

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОГО ДРЕНАЖУ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Славінська О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

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

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Усиченко О.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Стьожка В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

IMPROVEMENT OF THE CALCULATION METHOD TRANSVERSE SHALLOW DRAINAGE ON HIGHWAYS

Slavinska O.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

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

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Usychenko O.Y., PhD of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Stozhka V.V., PhD of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Постановка проблеми.

Автомобільні дороги призначені для безпечного, зручного та комфортного руху транспортних засобів. Мережа автомобільних доріг є важливим елементом транспортної інфраструктури, що забезпечує, в тому числі, і обороноздатність країни. Враховуючи, що витрати на проектування, будівництво та експлуатаційне утримання мережі доріг складають значну частину національного бюджету, важливим питанням залишається гарантування достатньої міцності та експлуатаційної надійності дорожньої конструкції на стадії будівництва та експлуатації. У процесі експлуатації автомобільних доріг порушується цілісність покриття та узбіч, що обумовлено постійним впливом атмосферних опадів, ґрунтових вод та температурних коливань, особливо на перезволожених ділянках, в результаті чого відбувається розвиток деформацій та руйнувань дорожньої конструкції. Теорія та методи регулювання водно-теплогового режиму дорожньої конструкції, який впливає на її транспортно-експлуатаційний стан, потребують суттєвого розвитку в зв'язку з дією багаторазових навантажень, особливо від великовагових транспортних засобів, з наявністю надлишкової води у весняний період та під час відлиг. Дослідники відмічають, що стійкість насипу має вирішальне значення при будівництві доріг [1]. Основним засобом збору та відведення надлишкової вологи є влаштування дорожніх дренажних систем. Вони повинні проектуватися із умов ефективної роботи протягом усього терміну служби дорожньої конструкції. Недосконалість існуючих методів розрахунку параметрів дренажів мілкового закладання призводить до того, що у практиці використовують підходи, переважно засновані на формулах емпіричного характеру. Запропоновані формули досить обмежені, мають низьку ступінь точності, далеко не завжди відповідають сучасним вимогам проектування дренажних споруд. Деякі з них, покладені за основу методик для розрахунку дренажних конструкцій, мають порівняно вузький діапазон зміни проектних параметрів, що не відповідає складному процесу міграції вологи, який відбувається в шарах основи дорожнього одягу. Прийняття невдалих проектних рішень щодо параметрів та конструкцій дренажних систем може

спричинити як передчасне погіршення транспортно-експлуатаційного стану ділянок доріг, так і руйнування дорожнього одягу, що вимагатиме проведення тривалих ремонтних робіт аж до повної заміни конструкції дорожнього одягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В багатьох наукових розробках вчених країн Європи, Азії приділяється увага проведенню моніторингу міського стоку, оптимізації дренажної мережі [2], особливо в штормових умовах, новим підходам удосконалення мережі поверхневого водовідводу, розробці системи прогнозування повені (FES) [3]. Сучасні нормативні вимоги, з урахуванням Eurocodes, щодо планування, проектування, експлуатації та технічного обслуговування дренажних та каналізаційних мереж великих міст, зокрема Гонконгу, для зливонебезпечних умов, а також заходи щодо зменшення наслідків паводків у сільській місцевості наведені в роботі [4]. Однією з найважливіших проблем функціонування дренажних систем є екологічні аспекти, обумовлені блокуванням відходами будівельного, сільськогосподарського виробництва [4], забрудненням міської води [5]. Основним напрямком цих досліджень є визначення ефективності використання стійких дренажних конструкцій міста (SuDS) при проведенні заходів на зменшення забруднення поверхневих вод, які містять тверді речовини, важкі метали [5].

