

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ПРИ ВЛАШТУВАННІ ДРЕНАЖНИХ КОНСТРУКЦІЙ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ

Бубела А.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5619-003X

Поляков В.М., Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, 153121@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0408-7153

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL REQUIREMENTS IN THE CONSTRUCTION OF DRAINAGE STRUCTURES WITH A SHALL LAYING

Bubela A.V., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5619-003X

Poliakov V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, 153121@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0408-7153

Постановка проблеми.

Забезпечення сприятливого водно-теплогового режиму та видалення зайвої вологи з шарів основи дорожнього одягу стає важливим завданням під час проектування стійких та довговічних дорожніх конструкцій. Технологічні аспекти щодо влаштування дренажних систем мілкового закладання є актуальним питанням у сучасній інженерній практиці дорожнього будування.

У контексті будування дорожньої конструкції, дренажі мілкового закладання виступають як необхідний елемент для підвищення її несної здатності. Правильне визначення технологічних вимог під час влаштування дренажів є ключовим етапом, що визначає їхню ефективність та функціональність. Це включає в себе аналіз сучасних методів, матеріалів та підходів, які використовуються для створення ефективних систем дренажу.

Мета роботи полягає у визначенні основних технологічних вимог та дослідженні напружено-деформованого стану дорожньої конструкції щодо влаштування дренажних систем мілкового закладання з щобеневим шаром. Об'єктом дослідження є дренажні конструкції мілкового закладання автомобільних доріг загального користування різних категорій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У статті [1], авторами було представлено технологію будування горизонтального дренажу на зрошуваних територіях, наведено результати теоретичних досліджень щодо визначення глибини дренажу, ширини дренажної траншеї, діаметра дренажної труби, товщини фільтрувального матеріалу, відстані між дренажними прорізами та дренажним модулем.

Водовідведення є базовим проектом у процесі будь-якого будування. За останні роки з безперервним удосконаленням рівня будівельних технологій у Китаї швидкість будування великих проектів прискорюється [2]. Будування системи водовідведення пов'язане з повсякденним життям мешканців, тому такі проекти відіграють основну роль щодо об'єктів комунальної інженерії. У роботі [2] проаналізовано технологію будування систем водовідведення в міських умовах, але не розглядається динамічний вплив на дренажні труби саме під час їх влаштування.

У статті [3] представлено технологію будування та контроль якості систем водовідведення. Наведено методи влаштування та монтажу дренажних труб. У роботі [4] проводились дослідження труб з поліетилену, які зберігають характеристики щодо надійного їх з'єднання та терміну служби, ударостійкість, стійкість до рідини та корозії, що, відповідно, сприяє їх застосуванню у дренажних системах. На основі чисельного динамічного моделювання отримані результати, що характеризують стан завантаження труби та забезпечують теоретичну основу для економічно-доцільного визначення її довжини.

Вище наведений аналіз обумовлює актуальність та необхідність проведення досліджень з визначення ефективності роботи дренажних конструкцій мілкового закладання на етапі будування автомобільної дороги під впливом дії дорожніх машин.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Технологічні вимоги під час влаштування дренажних конструкцій відіграють важливу роль у забезпеченні тривалості та стійкості дорожнього покриття. Неякісно влаштований дренаж обумовлює

накопичення води в робочій зоні земляного полотна, що може призвести до пошкодження дорожнього покриття та його руйнування. Окрім цього, такі процеси можуть викликати розвиток деформації верхнього шару ґрунту земляного полотна під дорожнім покриттям, що загрожує стійкості всієї дорожньої конструкції.

У зв'язку з наявністю перевантажених великовагових транспортними засобами, динамічні впливи на дорожню конструкцію суттєво збільшуються. Тому це вимагає підвищених вимог щодо ущільнення шарів дорожнього одягу в процесі їх влаштування.

