УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

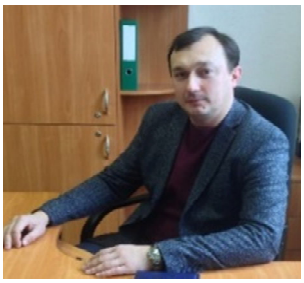
DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.2-105-112

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УКІСНИХ ДРЕНАЖНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПІДТОПЛЮВАЛЬНИХ НАСИПАХ

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SLOPING DRAINAGE STRUCTURES ON FLOOD EMBANKMENTS

***Славінська Олена Сергіївна**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: elenaslavin9@gmail.com, тел.: +380509698109

https://orcid.org/0000-0002-9709-0078



***Бубела Андрій Володимирович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна,*
e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.. +380505535594

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

***Бондаренко Людмила Петрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: luda_bond@ukr.net, тел.+380442803942

https://orcid.org/0000-0002-8239-065X

***Чечуга Олександр Сергійович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет,*
e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442

https://orcid.org/0000-0003-1643-6354

Анотація: У роботі розглянуто ділянки автомобільних доріг, які влаштовані у вкрай несприятливих, складних гідрологічних та інженерно-геологічних умовах та, відповідно, мають підвищений ризик активізації ерозії укосів підтоплювальних насипів під впливом накату вітрових хвиль.

Авторами представлено метод з визначення основних параметрів дренажних конструкцій, зокрема зворотних фільтрів, які влаштовують на укосах підтоплювальних насипів. Відіграє роль зворотного фільтру також підготовка під кріплення, яку можуть влаштовувати з одного шару різнозернистого матеріалу або з двох-трьох шарів однорідного матеріалу із різними за крупністю

частками. Зворотний фільтр попереджує механічну суфозію - винесення дрібних часток ґрунту фільтраційним потоком. Кількість та товщина шарів фільтру, а також вид матеріалу для дренажної конструкції підбирається в залежності від матеріалу, з якого влаштовано укіс, та типом зовнішнього кріплення.

Товщину одношарового або двошарового зворотного фільтра визначають з врахуванням висоти накочування хвилі 1%-ї забезпеченості та висоти вітрового нагону води у верхньому б'єфі. В залежності від товщини розраховують крупність частинок зворотного фільтра.

Для визначення параметрів зворотного фільтру авторами розроблено інформаційно-аналітичне забезпечення, яке містить робочий модуль «Зворотній фільтр» для проєктування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна. У роботі розглянуто декілька тестових прикладів розрахунку параметрів зворотного фільтру під укріпленням укосів земляного полотна. За прикладами, у зоні можливого підтоплення земляного полотна, запропоновано два типи кріплення: збірними залізобетонними плитами та кам'яним накидом.

На основі інформаційно-аналітичного забезпечення було проведено числовий експеримент із дослідження залежності необхідної мінімальної товщини зворотного фільтру від висоти хвилі.

Ключові слова: автомобільні дороги, земляне полотно, зворотній фільтр, підтоплювальний насип.

Вступ. Певні ділянки автомобільних доріг розташовуються у вкрай несприятливих, складних гідрологічних та інженерно-геологічних умовах на заплавах та вузьких долинах річок. Такі ділянки мають підвищений ризик активізації ерозії укосів підтоплювальних насипів під впливом накату вітрових хвиль. Трансформація хвиль обумовлює абразивний вплив, ерозію узбережжя, та транспортних споруд на ньому. У роботі [1] запропоновано теоретико-аналітичний підхід, який полягає в аналізі трансформації хвилі в районі узбережжя Пупо. Розглянуто ретроспективний метод прогнозування утворення хвиль на основі багаторічних спостережень вітрових потоків.

У роботі [2] представлено розроблення моделі для визначення рівня води вздовж річки Даманганга з Аравійського моря. На основі цього дослідження зроблено рекомендації щодо збільшення висоти берега, будівництва транспортних споруд на певній ділянці річки з урахуванням пікового паводкового стоку. Дослідження, яке представлене у роботі [3], спрямоване на аналіз берегової стійкості на основі інженерних властивостей місцевих ґрунтів.