Новий підхід системи збирання дощової води для доріг місцевого значення на ділянках примикань до головної дороги представлено на експериментальній установці в роботі [6], де проводилися спостереження за підкритичними і надкритичними режимами течії поверхневих вод. Проблемам проектування, будівництва та експлуатації дренажних систем, поверхневому водовідводу на автомобільних дорогах загального користування присвячені роботи [7, 8]. Аналіз, спрямований на дослідження впливу водовідведення з поверхні автомобільної дороги на витрати з її утримання наведено в роботі [7], де було визначено, що неврахування ефективних дренажних систем при проектуванні та будівництві автомобільних доріг, як правило, призводять до високої вартості їх експлуатації та утримання. Ідеальна дорожня інфраструктура має низькі витрати на обслуговування та кращі експлуатаційні характеристики доріг і дренажних систем. Невідповідна система технічного обслуговування між дорогами та водовідведенням є головною причиною виникнення збільшення витрат на обслуговування доріг. Представлені настанови [8] дозволяють, на основі гідравлічних розрахунків, прийняти інженерні рішення щодо підбору параметрів та конструкцій дренажних систем. Вітчизняні методичні рекомендації [9] обумовлюють розроблення заходів з регулювання водно-теплогового режиму робочого шару земляного полотна автомобільних доріг при новому будівництві та виконанні ремонтних робіт. Важливим також є проведення аналізу даних натурних спостережень за дослідними ділянками автомобільних доріг України [10], на підставі чого було розглянуто вплив зміни товщини дренажного шару на загальний модуль пружності дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Джерела зволоження ґрунту земляного полотна поділяються на активні та пасивні. Активними є атмосферні опади, які інфільтруються через неукріплені укоси та узбіччя земляного полотна а також через тріщини та пори шарів дорожніх одягів. Навіть новопобудовані покриття, як правило, не є повністю водонепроникними, не говорячи вже про ті, які експлуатувалися тривалий час.

Задача влаштування дренажних конструкцій – зібрати та відвести воду в будь-якому місці під шарами дорожнього одягу, особливо в найбільш несприятливий період водно-теплогового режиму, тобто в період максимального надмірного зволоження. Дослідженнями та аналізом випадків, і причин виникнення руйнувань дорожніх одягів внаслідок інфільтраційного перезволоження [11] встановлено необхідність влаштування дренажних систем в усіх дорожньо-кліматичних зонах України на характерних ділянках доріг: у виїмках, нульових відмітках, невисоких насипах, угнутих в поздовжньому профілі та з поздовжнім похилом більшим за поперечний. Дренажі мілкового закладання використовуються в межах активної зони земляного полотна. Серед переваг в роботі [11] відмічено порівняно невелику будівельну вартість, високий рівень механізації робіт щодо їх влаштування, тривалий термін служби та ефективне зменшення вологості ґрунту земляного полотна, що призводить до підвищення його експлуатаційних характеристик. Основною із проектних характеристик поперечних дренажів мілкового закладання є відстань між дренажними прорізами, яка обумовлює час водовідведення та витрати на влаштування дренажних конструкцій.

Однією з основних задач при проектуванні дренавального шару є визначення його товщини. Товщина дренавального шару напряму залежить від притоку води. Максимальне значення притоку води обумовлює товщину дренавального шару виходячи із здатності матеріалу поглинати та відводити воду. Вода надходить внаслідок зимового вологонакопичення при відтаванні дорожньої конструкції з одночасною інфільтрацією додаткової води від атмосферних опадів. Найбільш небезпечним періодом вважається весняний період після початку відтавання ґрунту. Додатково слід враховувати можливе пікове навантаження в результаті проходження злив або зливових дощів високої інтенсивності. Вода, що накопичується дренавальним шаром, поступово відводиться за рахунок поперечного похилу дренавального шару. При наявності поздовжніх похилів, що перевищують поперечні слід забезпечити перехоплення та відведення фільтраційного потоку за допомогою поперечного дренажу.

При проектуванні автомобільних доріг і системи їх експлуатації враховуються особливості мікроклімату, який формується під впливом місцевих природних умов. Оскільки визначальним параметром при проектуванні дренажної конструкції є наявність води, вихідними даними для розрахунку є розрахунок питомого надлишку води, що надходить в дренажну систему. За наявних розрахункових методик існує проблема точного врахування кліматичних параметрів району будівництва із-за трудомкості статистичної обробки масивів метеорологічних величин та використання таблиць довідникових даних. Розрахунки заходів регулювання водно-теплогового режиму потребують визначення специфічних метеорологічних характеристик та спеціалізованої їх розробки. Для вирішення питань отримання розрахункових характеристик колективом авторів кафедри транспортного будівництва та управління майном в межах виконання госпдоговірної тематики на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) було розроблено Довідник [12], який містить повний набір таблиць кліматологічної інформації для всієї території України та алгоритми користування довідниковими даними. Автоматизація проведення розрахунків кліматологічних показників забезпечується удосконаленою розрахунково-аналітичною системою (РАС) «ВТР», що спрощує користування довідниковими даними та дає можливість до варіантного проектування. На рисунку 1 наведено вікна РАС з отриманими значеннями, що є вихідними для розрахунку дренажних конструкцій.

The image shows two windows of the RAS «VTR» software. The left window displays input data and initial calculations, while the right window shows the final results of the calculations.