Для якісного ущільнення необхідно обґрунтовано підбирати параметри цього процесу, такі як швидкість руху котка, частота вібрації та амплітуда коливання вальця, статичне лінійне навантаження. У процесі ущільнення крім характеристик самого шару змінюються характеристики плями контакту робочого органу. Під плямою розуміється область вальця, що знаходиться в безпосередньому контакті з шаром, що ущільнюється.

Під час влаштування дренального шару із щебеню рекомендується використовувати котки з гладкими вальцями. Ці котки ефективні для укатки незв'язних ґрунтів та підготовки поверхні ґрунтових основ перед влаштуванням шарів дорожнього одягу.

Для обґрунтованого вибору типу котка у відповідності до конкретних умов, необхідно аналізувати тиски, що виникають на поверхні контакту котка з шаром, що ущільнюється, та визначити його необхідну товщину.

Занурення в шар вальця h прямо пропорційне зусиллю, яке діє на нього [5]. Така закономірність добре перевірена досвідом і справедлива не тільки для колісних, а і для сферичних штампів. Тому для випадку вальця використовується рівність:

$$h = \psi q, \quad (1)$$

де ψ – відповідний коефіцієнт;
 q – лінійний тиск, кгс/см².

Якщо врахувати, що довжина контактної площі з вальцем a вираховується за формулою:

$$a \approx 2\sqrt{2Rh}, \quad (2)$$

де R – радіус вальця, см,

то лінійний тиск q може бути виражено через середній контактний тиск σ_{cp} як:

$$q = \sigma_{cp} a, \quad (3)$$

Відповідно,

$$\sigma_{cp} = 0,35 \sqrt{\frac{q}{R\psi}}. \quad (4)$$

Для моделювання впливу дорожніх котків на напружено-деформований стан щебеневого дренального шару з трубчастою дреною, використовуються котки з гладкими вальцями, такі як Caterpillar CB-434D та Sany STR100C-8S з основними параметрами, наведеними у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри котків з гладкими вальцями
 Table 1 – Parameters of rollers with smooth rollers

Тип котків	Вага котка, т	Кількість вальців, од	Статичне лінійне навантаження, кг/см	Ширина вальця, м, В	Діаметр вальця, см, D	Навантаження на валець, кг	Сила, з якою валець діє на поверхню, Н
Caterpillar CB-434D	7700	2	23,0	1,5	130,0	3850,0	37730
Sany STR100C-8S	10500	2	27,1	1,9	124,0	5250,0	51450

Глибина активної зони під час ущільнення дорівнює приблизно двом діаметрам штампа або подвоєному мінімальному поперечному розміру поверхні контакту котка з ґрунтом. Термін "активна зона" визначається як обмежений за глибиною шар ґрунту, в якому ущільнення під дією власної ваги вже настільки велике, що тиск від зовнішнього навантаження не може його збільшити [6]. Оскільки вальці мають значну ширину, мінімальним розміром завжди є довжина хорди, що стягує занурену в ґрунт частину окружності вальця. Глибина активної зони і оптимальна товщина шару ґрунту, який ущільнюється, залежать від лінійного тиску та радіусу вальця котка. Відповідно, раціонально використовувати котки з великим діаметром вальців.

З метою визначення впливу навантаження від котків необхідно дослідити напружено-деформований стан дорожньої конструкції. Загальноприйнятний розрахунок напружено-деформованого стану під дією навантаження в дорожніх конструкціях проводиться без наявності трубчастих дрен і ґрунтується тільки на фізико-механічних властивостях шарів покриття та основи. Тому важливо визначити напружено-деформований стан дорожньої конструкції саме з урахуванням наявності круглих отворів – дренажних труб.

Метод скінчених елементів, дозволяє створювати різноманітні композиції з різних складових. В якості інструментарію для дослідження напружено-деформованого стану нетипових дорожніх конструкцій з круглими отворами використовувався проектно-розрахунковий комплекс SCAD Office, який базується на методі скінчених елементів.

Використання числового моделювання в контексті несної здатності дорожнього покриття з врахуванням трубчастого дренажу мілкого закладання за допомогою сучасного обчислювального комплексу SCAD надасть можливість оцінити напруження та деформації в області тіла трубчастого дренажу на етапі влаштування дренавальних шарів.