Метою роботи є розроблення методу визначення параметрів зворотного фільтру укісних дренажних конструкцій на підтоплювальних насипах.

Основні завдання роботи:

- запропонувати метод з визначення основних параметрів зворотних фільтрів на укосах підтоплювальних насипів;
- представити загальний інтерфейс програмного модулю «Зворотній фільтр» в інформаційно-аналітичному забезпеченні з проєктування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна;
- розглянути декілька тестових прикладів розрахунку параметрів зворотного фільтру під укріпленням укосів земляного полотна.

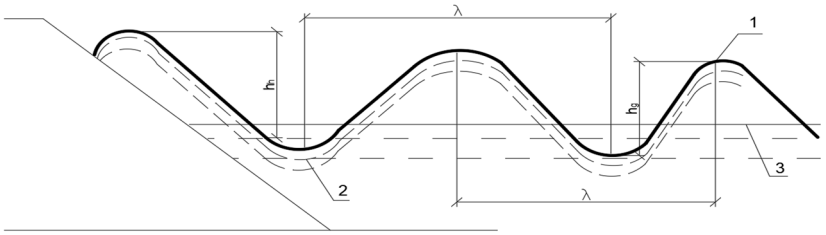
Матеріали та методи досліджень: аналітичні методи; методи математичного моделювання; основні положення гідродинаміки.

Виклад основного матеріалу. Конструктивні форми дренажних пристроїв в практиці будування підтоплювальних насипів можуть бути досить різноманітними. Дренажні пристрої на підтоплювальних насипах проєктуються для попередження виходу фільтраційного потоку на низовий укіс і зону, що може проморожуватися; для пониження депресійної поверхні фільтраційного потоку; для підвищення стійкості низового укосу.

Перевищення відмітки брівки насипу над розрахунковим статичним рівнем води у водоймищі повинно враховувати висоту накочування хвилі 1%-ї забезпеченості, висоту вітрового нагону води у верхньому б'єфі, запас висоти насипу [4]. Висота накочування хвилі залежить від шорсткості і проникності кріплення укосу, від закладання верхового укосу та від крутизни хвилі [5].

Градієнти напору фільтраційного потоку при підході до дренажів збільшуються і в місцях виходу в дренаж можуть виникати фільтраційні деформації ґрунту тіла та основи насипу. Для попередження таких деформацій приймальна частина дренажу на контакті з ґрунтом насипу захищається зворотними фільтрами. Зворотний фільтр захищає ґрунт основи від руйнування, можливого внаслідок контактного випору або контактного розмиву.

Зворотний фільтр влаштовується, як правило, з 1-3 шарів незв'язних ґрунтів різної крупності, які укладаються нормально до напрямку руху фільтраційного потоку і в порядку збільшення крупності частинок по ходу фільтрації. Кожний шар влаштовується товщиною порідка 15...20 см та більше. Склад фільтра повинен бути таким, щоб попередити: проникнення частинок ґрунту тіла насипу в шари фільтра; випір ґрунту в пори фільтра в зоні висхідного потоку; розмив ґрунту на контакті з фільтром [6].



Умовні познаки: 1 – вершина хвилі; 2 – підошва хвилі; 3 – розрахунковий рівень; λ – довжина хвилі, горизонтальна відстань між двома суміжними вершинами або вершинами хвилі, м; h_g – висота хвилі, вертикальна відстань між вершиною та підошвою хвилі, м; $\frac{h_g}{\lambda}$ – крутизна хвилі, град; L – довжина розгону хвилі, протяжність водної поверхні, охопленої вітром, що призводить до утворення та розвитку хвилі, км; h_h – висота набігу хвилі на укіс споруди, м.