Left Window Data:

- Загальний питомий надлишок води, (м³/добу на 1 м² основи):
 - прямка ділянка: 0.010053
 - ділянка віражу: 0.010756
- Матеріал дренавального шару: Пісок мілий
- Допустима глибина шару води біля кромки убічоч, (м): 0.05
- Коефіцієнт фільтрації піску дренавального шару, (м/добу): 25
- Поперечний похил основи дорожнього одязу, (%): 30
- Загальна товщина піщаного дренавального шару, (м):
 - Метод осушення:
 - прямка ділянка: 0.22
 - ділянка віражу: 0.23
 - Метод поглинання:
 - прямка ділянка: 0.37
 - ділянка віражу: 0.38
- Дренаж мілкового закладання:
 - ☐ поздовжній
 - ☒ поперечний
- Розрахунок дренажних прорізів на ділянках з поздовжнім похилом більшим за поперечний

Right Window Results:

- ділянка віражу: 0.23
- Метод поглинання:
 - прямка ділянка: 0.37
 - ділянка віражу: 0.38
- Дренаж мілкового закладання:
 - ☒ поздовжній
 - ☐ поперечний
- Підбір внутрішнього діаметру дренажної труби
- Довжина дренажу, (м): 50
- Проекційний поздовжній похил дна трапези, (%): 5
- Відстань між осадковими колодезями або поперечними випусками, (м, рекомендовано 50 м): 50
- Поздовжній похил труби, (%): 4
- Різниця висот на вході і виході труб в опадовому колодезі або поперечному випуску, (м): 0.2
- Сумарна витрата води в дренажі, (м³/добу):
 - прямка ділянка: 9.24
 - ділянка віражу: 16.74
- Внутрішній діаметр труби, (мм):
 - прямка ділянка: 100
 - ділянка віражу: 100

Рисунок 1 – Вікна РАС «ВТР» з результатами розрахунку загального питомого надлишку води та параметрів площинного дренажу

Figure 1 – Windows RAS «VTR» – the water total specific excess calculation results and the planar drainage parameters

Поряд з існуючими науковими розробками за наявними та нормативними документами з конструювання дренажних систем авторами встановлено необхідність в удосконаленні та уточненні методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізами. В результаті застосування розрахункового методу О.В. Тулаєва, який прийнятий за основу в [13] було виконано ряд розрахунків та встановлено певну неадекватність отриманих результатів.

Відповідно до [13] відстань між дренажними прорізами визначається як, м:

$$l = \frac{2h_{max}\gamma}{\gamma^2 - \left(\frac{i_1}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

де h_{max} – максимальна глибина фільтраційного потоку, м;

i_1 – поздовжній похил проїзної частини, ‰;

γ – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$\gamma = \sqrt{2 \times Q_p \times K_\phi}, \quad (2)$$

де Q_p – розрахунковий питомий надлишок води, м³/добу на 1 м²;

K_ϕ – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Відповідно для різних вихідних даних отримані значення відстані до 3 м, разом з тим в практиці дорожнього будівництва загальноприйнятними є значення від 50 метрів.

Для розроблення удосконаленого методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізами із забезпеченням достатньої водопрпускнуї спроможності [14] за основу було прийняте основне диференціальне рівняння нерівномірного плавнозмінного руху рідини у відкритих руслах [15]:

$$i = \frac{d}{dl} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right) + i_t, \quad (3)$$

де i – похил вільної поверхні потоку:

$$i = -\frac{dz}{dl}; \quad (4)$$

l – довжина ділянки потоку, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

α – коефіцієнт кількості руху потоку, який фізично виражає відношення дійсної кількості руху, підрахованого за місцевими швидкостями до руху, який підраховано за середньою швидкістю за одиницю часу;

i_t – похил тертя.

Виразивши похил поверхні i через похил дна русла i_o та похідну від глибини h за відстанню l (3) отримано у вигляді:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_o - \frac{Q^2}{K^2} \left(1 - \frac{\alpha C^2 R d \omega}{g \omega} \frac{d\omega}{dl} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}}, \quad (5)$$

де Q – загальна витрата потоку;

K – витратна характеристика, що відповідає глибині потоку h при нерівномірному русі, м³/с;

C – коефіцієнт Шезі;

R – гідравлічний радіус потоку, м;

ω – площа живого перетину потоку, м²;

B – ширина потоку, м.

З урахуванням припущення, що коефіцієнт кількості руху потоку α – постійна величина, не залежить від глибини, $\frac{d\omega}{dl} = 0$ отримано модифікації основного диференціального рівняння руслового потоку (5) для ділянок русла з прямим, зворотнім похилом дна та з горизонтальним дном.

