of compaction, create necessary slopes and escape concrete mix segregation. Compaction with different type and mass rollers give a smoothness to the surface and make the finish surface compaction.

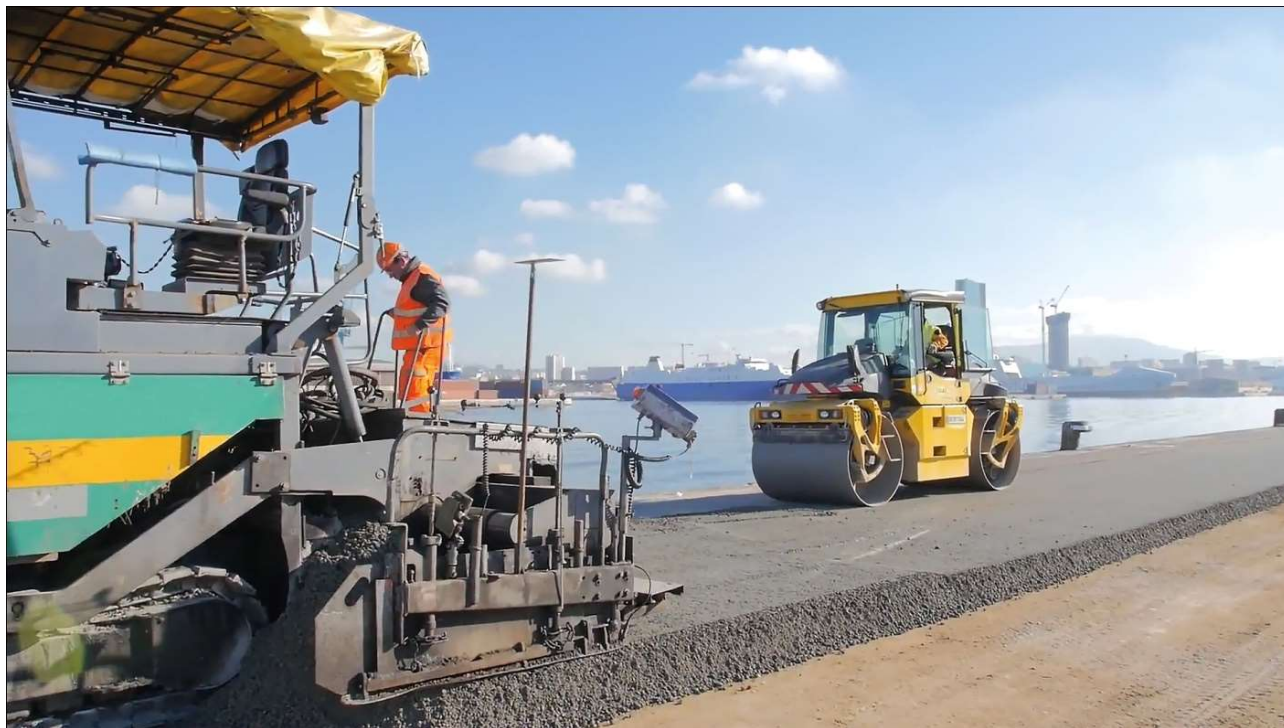


Figure 3 – Roller compacted concrete application
Рисунок 3 – Влаштування покриття з укочуваного цементобетону

Low cement content in roller compacted concrete allows to make joints after bigger distance. When a project doesn't have any requirements to smoothness and to comfortable driving of high load and technological transport, during rolling compacted concrete pavement application joint don't saw.

Pavements with roller compacted concrete apply more often with 20 cm thickness in one layer. When necessary to apply bigger thickness, the application occurs in two layers. Semi-dry concrete mix consistence allows 2 subsequent layers.

Type of roller compacted concrete pavement finishing depends on requirements to driving comfort, traffic speed, available equipment and type of project. Modern approaches to a mix design and modern equipment allow getting good quality surface without additional treatment. For giving smoothness to the applied pavement should make additional operations. First variant is a grinding: align profile of applied pavement and give necessary roughness. Second variant is applying addition layer of bituminous material: help to align surface and work like wear layer. Third variant is a treatment with trowel machine and giving roughness with a special rake.

The main advantages of the technology are cost saving, fast traffic opening, using local Ukrainian materials and available equipment for application and compaction. The main disadvantage is smoothness of an applied pavement, but world experience allows foreseeing a solution of the problem.

And the end we get a concrete pavement without reinforcement, which cares high loads and it is durable to atmospheric influence and can be opened to traffic in few days.

Specialists from Department of Road Building and Maintenance of Kharkiv National auto-road University and building company Fortis Group developed regulatory document – Technical conditions. Concrete mixes and concrete extra stiff rolled [12].

Main objects where roller compacted concrete can be used are roads, logistic facilities, ports, parking for heavy duty, industrial roads, storage facilities etc.

