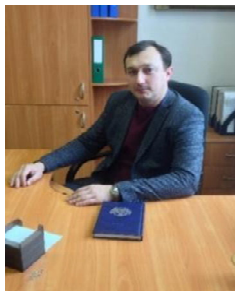


УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-055-062

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ З ВЛАШТУВАННЯ ДРЕНУВАЛЬНИХ ШАРІВ ОСНОВИ
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF DRAINAGE LAYERS OF
THE BASE OF ROAD SURFACE



Бубела Андрій Володимирович, Національний транспортний університет, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортного будівництва, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594,

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



Поляков Володимир Михайлович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: 153121@ukr.net, тел. +380979878582,

<https://orcid.org/0000-0002-0408-7153>

Анотація. Для того, щоб уникнути довготривалого перезволоження конструктивних шарів покриття та основи, необхідно запобігти акумулюванню в них великої кількості вільної води шляхом влаштування дренажної системи мілкового закладання, яка дозволяє швидко відвести воду з дорожньої конструкції та забезпечує її міцність. Це також обумовлює необхідність визначення ефективності роботи дренажних конструкцій мілкового закладання під впливом дії транспортних засобів.

У статті розглянуто технологічні параметри при влаштуванні шарів основи дорожнього одягу – піщаних шарів з дренажними трубами. Наведена динаміка зміни площі штампу пневмокатка різної ваги в залежності від зміни тиску в шинах. Базуючись на методі скінченних елементів було досліджено напружено-деформований стан нетипових дорожніх конструкцій, послаблених трубчастими дренами з матеріалів різного походження.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, земляне полотно, дренаж мілкового закладання, дренажний шар, трубчаста дрена, пневмокаток, штамп катка.

Вступ.

Одним із основних факторів, що впливає на надійність і довговічність дорожнього одягу автомобільних доріг є наявність надлишкової вільної води, особливо під час відлиг у весняний період або значних атмосферних опадах. Наявність вільної води приводить до зміни деформаційних

характеристик ґрунту основи та дренавального шару дорожнього одягу, власної ваги ґрунту, виникнення гідродинамічних сил фільтраційного потоку, тощо. Відомо, що додаткові деформації природних і штучних основ виникають при наявності у них надлишкової вільної води. Під час надзвичайних ситуацій (надлишкових атмосферних опадах, надмірного навантаження від великовагових автомобілів та промерзання дренавальних шарів і ґрунту основи, тощо) величина та інтенсивність зростання названих факторів може суттєво змінюватися, що призводить до виникнення значних вертикальних деформацій дорожнього одягу у вигляді колій. Ці деформації ускладнюють, а у деяких випадках унеможливають, експлуатацію автомобільних доріг.

На автомобільних дорогах загального користування налічується близько третини характерних ділянок – угнутих у поздовжньому профілі, з поздовжнім похилом більшим за поперечний, в невисоких насипах, у виїмках, нульових відмітках, переважна кількість яких побудована з трубчастими дренажами мілкового закладання. Стан таких ділянок не завжди відповідає безпечним умовам експлуатації і навесні, після відлиг, вони потребують проведення ремонтних робіт.

Дорожня конструкція з трубчастими дренами під шарами дорожнього одягу є нетиповою, на відміну від стандартних. Такі проектні рішення є обґрунтованими, проте проблемі їх як і будівництва, так і експлуатації не було приділено належної уваги. Не врахування технологічних особливостей влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання на стадії будівництва призводить до розвитку деформацій на початковому етапі експлуатації. Це вимагає розроблення спеціальних технологічних рішень щодо режимів ущільнення шарів основи та оцінки стану дренажних труб з матеріалів різного походження.

Основна частина дослідження. Проблема водовідведення з дорожньої конструкції, зокрема з робочої зони земляного полотна, ґрунтується не тільки на методах проектування, а також на технологічних особливостях влаштування дренажів під впливом дії дорожніх машин.