На основі отриманих модифікацій в результаті дослідження форм кривих вільної поверхні ґрунтового потоку, кривих депресії (рисунк 2), прийнявши спрощення щодо похилу депресивної кривої фільтраційного потоку в дренальному шарі, заміною характеристик для відкритого русла на

відповідні параметри фільтраційного потоку та вираженням швидкості течії фільтраційного потоку через витрату отримано:

$$I_{cep} = \frac{i_o - \frac{q_p^2 l^2}{K_\phi^2 \Delta h^2}}{1 - \frac{\alpha q_p^2 l^2}{g \varepsilon^2 p^2 \Delta h^2}}. \quad (6)$$

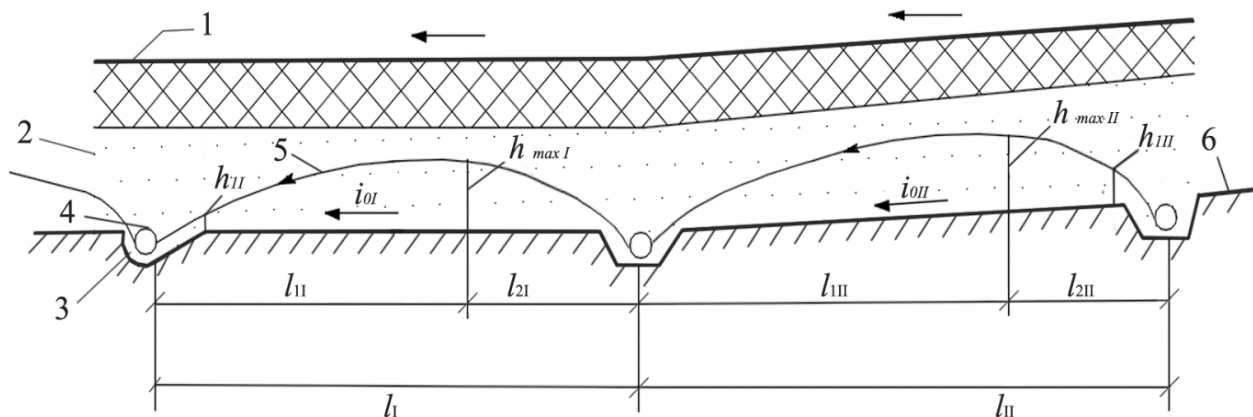


Рисунок 2 – Формування міграції води в дренавальному шарі на ділянці з поздовжнім похилом більшим за поперечний: 1 – покриття; 2 – основа; 3 – дренажна траншея; 4 – дренажна труба; 5 – крива депресії; 6 – земляне полотно

Figure 2 – Drainage layer water migration formation in the area with a longitudinal gradient greater than the transverse: 1 – pavement; 2 – base; 3 – drainage trench; 4 – drainage pipe; 5 – depression curve; 6 – subgrade

Після перетворення рівняння (6), грунтуючись на методі В.І. Чарномського, який заснований на числовому інтегруванні рівняння (3) в енергетичній формі [14], отримані рівняння для визначення максимальних відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізами:

- на ділянці дороги з прямим (поздовжнім) похилом ($i_o > 0$)

$$l_{12} = \sqrt{\frac{i_o - I_{cep} - \frac{q_p^2}{2K_\phi^2} \frac{l_{21}^2}{(h_{max1} - h_{11})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max1} - h_{21})^2} \left(\frac{1}{2K_\phi^2} - \frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} \right)}}; \quad (7)$$

- на ділянці дороги зі зворотнім похилом ($i_o < 0$)

$$l_{21} = \sqrt{\frac{|i_o| + I_{cep} + \frac{q_p^2}{2K_\phi^2} \frac{l_{12}^2}{(h_{max2} - h_{22})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max2} - h_{12})^2} \left(\frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} - \frac{1}{2K_\phi^2} \right)}}; \quad (8)$$

Загальна відстань між дренажними прорізами

$$L_n = l_{12} + l_{21}; \quad (9)$$

- на ділянці від верхньої дрени до нижньої дрени, що влаштована в місці перелому поздовжнього профілю:

$$L_1 = \sqrt{\frac{|i_{o1}| + I_{cep}}{\frac{q_p^2}{(h_{max1} - h_{11})^2} \left(\frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} - \frac{1}{K_\phi^2} \right)}} + \sqrt{\frac{i_{o1} - I_{cep} - \frac{q_p^2}{2K_\phi^2} \frac{l_{21}^2}{(h_{max1} - h_{11})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max1} - h_{21})^2} \left(\frac{1}{2K_\phi^2} - \frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} \right)}}; \quad (10)$$