Однією з ключових характеристик скінченного елемента є його максимальний діаметр, який часто використовується для оцінювання похибки методу, визначеної за формулою (5),

$$H = \max_e (\sup_{x,y \in \Omega} |x - y|) \quad (5)$$

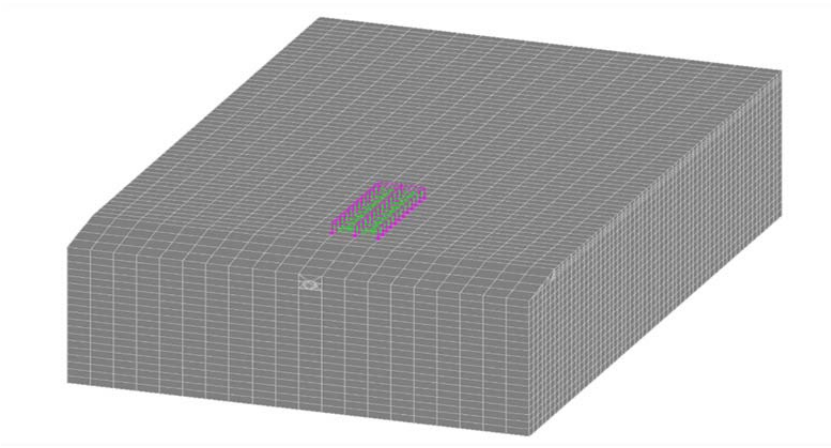
де H – мінімальний діаметр кулі, що може вмістити будь-який кінцевий елемент розрахункової схеми, см.

Для моделювання було обрано схему моделі дорожньої конструкції, яка є типовим проектним рішенням автомобільної дороги III-ї категорії. Побудова скінченно-елементних сіток була визначена із умов штампу вальця за статичним навантаженням. Для прогнозування напружено-деформованого стану дренавальних шарів з трубою на земляному полотні були проведені серії числових експериментів, для яких технологічні параметри для ущільнення щебеневого дренавального шару були визначені за допомогою виразу (2) та наведені у табл. 2.

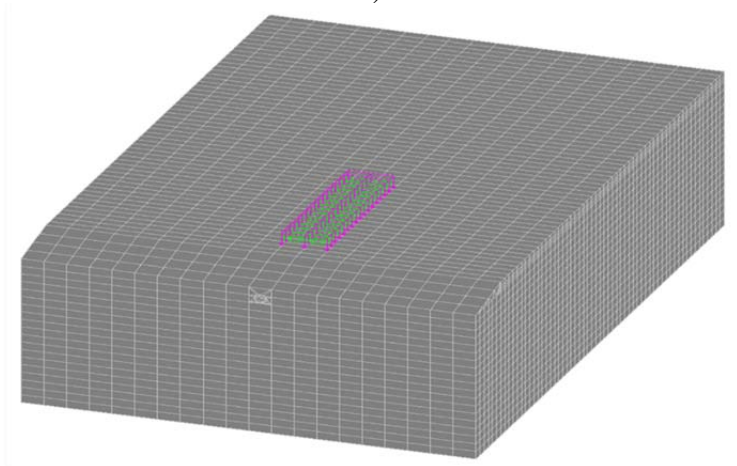
Таблиця 2 – Технологічні параметри для ущільнення щебеневого дренавального шару
Table 2 – Technological parameters for compaction of crushed stone drainage layer

Тиск вальця на поверхню шару, що ущільнюється, МПа	a , розрахункова довжина штампа, см			S , розрахункова площа штампа, м ²		
	при $h=1$ см	при $h=2$ см	при $h=3$ см	при $h=1$ см	при $h=2$ см	при $h=3$ см
0,12	20	40	40	0,32	0,44	0,56
0,14	20	40	40	0,46	0,64	0,8