При влаштуванні дренавального шару з середньозернистого піску переважно використовують пневмокотки різних модифікацій. Відмінною особливістю пневмоколісних котків є деформація робочих органів в процесі ущільнення шарів дорожнього одягу. В результаті – збільшується площа контакту шини котка та час силового впливу на поверхню шару, що ущільнюється. В даний час є багато модифікацій котків, які дозволяють в процесі ущільнення регулювати такі параметри, як навантаження на колесо та тиск повітря в шинах. Навантаження на колесо можна змінювати за рахунок баластування, що дозволяє збільшити спектр застосування котка для ущільнення різних типів ґрунтів. Підвищення маси котка дозволяє, відповідно, збільшити товщину шару, що ущільнюється, однак майже не впливає на його щільність, яка досягається при рівних тисках повітря в шинах.

Розміри контактної поверхні і максимальний контактний тиск залежать від таких факторів, як опір ґрунту до зовнішніх навантажень, розмір і тип шин, тиск повітря в них та навантаження на колесо, а також від оптимальної та фактичної вологості ґрунту. При перших проходах котків на початку процесу ущільнення, коли ґрунт ще пухкий, деформується, в основному, тільки сам ґрунт. У процесі ущільнення ґрунт стає щільнішим і тому поступово починає деформуватися пневматичне колесо. В кінці процесу ущільнення, коли ґрунт вже щільний, деформація пневматичного колеса є максимальною. Але сам процес ущільнення також впливає на дренажну трубу. Товщина дренавального шару визначається згідно проекту і обумовлена коефіцієнтом фільтрації, глибиною промерзання в районі будівництва та заданими умовами його роботи (поглинання або осушення). При проектуванні дренавальних шарів не приділяється достатньо уваги щодо впливу навантажень на тіло труби з матеріалів різного походження за такими показниками, як крихкість або пластичність. Від цих

властивостей залежить стан та цілісність дренажних труб після впливу ущільнюючих засобів, що надалі впливатиме на умови їх роботи.

Вплив ущільнюючих засобів в процесі влаштування дренажних шарів, зокрема, параметрів сліду пневмошини котка на нетипову, послаблену трубчастими отворами, конструкцію може призвести до утворення деформацій в тілі трубчастої дрени, що в майбутньому впливатиме на процеси водовідведення з робочої зони земляного полотна.

Максимальні тиски повітря в шинах котків, які відповідають останньому етапу ущільнення, повинні бути найбільш близькими до меж міцності, як і ґрунтів в щільному стані, так і дренажних труб.

Знизити максимальні контактні тиски при незмінному навантаженні на колесо можна шляхом значного збільшення тиску в шинах, в результаті якого зім'яття шин, як правило, перевершить допустимі межі, що призведе до значного їх зносу. Тому попереднє ущільнення ґрунтів слід вести більш легким катком. Однак поступове підвищення тиску повітря в шинах як при укатці, так і при остаточному ущільненні сприяє формуванню щільної і міцної структури шару ДО.

Максимальні тиски повітря в шинах котків, які відповідають кінцю процесу ущільнення, повинні бути найбільш близькими до меж міцності ґрунтів в їх щільному стані. Ця рекомендація не може бути виконана при зв'язних ґрунтах, які володіють високими межами міцності, так як тиск в стандартних шинах, як правило, не перевищує $5,5\text{--}6 \text{ кгс} / \text{см}^2$. При таких тисках завершують процес ущільнення зв'язних ґрунтів. Для ґрунтів малозв'язних і незв'язних цей тиск є надмірно великим і його, залежно від виду і стану ґрунту, знижують до $3\text{--}4 \text{ кгс} / \text{см}^2$. Для цих ґрунтів особливо важливо мати можливість регулювати тиск в шинах, а процес ущільнення найкраще починати при тиску повітря в шинах $2 \text{ кгс} / \text{см}^2$.