- на ділянці від дрена, що влаштована в місці перелому поздовжнього профілю, до нижньої від неї дрена:

$$L_2 = \sqrt{\frac{i_{o2} - I_{cep}}{\frac{q_p^2}{(h_{max2} - h_{12})^2} \left(\frac{1}{K_\phi^2} - \frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} \right)}} + \sqrt{\frac{|i_{o2}| + I_{cep} + \frac{q_p^2}{2K_\phi^2} \frac{l_{12}^2}{(h_{max2} - h_{22})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max2} - h_{12})^2} \left(\frac{\alpha I_{cep}}{g \varepsilon^2 p^2} - \frac{1}{2K_\phi^2} \right)}}. \quad (11)$$

На основі розробленого методу і отриманих залежностей сформовано методику визначення відстані між поперечними дренажними прорізами в дренажах мілкого закладання. Методика включає такі етапи розрахунку:

1. Визначення нормальної глибини фільтраційного потоку: $h_0 = \frac{q_p}{K_\phi i_0}$.
2. Глибина на вході в дренажну прорізь задається як $h_i = 0$ м. Розрахунок максимальної глибини фільтраційного потоку

$$h_{max} = \frac{q_p}{K_\phi \left(-i_0 \frac{-(I_{cep})}{2} \right)_{max}}, \quad (12)$$

при цьому повинна виконуватись умова $h_{max} < h_0$.

3. Визначення початкових відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізами (рис. 2):

$$- \text{ для } i_0 > 0 \quad l_{12} = \frac{h_0}{i_0} \left(-\frac{h_{max}}{h_0 \ln \frac{1}{1 - \frac{h_{max}}{h_0}}} \right); \quad (13)$$

$$- \text{ для } i_0 < 0 \quad l_{21} = \frac{h_0}{|i_0|} \left(\frac{h_{max}}{h_0} + \ln \frac{1}{\frac{h_{max}}{h_0} + 1} \right); \quad (14)$$

$$- \text{ для } i_0 = 0 \text{ визначають, як загальну відстань } L_{1-2} = \frac{K_\phi h_{max}^2}{2q_p}. \quad (15)$$

-

4. Визначення глибини на вході в дренажну прорізь:

$$h_i = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_p^2 l_i^2}{g p^2 \varepsilon^2}}. \quad (16)$$

5. Визначення максимальних відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізами на ділянці дороги з прямим (поздовжнім) похилом $i_0 > 0$ за (7), на ділянці дороги зі зворотнім похилом $i_0 < 0$ за (1.6), де l_{12} , l_{21} за (13, 14).

6. Визначення загальної відстані між дренажними прорізами за (9).

7. Визначення загальної відстані між дренажними прорізами для ділянок доріг з переломом поздовжнього профілю або для увігнутих ділянок за (10, 11).

За запропонованою методикою виконано розрахунки для умов І-ї дорожньо-кліматичної зони України. Значення загального питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію прийнято відповідно до [12]. У якості дренажного матеріалу для площинного дренажу прийнятий пісок із значенням коефіцієнта фільтрації 4,5 та 6 м/добу. Результати розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку відстані між дренажними прорізами за запропонованим методом.

Table 1 – The calculating results of the distance between the drainage slots according to the proposed method.

Похилення ділянки	Мінімальна відстань між дренажними прорізами, м L_{min}	Максимальна відстань між дренажними прорізами, м L_{max}	Час водовідведення, діб T	Відстань між дренажними прорізами для ділянки зі змінним похилом, м $L_{змін\ пох}$	Відстань між дренажними прорізами за методом О.Я. Тулаєва, м L_t
Коефіцієнт фільтрації, $K_f=4,5$ м/добу					
0,035	4,89	19,94	0,59	11,81	2,92
0,04	4,62	15,37	0,54	11,17	2,95
Коефіцієнт фільтрації, $K_f=6$ м/добу					
0,035	4,89	15,55	0,34	11,81	3,41
0,04	4,62	11,55	0,23	11,17	3,45

За запропонованим методом розрахунку та відповідною методикою розраховані мінімальне та максимальне значення відстані між дренажними прорізами для різних значень похилу ділянки автомобільної дороги. Отримані значення в межах від 11 до 19 метрів. Ці значення є меншими, за прийняті в практиці будівництва на теперішній час, що свідчить про необхідність коригування та уточненого встановлення вищенаведеного параметру в проектах будівництва автомобільних доріг.