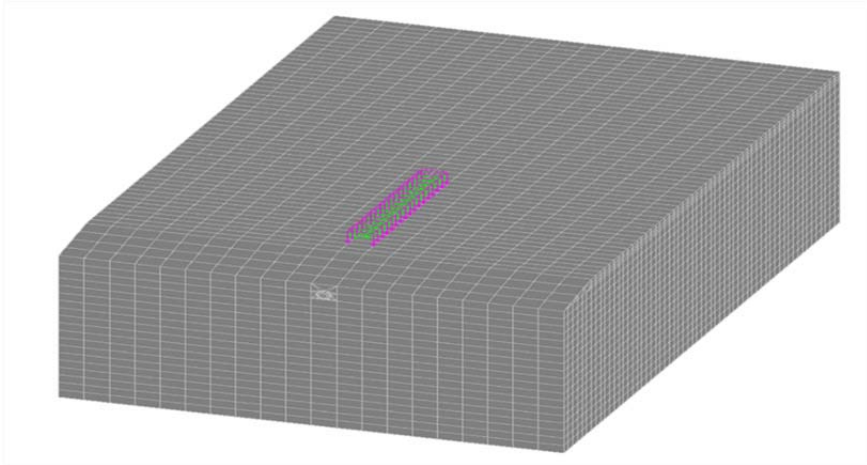
Побудовані моделі дорожньої конструкції з урахуванням наявності круглих отворів – дренажних труб у тривимірних елементах з розрахунковою сіткою відповідно до розмірів штампа вальця котка, і моделі представлені на рис. 2.



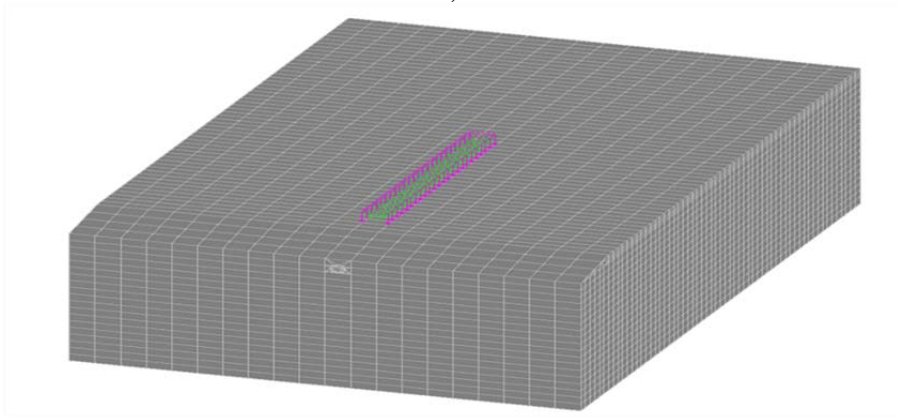
a)



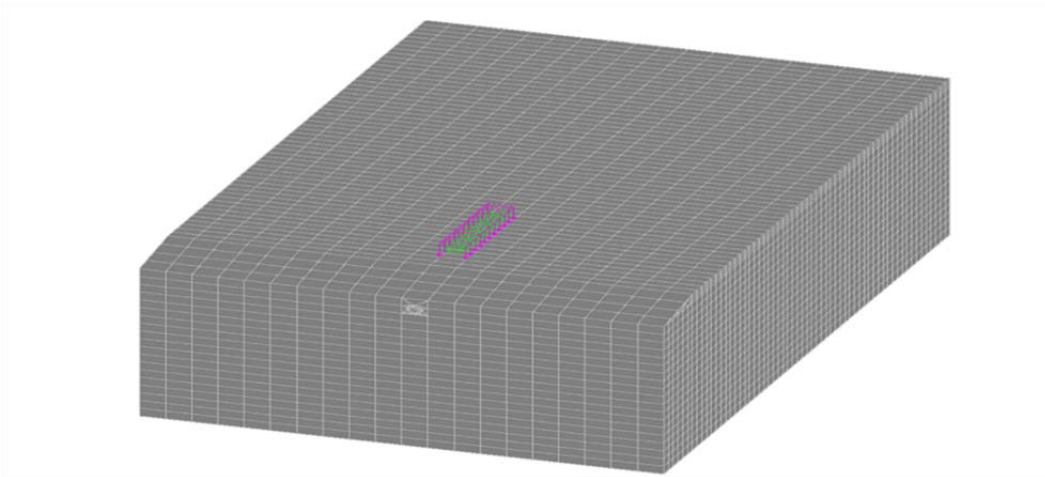
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2 – Моделі дорожньої конструкції у тривимірних елементах з розрахунковою сіткою у відповідності з розмірами штампу вальця котка: а – легкий каток штамп 1,1 на 0,4 м; б – легкий каток штамп 1,6 на 0,2 м.; в – важкий каток штамп 1,6 на 0,4 м.; г – важкий каток штамп 2,3 на 0,2 м.; д – важкий каток штамп 1,0 на 0,2 м.