Згідно досліджень, проведених у роботі [7], характер розподілу тисків по поверхні контакту шини з щільним ґрунтом не залежить від швидкостей руху колеса, а визначається навантаженням на нього і тиском повітря в шині. Форма контакту пневматичної шини з твердою поверхнею являє собою еліпс. Якщо при постійному тиску повітря в шині поступово збільшувати діюче на неї навантаження, то деформація шини в поперечному напрямку стає все більш помітною. Тому у однієї і тієї ж шини контактні поверхні можуть бути з різним співвідношенням між їх осями, а однакові поверхні контактів – отримані при різних співвідношеннях між навантаженням на колесо і тиском повітря в шині.

Вертикальне навантаження забезпечує створення тиску від колеса на поверхню. Розрахункова ширина штампу залежить від ширини колеса та складає:

$$b = B(0,65 \dots 0,75), \quad (1)$$

де b – ширина штампу, м;

B – ширина колеса пневмокотка, м.

Розрахункова довжина штампу залежить від сили, з якою колесо діє на поверхню, тиску у колесі та розрахункової ширини штампу:

$$a = \frac{F}{b \cdot P}, \quad (2)$$

F – сила, з якою колесо діє на поверхню, Н;

P – тиск у шині котка, МПа.

Зі збільшенням тиску в шинах котка стає меншою площа відбитку та більшою глибина колії. Початкове ущільнення дренажного шару з середньозернистого піску виконують з мінімально допустимим тиском в шинах середнього котка. Зі збільшенням кількості проходів котка зростає тиск в колесах і, відповідно, тиск на поверхню.

З урахуванням вихідних параметрів пневмокотків та визначенням довжини і ширини штамп, площу штамп визначають як:

$$S_{ш} = a \cdot b, \quad (3)$$

де $S_{ш}$ – площа штамп, м².

Згідно залежностей (1–3), визначені технологічні параметри для ущільнення піщаного дренажного шару, які наведені у табл. 1 та на рис. 1.

Таблиця 1 – Технологічні параметри для ущільнення піщаного дренажного шару
Table 1 – Technological parameters for compaction of the sand drainage layer

вага котка, т	Р, тиск в шинах фактичний мінімальний, Па	Р, тиск в шинах фактичний максимальний, Па	b, розрахункова ширина штамп, м		a, розрахункова довжина штамп за мінімального тиску, м		a, розрахункова довжина штамп за максимального тиску, м		S за мінімального тиску, м ²	S за максимального тиску, м ²
			b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)
16	300000	550000	0,208	0,24	0,3593	0,3114	0,1960	0,1698	0,0747	0,0407
30	350000	1000000	0,2405	0,2775	0,4994	0,432	0,1748	0,1515	0,1201	0,0420

Динаміка зміни площі штамп пневмокотка різної ваги в залежності від тиску в шинах має експоненціальний характер (рис. 1).

В якості інструментарію для дослідження напружено-деформованого стану нетипових дорожніх конструкцій з круглими отворами, за методом, запропонованим у роботі [11], використовувався проектно-розрахунковий комплекс SCAD Office, який базується на методі скінченних елементів. Для моделювання було обрано схему моделі дорожньої конструкції, яка є типовим проектним рішенням автомобільних доріг III-ої категорії, протяжність яких є найбільшою по Україні. Побудова скінчено-елементних сіток була визначена із умов штамп пневмошини котка за статичним навантаженням, згідно табл.1. Для прогнозування напружено-деформованого стану дренажних шарів з поперечним трубчастим дренажем мілкого закладання на земляному полотні були проведені серії числових експериментів. При числовому моделюванні розглядуваної конструкції використовувалось навантаження статичне, як найбільш несприятливе за тривалістю при процесі влаштування дренажного шару. Для двох типів матеріалів трубчастих дренажів моделювались реальні умови будівництва, які передбачають поетапне ущільнення дренажних шарів.

Це дозволило отримати залежність деформацій Z від модуля пружності дренажного шару на межі шар - трубчаста дрена з різних матеріалів, в робочій зоні земляного полотна, з урахуванням типу дорожнього котка.