Висновок

Аналізом існуючих розрахункових методів та з урахуванням важливості проектування дренажних конструкцій достатньої пропускної здатності для забезпечення стійкості дорожньої конструкції протягом терміну служби встановлено необхідність щодо розроблення удосконаленого методу розрахунку відстані між дренажними прорізами. Метод розрахунку, розроблений на підставі моделі безнапірного нестационарного руху води у пористому середовищі, враховує загальну величину надходження вологи до шарів дорожнього одягу та в ґрунт земляного полотна, дає можливість визначити відстані між дренажними прорізами для ділянок з прямим та зворотним похилом в різних кліматичних зонах України на автомобільних дорогах різних технічних категорій. Використання вищенаведеного методу дозволяє конструювати стійкі та економічні дорожні конструкції за рахунок регулювання водно-теплогового режиму робочого шару земляного полотна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rufaizal Che Mamat, Anuar Kasa, Siti Fatin Mohd Razali. A review of road embankment stability on soft ground: problems and future perspective. IIUM Engineering Journal, Vol. 20, No. 2, 2019. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v20i2.996>.
2. J. Yazdi, Optimization of hydrometric monitoring network in urban drainage systems using information theory [Текст], Water science and technology 25 July 2016 <http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/05/06/wst.2017.226>
3. Abou Rjeily, O. Abbas, M. Sadek, I. Shahrour, F. Hage Chehade Y. Flood forecasting within urban drainage systems using NARX neural network [Текст], Water science and technology 7 August 2015 <http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/07/10/wst.2017.409>
4. Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Stormwater drainage manual (with Eurocodes incorporated) [Текст], Planning, Design and Management Fourth Edition, May 2013 p 151. http://www.dsd.gov.hk/EN/Files/Technical_Manual/technical_manuals/Stormwater_Drainage_Manual_Euro_codes.pdf

5. D. Allen, S. ArthurH. HaynesV. Olive, Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution,[Текст], International Journal of Environmental Science and TechnologyMarch 2017, Volume 14, Issue 3, pp 639–652 <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1177-y>
6. Ş. Tiğrek, O. Sipahi Rehabilitation of storm water collection systems of urban environment using the small roads as conveyance channels[Текст], International Journal of Environmental Science and Technology, January 2012, Volume 9, Issue 1, pp 95–103 <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-011-0002-x>
7. The impact of drainage towards roads in maintenance cost. Erna Ismiyani¹, Dewi Handayani, Rintis Hadiani. MATEC Web of Conferences 195, 05012, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012>.
8. Drainage manual, Office of design, drainage section[Текст], Tallahassee, Florida, January 2017, p.111 <http://www.fdot.gov/roadway/drainage/files/drainagemanual.pdf>
9. Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплогового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг (МР В 2.3-02070915-849:2014).// розроб. О.С. Славінська, В.Я. Савенко, О.Ю. Усиченко /. – К.: УКРАВТОДОР : НТУ, 2014. – 61 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59762
10. Славінська О.С., Стюжка В.В. Оптимізація інженерних рішень на прикладі порівняння варіантів конструкцій дренажів мілкового закладання // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 98 . К.:НТУ, 2016. С. – 228-237. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/228-237.pdf
11. Стюжка В.В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкового закладання : дис. на здобуття наукового ступеня к. т. н.: спеціальність: 05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми; М-во освіти і науки України, НТУ. – Київ, 2015. – 219 с. – Бібліогр. : с. 141-152.
12. Довідник № 4 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві; надано чинності 01.11.2018. – К. : Україна, 2018. – 98 с.
13. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016 Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкового закладання на автомобільних дорогах; надано чинності 2017-04-01. – К. : Україна, 2016. – 20 с.
14. Славінська, О.С., Бубела, А.В. Проектування оптимальних конструкцій поперечних дренажів мілкового закладання та оцінка їх впливу на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги: монографія / О.С. Славінська, А.В. Бубела. – К.: НТУ, 2020. – 268 с
15. .Большаков В.А. Справочник по гидравлике. К.: Вища школа. 1977. 278 с.