Figure 2 – Models of road construction in three-dimensional elements with a calculation grid in accordance with the dimensions of the roller stamp: a – light roller stamp 1.1 by 0.4 m.; b – light rink stamp 1.6 by 0.2 m.; c – heavy roller stamp 1.6 by 0.4 m.; g – heavy roller stamp 2.3 by 0.2 m.; d – heavy roller stamp 1.0 by 0.2 m

Під час числового моделювання розглядуваної конструкції використовувалось навантаження статичне, як найбільш несприятливе за тривалістю під час процесу влаштування дренажального шару. Для трубчастих дрен моделювались реальні умови будування, які передбачають поетапне ущільнення дренажальних шарів.

В результаті числового експерименту визначено загальний розподіл нормальних напружень N_z та деформацій Z під впливом навантаження від дорожніх котків в дорожній конструкції з щебеневим дренажальним шаром. Відповідно до технології влаштування дренажальних шарів з щебеню, було визначено залежність деформацій Z від зміни деформацій на межі «труба - щебеневий шар» – рис. 3 а, б.

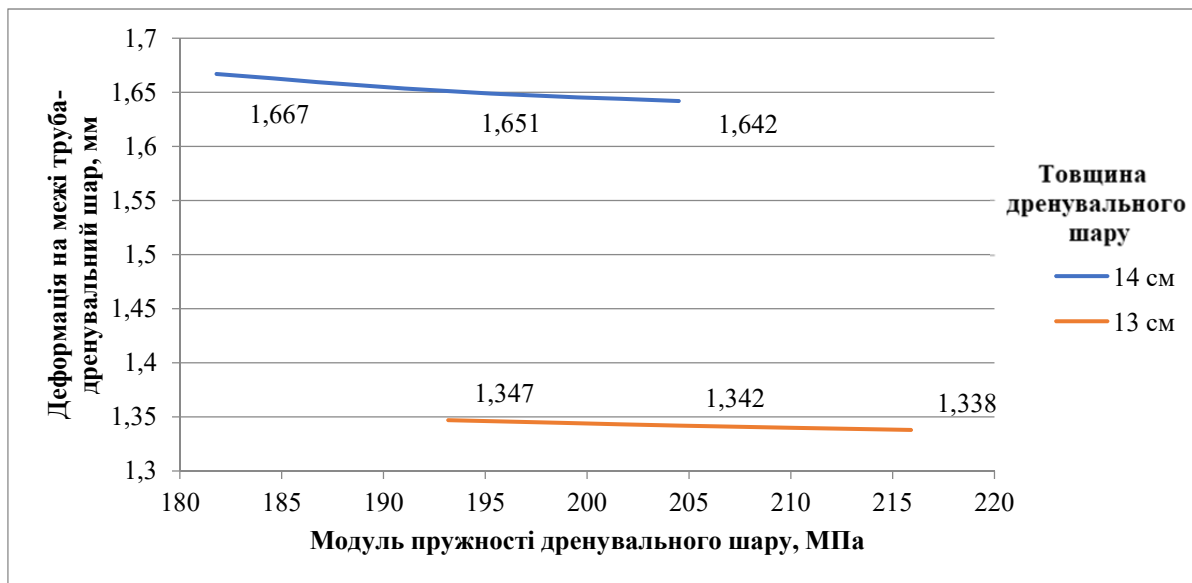
Було проведено дослідження напружено-деформованого стану дорожньої конструкції з дренажальним шаром зі щебеню та дренажною трубою з використанням легкого котка та без нього (рис. 3). Виходячи з представлених графіків зміни деформації від модуля пружності, можна зробити висновок, що під час використання легкого котка в парі з важким дає зміну деформації після легкого котка на 20%, а після важкого на 10%, що обумовлює поступове зменшення деформації тіла труби. Якщо легкий каток не використовувати, то, за тих же умов, деформація буде більша на 15%, що може призвести до деформації тіла труби, а для труб підвищеної жорсткості – до її руйнування. Труби полівінілхлоридні класу SN 2 та SN 8 витримують такі навантаження та можуть бути використані для влаштування дренажних систем мілкового закладання.