Author has made laboratory researches for local roller compacted concrete components (cement, aggregate, sand). Author has made a roller compacted concrete mix design and made samples for strength test.

Conclusions and Recommendations:

1. Concrete pavements showed their effectiveness on high loaded roads and parking lots. Disadvantages of concrete road building technology are low construction speed and necessity in high cost equipment. The answer for this can be roller compacted concrete technology.
2. For 90 years from the beginning of roller compacted concrete utilization it go throw few researches and goal application stages. There are in the world much information about design, construction and references.
3. Cost rising for bitumen in Ukraine stimulates the use of cementitious layers for road building.
4. Using local materials gives significant economical effect.

References

1. Technical regulation for city streets and roads building and repairment with using lean concrete. KTM 204 Ukraine 011-95
2. NATIONAL CONCRETE PAVING TECHNOLOGY CENTER, Guide for roller-compacted concrete pavements, August 2010.
3. ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete
4. RECENT ADVANCES AND USES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR PAVEMENT CONSTRUCTION IN THE UNITED STATES, C. Zollinger ,Paving Solutions, CEMEX, Inc, Houston, TX USA
5. Piggough R. Roller compacted concrete pavements in British Columbia province (Canada). -1984. - 21 c.
6. PITTMAN, David; ANDERTON Gary (2009) "The Use of Roller-Compacted Concrete Pavements in the United States": MAIREPAV 6, Torino, Italy
7. PITTMAN, David; ANDERTON Gary (2012) "Characteristics of Roller-Compacted Concrete Pavements in the United States." MAIREPAV 7, Auckland, New Zealand
8. RECENT ADVANCES AND USES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR PAVEMENT CONSTRUCTION IN THE UNITED STATES, C. Zollinger, Paving Solutions, Houston, TX USA
9. Federal road agency by Ministry of transport Russian Federation. Today situation and perspectives in using roller compacted concrete. Review information. Auto roads and bridges. 6 – 2004
10. Ebrahim. Khalilzadeh Vahidi, Maryam. Mokhtari Malekabadi. Joints in Roller Compacted Concrete Pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE/2012) August 25-26, 2012 Kuala Lumpur (Malaysia)
11. www.concrete.org
12. TU U 42.1-40708558/02071168-001:2019. Concrete mixes and concrete extra stiff rolled. Technical conditions.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УКОЧУВАНОГО НАДЖОРСТКОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Смірнова Наталія Володимирівна, д.т.н., професор, Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет, кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг, <https://orcid.org/0000-0001-8458-1954>

Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +3804428027338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Семененко В'ячеслав Сергійович, Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет, аспірант кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг

Анотація: Огляд технології наджорсткого уочуваного цементобетону для влаштування шарів дорожнього одягу. Застосування цієї технології дозволяє виконати влаштування цементобетонного покриття з високими експлуатаційними характеристиками із застосуванням асфальтоукладачів і котків та можливістю відкриття руху по влаштованому цементобетонному покриттю через 1-3 доби.

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

Перелік посилань

1. Технологічний регламент будівництва та ремонту міських вулиць та доріг з використанням пісного бетону. КТМ 204 України 011-95
2. NATIONAL CONCRETE PAVING TECHNOLOGY CENTER, Guide for roller-compacted concrete pavements, August 2010.
3. ACI 207.5R-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete
4. RECENT ADVANCES AND USES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR PAVEMENT CONSTRUCTION IN THE UNITED STATES, C. Zollinger ,Paving Solutions, CEMEX, Inc, Houston, TX USA
5. Пижжо Р. Укатанный бетон дорожных покрытий в провинции Британская Колумбия (Канада): Пер. с фр. / Под ред. Акуловой. -1984. - 21 с.
6. PITTMAN, David; ANDERTON Gary (2009) “The Use of Roller-Compacted Concrete Pavements in the United States”: MAIREPAV 6, Torino, Italy
7. PITTMAN, David; ANDERTON Gary (2012) “Characteristics of Roller-Compacted Concrete Pavements in the United States.” MAIREPAV 7, Auckland, New Zealand
8. RECENT ADVANCES AND USES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR PAVEMENT CONSTRUCTION IN THE UNITED STATES, C. Zollinger, Paving Solutions, Houston, TX USA
9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Современное состояние и перспективы применения технологии укатываемого бетона. Обзорная Информация. Автомобильные дороги и мосты. 6 – 2004
10. Ebrahim. Khalilzadeh Vahidi, Maryam. Mokhtari Malekabadi. Joints in Roller Compacted Concrete Pavements. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE'2012) August 25-26, 2012 Kuala Lumpur (Malaysia)
11. www.concrete.org
12. ТУ У 42.1-40708558/02071168-001:2019 Суміші цементобетонні і цементобетон наджорсткі укочувані. Технічні умови.