REFERENCES

1. Rufaizal Che Mamat, Anuar Kasa, Siti Fatin Mohd Razali. A review of road embankment stability on soft ground: problems and future perspective. IIUM Engineering Journal, Vol. 20, No. 2, 2019. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v20i2.996>.
2. J. Yazdi, Optimization of hydrometric monitoring network in urban drainage systems using information theory[Текст], Water science and technology25 July 2016 <http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/05/06/wst.2017.226>
3. Abou Rjeily, O. Abbas, M. Sadek, I. Shahrour, F. Hage ChehadeY. Flood forecasting within urban drainage systems using NARX neural network[Текст], Water science and technology7 August 2015 <http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/07/10/wst.2017.409>
4. Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Stormwater drainage manual(with Eurocodes incorporated)[Текст], Planning, Design and Management Fourth Edition, May 2013 p 151. http://www.dsd.gov.hk/EN/Files/Technical_Manual/technical_manuals/Stormwater_Drainage_Manual_Euro_codes.pdf
5. D. Allen, S. ArthurH. HaynesV. Olive, Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution,[Текст], International Journal of Environmental Science and TechnologyMarch 2017, Volume 14, Issue 3, pp 639–652 <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1177-y>
6. Ş. Tiğrek, O. Sipahi Rehabilitation of storm water collection systems of urban environment using the small roads as conveyance channels[Текст], International Journal of Environmental Science and

Technology, January 2012, Volume 9, Issue 1, pp 95–103 <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-011-0002-x>

7. The impact of drainage towards roads in maintenance cost. Erna Ismiyani¹, Dewi Handayani, Rintis Hadiani. MATEC Web of Conferences 195, 05012, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819505012>.

8. Drainage manual, Office of design, drainage section [Текст], Tallahassee, Florida, January 2017, p.111 <http://www.fdot.gov/roadway/drainage/files/drainagemanual.pdf>

9. Metodichni rekomendatsiyi shchodo rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu u mezhakh robochoho sharu zemlyanoho polotna avtomobil'nykh dorih (MR V 2.3-02070915-849:2014). // rozrob. O.S. Slavinska, V.YA. Savenko, O.YU. Usychenko /. – K.: UKRAVTODOR : NTU, 2014. – 61 s. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59762 [Methodical recommendations for the regulation of water-thermal regime within the working layer of the road pavement]

10. Slavinska O.S., Stozhka V.V. Optymizatsiya inzhenernykh rishen' na prykladi porivnyannya variantiv konstruktсий drenazhiv milkoho zakladannya // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Vyp. 98 . K.:NTU, 2016. S. – 228-237. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/228-237.pdf. [Optimization of engineering solutions on the example of shallow drainage constructions variants comparison]

11. Stozhka V.V. Udoshkonalennya metodu rozrakhunku drenazhnykh system milkoho zakladannya : dys. na здобuttya naukovoho stupenya k. t. n.: spetsial'nist': 05.22.11 – Avtomobil'ni shlyakhy ta aerodromy"; M-vo osvity i nauky Ukrainy, NTU. – Kyiv, 2015. – 219 s. – Bibliohr. : s. 141-152. [Improvement of the calculation method of shallow drainage systems: dis. for the degree of Candidate of Technical Sciences: specialty: 05.22.11 – Motorways and airfields].

12. Dovidnyk № 4 Klimatichni kharakterystyky ta klimatychne rayonuvannya terytoriyi Ukrainy dlya rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu v dorozhn'omu budivnytstvi [Handbook # 4 Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the water-thermal regime regulation in road construction].

13. DSTU-N Б В.2.3-41:2016 Nastanova z proektuvannya drenazhnykh konstruktсий milkoho zakladannya na avtomobil'nykh dorohakh [State Standard 2016. Guidelines for the design of shallow drainage structures on highways].

14. Slavinska O.S., Bubela, A.V. Proektuvannya optymal'nykh konstruktсий poperechnykh drenazhiv milkoho zakladannya ta otsinka yikh vplyvu na transportno-eksploatatsiynny stan avtomobil'noyi dorohy: monohrafiya / O.S. Slavinska, A.V. Bubela. – K.: NTU, 2020. – 268 s [Design of shallow transverse drainage optimal structures and assessment of their impact on the road transport and operational condition : a monograph]/

15. Bolshakov V.A. Spravochnyk po hydryavlyke. K.: Vyshcha shkola. 1977. 278 s [Hydraulics Handbook].

РЕФЕРАТ

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. Стюжка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022, – Вип. 1 (51).

Важливим аспектом забезпечення міцності та стійкості дорожньої конструкції є питання забезпечення сприятливого водно-теплого режиму земляного полотна протягом терміну служби. У статті проаналізовані результати досліджень науковців різних країн щодо питань врахування режиму зволоження та влаштування системи водовідведення на автомобільних дорогах. Одним із основних проектних параметрів поперечних дренажів мілкового закладання є відстань між дренажними прорізами. Точне визначення цього показника обумовлює ефективність відведення води з площинного дренажу та дає можливість оптимізувати витрати на влаштування дренажних конструкцій.