Висновки.

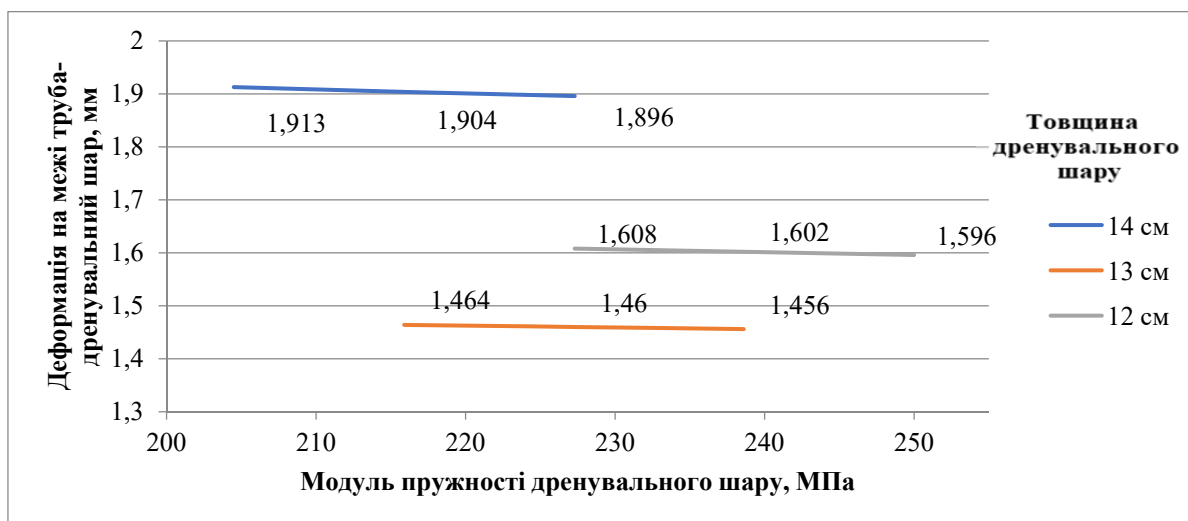
У результаті проведеної роботи реалізація поставлених завдань спрямована на дослідження та визначення технологічних вимог під час влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання. Було проведено аналіз сучасних методів, матеріалів та підходів, які використовуються для створення ефективних конструкцій дренажних систем. Визначено параметри гладковальцевих котків та розраховано основні показники їх дії на дренаж мілкового закладання під час ущільнення щебеневого дренажального шару. Проведено моделювання дорожньої конструкції у тривимірних елементах з розрахунковою сіткою у відповідності з розмірами штампу вальця котка. Потребують подальшої розробки моделі дорожніх конструкцій з іншими модифікаціями дренажних конструкцій різних типів у тривимірних елементах та проведення досліджень напружено-деформованого стану від дії котків на стадії їх влаштування.