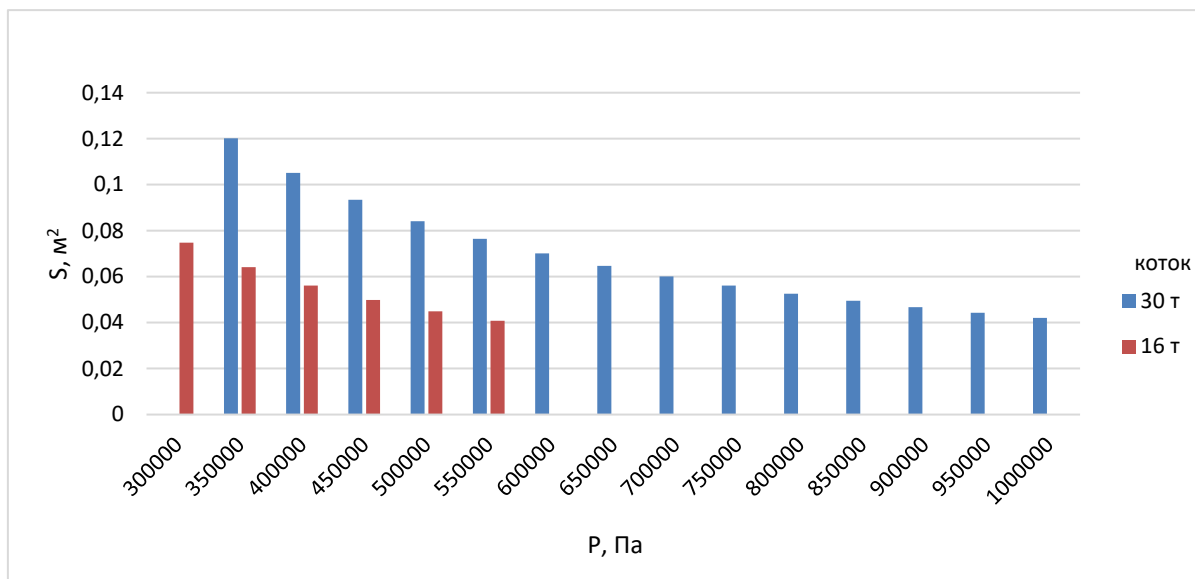


Рисунок 1 – Залежність площі штамбу котка від тиску в його шинах
Figure 1 – Dependence of the area of the roller stamp on the pressure in its tires

Відповідно до технології влаштування дренавальних шарів з піску, було визначено вихідну товщину дренавального шару – 37 см, щоб отримати в кінці процесу ущільнення шар товщиною 30 см. першочергово використовується середній коток масою 16 т. з мінімальним тиском та максимальним тиском у шинах, а потім важкий коток масою 30 т.