В представленій роботі узагальнені питання існуючого нормативного забезпечення щодо визначення розрахункових кліматологічних показників та принципів розрахунку дренажів мілкового закладання та сформульовані задачі досліджень щодо удосконалення та уточнення методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізами в таких дренажах. Авторами

запропоноване нове вирішення поставлених задач. В основу розробленого методу покладене основне диференційне рівняння нерівномірного плавномірного руху рідини у призматичних руслах та гіпотезу В.І. Чарномського. Авторами розроблені залежності для визначення відстані між поперечними дренажними прорізами в дренажах мілкого закладання. Розроблені математичні залежності для основних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання на характерних ділянках автомобільної дороги адекватно враховують основні фактори, що впливають на процес міграції вологи в дренажних шарах і дозволяють в новому аспекті розв'язувати задачі регулювання водно-теплого режиму земляного полотна автомобільних доріг. Наведено результати розрахунків відстані між поперечними дренажними прорізами, згідно запропонованої методики, для умов І-ї дорожньо-кліматичної зони України, за розрахункове значення прийнятий максимальний загальний питомий надлишок води, що надходить в дренажну конструкцію, для піщаного дренажного шару із значенням коефіцієнта фільтрації 4,5 та 6 м/добу. Виконано порівняння отриманих даних з результатами розрахунків за традиційною методикою. Зроблені відповідні висновки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРЕНАЖНА СИСТЕМА, ДРЕНУВАЛЬНИЙ ШАР, ДРЕНАЖНІ ПРОРІЗИ, ПОПЕРЕЧНИЙ ДРЕНАЖ, МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ, АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ВОДНО-ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО.

ABSTRACT

Slavinska O.S., Bubela A.V., Onyshchenko A.M., Usychenko O.Y., Stozhka V.V. Improving the calculating method of the shallow transverse drainage parameters on highways. *Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

An important aspect of the road structure strength and stability ensuring is the issue of subgrade favorable water-thermal regime providing during the service life. The article analyzes the results of research by scientists from different countries on the issues of taking into account the humidification regime and the arrangement of the drainage system on highways. One of the main design parameters of shallow transverse drainages is the distance between the drainage slots. The exact definition of this indicator determines the efficiency of water drainage from planar drainage and makes it possible to optimize the cost of drainage structures installation.

In the presented work the questions of the existing normative base on climatological indicators definition and principles of shallow drainages calculation are generalized and tasks of researches on improvement and specification of distance between cross drainage apertures calculation method in such drainages are formulated. The authors propose a new solution to the problems. The developed method is based on the basic of non-uniform smooth-motion of a fluid in prismatic channels differential equation and the hypothesis of VI Chernomsky. The authors developed dependences to determine the distance between the transverse drainage slots in shallow drainages. The developed mathematical equations for the main parameters of transverse shallow drainage on characteristic sections of the highway adequately take into account the main factors influencing the process of moisture migration in the drainage layers and allow to solve problems of water-heat regulation of roads in a new aspect. The results of calculations of the distance between the transverse drainage slots, according to the proposed method, for the conditions of the first road-climatic zone of Ukraine, the maximum total specific excess of water entering the drainage structure for the sand drainage layer with the value of filtration coefficient 4, 5 and 6 m / day are presented. The obtained data are compared with the calculation results according to the traditional method. Appropriate conclusions are made.

KEYWORDS: DRAINAGE SYSTEM, DRAINAGE LAYER, DRAINAGE SLOTS, SHALLOW TRANSVERSE DRAINAGE, ROAD, WATERWAY, SUBGRADE.

АВТОРИ:

Славінська Олена Сергіївна., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Проректор з наукової роботи, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, тел.: +38 (044) 280-84-48, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail:

bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мости і тунелі, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, тел.: +380687771899, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>.

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, fbbk@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Стьожка Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, styozhka@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

AUTHOR:

Slavinska Olena S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Vice-Rector for Research, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +38 (044) 280-84-48, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 327 <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

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

Onyshchenko Artur Mykolayovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Bridges and Tunnels Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, tel.: +380687771899, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, id ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0002-1040-4530>

Usychenko Olena Y., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Road Construction and Property Management Department, e-mail: fbbk@ukr.net, tel. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 138, <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Stozhka Vitalii V., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Road Construction and Property Management Department e-mail: styozhka@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 138, <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Мозговий В.В., доктор технічних 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.