Встановлено технологічні режими ущільнення дренажальних шарів з наявністю трубчастих дрен в робочій зоні земляного полотна, з урахуванням модуля пружності шару та типу дорожнього котка: щебеневий шар (190 – 220 МПа) – прослідковується лінійна залежність зменшення деформацій

труб від модуля пружності шару (для труби ПВХ SN 8 змінюється від 1,91 до 1,34 мм. Деформації в трубі ПВХ класу SN8 не перевищують 2 % від зовнішнього діаметру труби, що є допустимим для умов її роботи. В якості конструктивних елементів поперечних трубчастих дренажів мілко закладання доцільно використовувати труби ПВХ класу SN 8.



a)



б)

Рисунок 3 – Залежність деформацій Z від модуля пружності щебеневого дренажувального шару: а – з трубою ПВХ під час ущільнення легким котком; б – з трубою ПВХ під час ущільнення важким котком

Figure 3 – Dependence of deformations Z on the modulus of elasticity of the crushed stone drainage layer: a – with a PVC pipe during compaction with a light roller; b – with a PVC pipe during compaction with a heavy roller

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Vafoev Safo, Dauletov Nuzamadin, Turdibekov Ilkhomjon, Vafoev Rustam, Vafoeva Ozoda. Construction of closed horizontal drainage on irrigated lands and determination of its parameters. [Електронний ресурс] / E3S Web of Conferences. – 2021. – Режим доступу: 264. 04071. 10.1051/e3sconf/202126404071.
2. Ding Li, Liwu Li. Analysis of Water Supply and Drainage Construction Technology for Municipal Engineering. [Електронний ресурс] / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Режим доступу: 608. 012003. 10.1088/1755-1315/608/1/012003.

3. Qu Zhenlun, Wang Weihai, Zhou An, Liu Jianyin, Feng Jianhua. Study on construction technology and quality control of municipal drainage engineering. [Електронний ресурс] / Smart Construction Research. – 2018. – Режим доступу: 2. 10.18063/scr.v2i3.575.
4. Wang Weizhi, Xue Linhu, Chen Meng. Application study on numerical analysis method of onshore launching system design for over-length with large diameter HDPE pipe. [Електронний ресурс] / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Режим доступу: 768. 012160. 10.1088/1755-1315/768/1/012160.
5. 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.
6. Хархута М.Я., Капустін М.І., Семенов В.П., Евентов І.М. Підручник для ВНЗ. Вид. 2-е, доп. та перероб. Л.: «Машинобудування», 1976. 472 с.[рос.мова].

REFERENCES

1. Vafoev Safo, Dauletov Nuzamadin, Turdibekov Ilkhomjon, Vafoev Rustam, Vafoeva Ozoda. (2021). Construction of closed horizontal drainage on irrigated lands and determination of its parameters. E3S Web of Conferences. 264. 04071. 10.1051/e3sconf/202126404071.
2. Ding Li, Liwu Li. (2020). Analysis of Water Supply and Drainage Construction Technology for Municipal Engineering. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 608. 012003. 10.1088/1755-1315/608/1/012003.
3. Qu Zhenlun, Wang Weihai, Zhou An, Liu Jianyin, Feng Jianhua. (2018). Study on construction technology and quality control of municipal drainage engineering. Smart Construction Research. 2. 10.18063/scr.v2i3.575.
4. Wang Weizhi, Xue Linhu, Chen Meng. (2021). Application study on numerical analysis method of onshore launching system design for over-length with large diameter HDPE pipe. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 768. 012160. 10.1088/1755-1315/768/1/012160.
5. Slavinska O.S., Bubela A.V. (2020). Design of optimal structures of transverse drains of shallow laying and assessment of their impact on the transport and operational condition of the road. Monograph. K. NTU, 268 p.
6. Kharhuta M.Ya., Kapustin M.I., Semenov V.P., Eventov I.M. (1976). Textbook for universities. Kind. 2nd, add. and processing. "Machine Building". 472 p. [Russian].