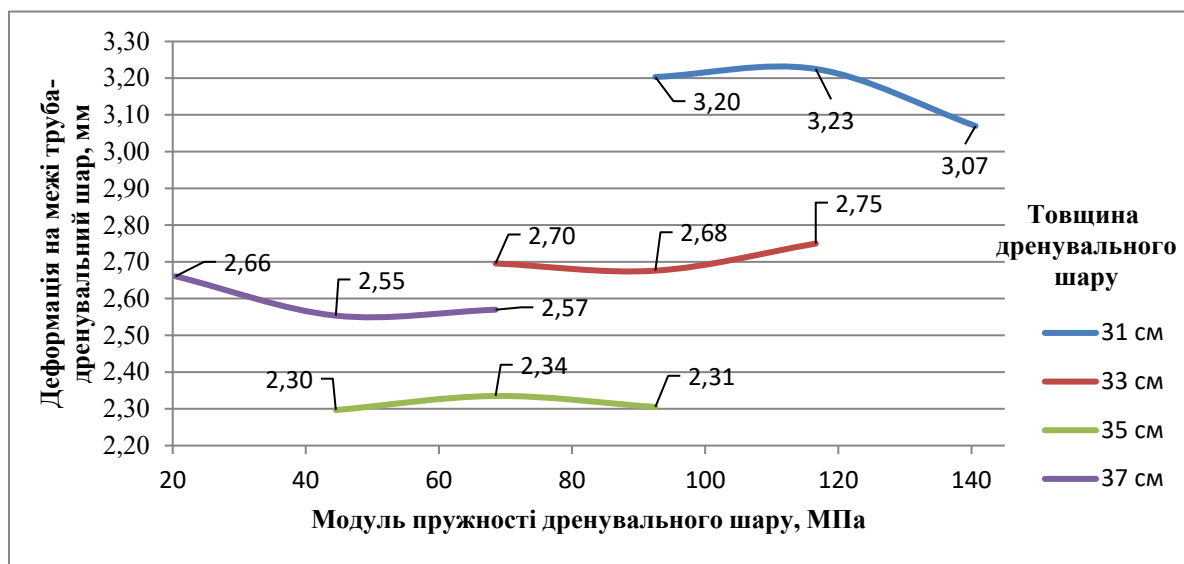


Рисунок 2 – Залежність деформацій Z від модуля пружності піщаного дренавального шару з бетонною трубою
Figure 2 – Dependence of deformations Z on the modulus of elasticity of the sand drainage layer with a concrete pipe

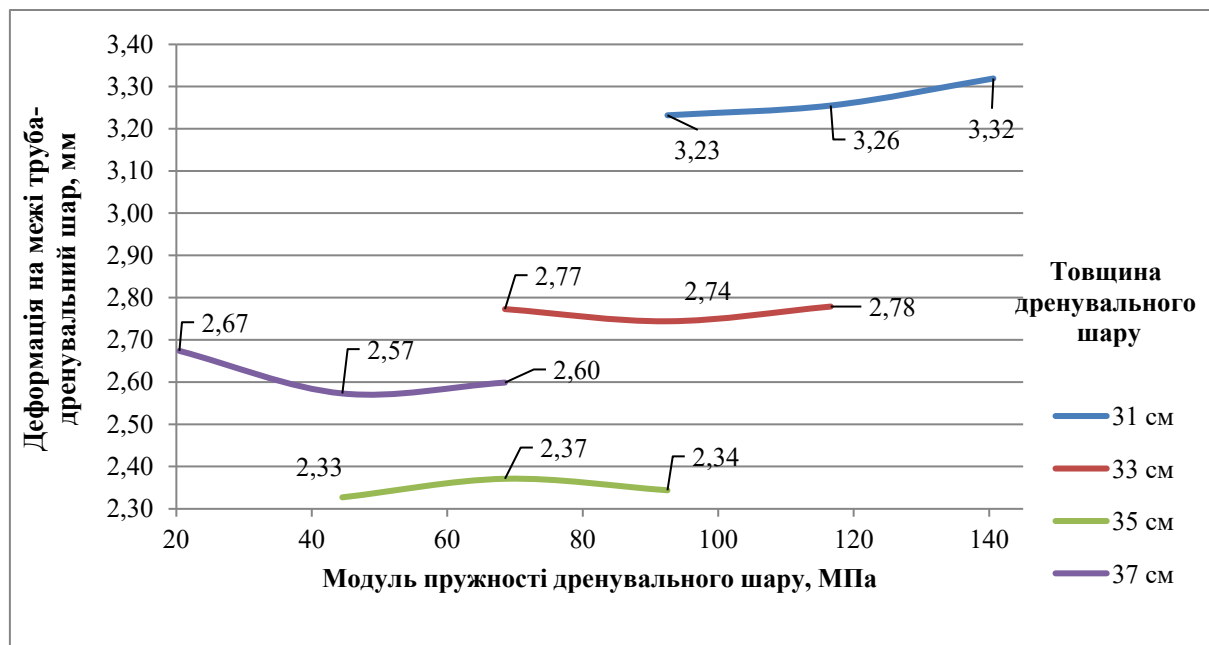


Рисунок 3 – Залежність деформацій Z від модуля пружності піщаного дренажного шару з полівінілхлоридною трубою