РЕФЕРАТ

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).

У статті представлено дослідження з визначення технологічних вимог щодо влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання, щебеневого дренажного шару для забезпечення сприятливого водно-теплогового режиму та видалення зайвої вологи з шарів основи дорожнього одягу.

Об'єкт дослідження – дренажні конструкції мілкового закладання автомобільних доріг загального користування різних категорій.

Мета роботи – визначити основні технологічні вимоги та дослідити напружено-деформований стан дорожньої конструкції щодо влаштування дренажних систем мілкового закладання з щебеневим шаром.

Методи дослідження – для досягнення мети роботи використовувалися наступні методи: метод скінчених елементів, аналіз напружено-деформованого стану дорожньої конструкції.

У роботі реалізація поставлених завдань спрямована на дослідження та визначення технологічних вимог під час влаштування дренажних конструкцій мілкового закладання та дослідження їх напружено-деформованого стану. Проведено аналіз сучасних методів, матеріалів та підходів, які використовуються для створення ефективних конструкцій дренажних систем. Змодельована дорожня конструкція у тривимірних елементах з розрахунковою сіткою у відповідності з розмірами штампу вальця котка.

Результати статті можуть бути корисними для фахівців з проектування, будівництва і експлуатації автомобільних доріг загального користування під час влаштування дренажних систем мілкового закладання, а також можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки майбутніх фахівців дорожньо-транспортної галузі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРЕНАЖНІ СИСТЕМИ, ДРЕНАЖНІ КОНСТРУКЦІЇ МЛІКОГО ЗАКЛАДАННЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ДОРОЖНЯ КОНСТРУКЦІЯ.

ABSTRACT

Bubela A.V., Poliakov V.M. Determination of technological requirements in the construction of drainage structures with a shall laying. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – К.: NTU, 2023. – Issue 3 (57).

The article presents a study on the definition of technological requirements for the installation of drainage structures of shallow laying, a crushed stone drainage layer to ensure a favorable water-thermal regime and remove excess moisture from the layers of the base of road clothing.

The object of the study is the drainage structures of shallow laying of public highways of various categories.

The purpose of the work is to determine the main technological requirements and to investigate the stress-deformation state of the road structure in connection with the installation of shallow drainage systems with a crushed stone layer.

Research methods – to achieve the goal of the work, the following methods were used: finite element method, analysis of the stress-strain state of the road structure.

In the work, the implementation of the tasks is aimed at researching and determining the technological requirements during the installation of drainage structures of shallow laying and researching their stress-strain state. An analysis of modern methods, materials and approaches used to create effective structures of drainage systems was carried out. Modeled road construction in three-dimensional elements with a calculation grid in accordance with the dimensions of the roller stamp.

The results of the article can be useful for specialists in the design, construction and operation of public highways during the installation of drainage systems of shallow laying, and can also be implemented in the educational process during the teaching of educational disciplines of the cycle of professional training of future specialists in the road and transport industry.

KEY WORDS: DRAINAGE SYSTEMS, DRAINAGE STRUCTURES OF SHALL LAYING, STRESSED AND DEFORMED STATE, AUTOMOBILE ROAD, ROAD STRUCTURE.

АВТОРИ:

Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-5619-003X.

Поляков Володимир Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, 153121@ukr.net, тел. +380979878582, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-0408-7153

AUTHOR:

Bubela Andrii V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Road Construction and Property Management Department, bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0002-5619-003X

Poliakov Volodymyr M., PhD student, National Transport University, 153121@ukr.net, tel. +380979878582, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0002-0408-7153

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Батракова А.Г., д-р техн. наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, проректор з науково-педагогічної роботи, Харків, Україна.

Мозговий В.В., д-р техн. наук., професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Київ, Україна.

REVIEWER:

Batrakova A.H., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Vice-rector for Research and Education, Kharkiv, Ukraine.

Mozgovyi V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Road Construction Materials and Chemistry Department, Kyiv, Ukraine.