Figure 3 – Dependence of deformations Z on the modulus of elasticity of the sand drainage layer with a polyvinylchloride pipe

Висновки. Згідно результатів розрахунку на моделі дорожньої конструкції з полівінілхлоридною трубою в стандартних умовах ущільнення дренажного шару тіло труби сприймає максимальні нормальні напруження 3,86 МПа, які складають понад 15 % від допустимого напруження цього матеріалу на розтяг. На відміну від цього, модель з бетонною трубою працює в гранично-напруженому стані. Не зважаючи на наявність щебеневі обсіпки, яка додатково сприймає та перерозподіляє навантаження на тіло труби. За стандартних умов ущільнення піщаного дренажного шару, тіло бетонної труби випробовує максимальні напруження 6,3 МПа, що значно перевищує допустимі напруження на розтяг бетону.

В процесі влаштування піщаного дренажного шару може відбуватися деформація бетонних труб, що призводить до їх руйнації, на відміну від полівінілхлоридних, для яких такі деформації допустимі. Руйнація тіла бетонної дренажної труби може призводити до подальших суттєвих деформацій конструктивних шарів дорожнього одягу і, як наслідок, до суттєвої зміни волого-теплогового режиму: накопичення інфільтрату вологи, створення льодових лінз в зимовий та весняний періоди.

Перелік посилань

1. Славінська О.С. Удосконалення методу розрахунку параметрів поперечного дренажу мілкового закладання на автомобільних дорогах / О.С. Славінська, А.В. Бубела, А.М. Онищенко, О.Ю. Усиченко, В.В. Стьожка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022, – Вип. 1 (51). С. 352–362. DOI: [10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362)
2. Бубела А.В. Визначення технологічних вимог при влаштуванні дренажних конструкцій мілкового закладання / А.В. Бубела, В.М. Поляков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 3 (57). С. 35–42. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042)
3. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193p.
4. Ципріанович І.В. Водовідвідні і дренажні системи аеродромів: Підручник. К.: НАУ. 2002. 142с.

5. Литвиненко А.С. Про вплив стану ґрунтових основ на стан дорожніх одягів на ділянках автомобільних доріг у нульових відмітках і невисоких насипах. *Автомобільні дороги* : науково-виробничий журнал. 2014. Вип. 6 (242). С. 35-39.
6. Кватадзе А.І. Метод визначення розрахункових періодів водно-теплогового режиму для розрахунку дренажних пристроїв. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Issue 98. 2016. Р. 79-84. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtdorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf.
7. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень. *Onip матеріалів і теорія споруд*. 2017. 99. с.45–57. <http://opir.knuba.edu.ua/zbirnyk-99/article-818>
8. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 2. 7 (92). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (SCOPUS)
9. Бубела А.В. Дослідження зміни транспортно-експлуатаційного стану покриттів в умовах перезволоження. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2019. Вип. 106. С. 6-12.
10. Славінська О.С., Бубела А.В. Проектування оптимальних конструкцій поперечних дренажів мілкового закладання та оцінка їх впливу на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги : монографія. К. : НТУ, 2020. 268 с.
11. Slavinska O., Bubela A., Davydenko O. Prediction of the stress-strain state of a road structure with shallow transverse tubular drainage. *ScienceRise*. 2020. (4). С. 24-32. URL: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001396>
12. Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дослідження режимів роботи дренажних шарів в дорожніх конструкціях. *Science Review*. 2020. 5(32). С. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF DRAINAGE LAYERS OF THE BASE OF ROAD SURFACE

Bubela Andrii V., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Transport Construction, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Poliakov Volodymyr M., National Transport University, Postgraduate student of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: 153121@ukr.net, tel.: +380979878582, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, <https://orcid.org/0000-0002-0408-7153>

Abstract. In order to avoid long-term waterlogging of the structural layers of the pavement and base, it is necessary to prevent the accumulation of large amounts of free water in them by installing a shallow drainage system that allows water to be quickly drained from the road structure and ensures its strength. This also necessitates the determination of the efficiency of shallow drainage structures under the influence of vehicles.

The article examines the technological parameters for the arrangement of road base layers – sand layers with drainage pipes. The dynamics of the change in the area of the stamp of a pneumatic roller of different weights depending on the change in tire pressure is presented. Based on the finite element method, the stress-strain state of atypical road structures weakened by tubular drains made of materials of various origins was investigated.

Keywords: highway, road structure, subgrade, shallow drainage, drainage layer, tubular drain, pneumatic roller, roller stamp.

References

1. Slavins'ka O.S. Udoskonalennya metodu rozrakhunku parametriv poperechnoho drenazhu milkoho zakladannya na avtomobil'nykh dorohakh / O.S. Slavins'ka, A.V. Bubela, A.M. Onyshchenko, O.YU. Usychenko, V.V. St'ozhka // Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zhurnal. – K.: NTU, 2022, – Vyp. 1 (51). S. 352–362. DOI: [10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362) [in Ukrainian].
2. Bubela A.V. Vyznachennya tekhnolohichnykh vymoh pry vlashtuvanni drenazhnykh konstruktsiy milkoho zakladannya / A.V. Bubela, V.M. Polyakov // Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy, naukovo-vyrobnychyy zhurnal. – K.: NTU, 2023. – Vyp. 3 (57). S. 35–42. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042) [in Ukrainian].
3. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193p.
4. Tsyprianovych I.V. Vodovidvidni i drenazhni systemy aerodromiv: Pidruchnyk. K.: NAU. 2002. 142s.
5. Lytvynenko A.S. Pro vplyv stanu gruntovykh osnov na stan dorozhnikh odyahiv na dilyankakh avtomobil'nykh dorih u nul'ovykh vidmitkakh i nevysokyykh nasypakh. *Avtomobil'ni dorohy* : naukovo-vyrobnychyy zhurnal. 2014. Vyp. 6 (242). C. 35-39.
6. Kvatadze A.I. Metod vyznachennya rozrakhunkovykh periodiv vodno-teplovoho rezhymu dlya rozrakhunku drenazhnykh prystroyiv. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*. Issue 98. 2016. P. 79-84. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf.
7. Haydaychuk V.V., Moz'hovyy V.V., Zayets' YU.O., Shevchuk L.V. Modelyuvannya napruzhenodeformovanoho stanu konstruktsiyi dorozhn'oho odyahu pid diyeyu transportnykh navantazhen'. *Opir materialiv i teoriya sporud*. 2017. 99. s.45–57. <http://opir.knuba.edu.ua/zbirnyk-99/article-818>
8. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 2. 7 (92). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512> (SCOPUS)
9. Bubela A.V. Doslidzhennya zminy transportno-eksploatatsiynoho stanu pokryttiv v umovakh Perezvolozhennya. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo* : naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. 2019. Vyp. 106. C. 6-12.
10. Slavins'ka O.S., Bubela A.V. Proektuvannya optymal'nykh konstruktsiy poperechnykh drenazhiv milkoho zakladannya ta otsinka yikh vplyvu na transportno-eksploatatsiynyy stan avtomobil'noyi dorohy : monohrafiya. K. : NTU, 2020. 268 s.
11. Slavinska O., Bubela A., Davydenko O. Prediction of the stress-strain state of a road structure with shallow transverse tubular drainage. *ScienceRise*. 2020. (4). C. 24-32. URL: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001396>
12. Bubela A.V., Kvatadze A.I. Doslidzhennya rezhymiv roboty drenuval'nykh shariv v dorozhnikh konstruktsiyakh. *Science Review*. 2020. 5(32). C. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

Дата надходження до редакції 24.04.2025.