Рисунок 1 – Елементи вітрової хвилі та її накату на укіс насипу
Figure 1 – Elements of the wind wave and its rolling on the slope of the embankment

Укріплення укосу можуть влаштовуватися не тільки у вигляді кам'яного накиду, а також за допомогою збірних бетонних та залізобетонних плит [5, 6]. Підготовка під укріпленням також відіграє роль зворотного фільтру, може бути виконана із одного шару різнозернистого матеріалу, двох-трьох шарів однорідного матеріалу із різними за крупністю частками, рулонного скловолокна, геотекстилю. Зворотний фільтр попереджує механічну суфозію - винесення дрібних часток ґрунту фільтраційним потоком. Кількість та товщина шарів підготовки, а також вид матеріалу для підготовки вибирається в залежності від матеріалу, яким складено укіс, та тип кріплення, згідно вимог [7]. Основні параметри зворотних фільтрів визначають згідно рекомендацій [8].

Товщину одношарового зворотного фільтра визначають за формулою:

$$t_\phi = 4{,}75 d_\phi \ln\left(\frac{\varphi_p}{12}\cdot\frac{d_\phi}{d_{гр}}\right), \quad (1)$$

де $d_{гр}$ — середній діаметр частинок ґрунту (d_{50}), мм;

d_ϕ — діаметр частинок зворотного фільтра, мм;

φ_p — розрахунковий коефіцієнт за пологості хвиль $\frac{\lambda}{h}<15$ розрахункове значення φ_p приймають:

$$\varphi_p = \varphi - 0{,}03\left(15-\frac{\lambda}{h}\right), \quad (2)$$

де φ — коефіцієнт, що визначається за графіком залежності від висоти хвилі h і коефіцієнта закладання укосу $m = ctg\alpha$ (α — кут нахилу укосу до горизонту) [8].

Коефіцієнт неоднорідності частинок всередині шару для одношарового фільтру повинен прийматися рівним 5 – 6. Мінімальна товщина одношарового різнозернистого фільтру повинна прийматися: під час будування у воді – 30 см, під час будування насухо – 20 см.

Якщо, визначена за формулою (1) товщина одношарового фільтра перевищує 35 см під час будування насухо і 70 см під час будування у воді, то у цьому випадку рекомендується влаштовувати двошаровий зворотній фільтр.

Товщину шарів двошарового фільтра і крупності частинок другого шару визначають за формулами:

$$t_{ф_1} = 4,75 d_{ф_1} \ln\left(\frac{\varphi}{12} \cdot \frac{d_{ф_1}}{d_{ф_2}}\right), \quad (3)$$

$$t_{ф_2} = 4,75 d_{ф} \ln\left(\frac{\varphi}{12} \cdot \frac{d_{ф_2}}{d_{гр}}\right), \quad (4)$$

де $t_{ф_1}$ і $t_{ф_2}$ – товщина верхнього і нижнього шарів фільтра, м;

$d_{ф_1}$ і $d_{ф_2}$ – середній діаметр частинок верхнього і нижнього шарів фільтру, мм.

Коефіцієнт неоднорідності всередині шарів η приймається рівним: для верхнього шару 2 –3; для нижнього шару 6 – 8.

Мінімальну товщину кожного шару фільтра приймають: під час будування у воді – 25 см; під час будування насухо – 10 см.

Для укріплення укосу збірними бетонними та залізобетонними плитами використовують одношарові та багатошарові зворотні фільтри (суцільні, багатошарові, стрічкові під швами осідання).

Крупність частинок одношарового зворотного фільтра або верхнього шару двошарового фільтра визначають за формулою:

$$d_{ф} = 1,5 \cdot t_{ш}, \quad (5)$$

де $d_{ф}$ — діаметр частинок зворотного фільтра, мм;

$t_{ш}$ — ширина шва між плитами, см.

Товщину шарів зворотного фільтра і крупність частинок другого шару визначають за формулами (1) – (3).

На основі методичних рекомендацій [8] та розрахункових формул (1) – (5) за участю авторів розроблено інформаційно-аналітичне забезпечення з проєктування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна, одним із робочих модулів якого є модуль «Зворотній фільтр», що дає можливість визначати параметри зворотного фільтру під укріпленням укосу земляного полотна. Загальний інтерфейс даного програмного модулю представлено на рис. 2.

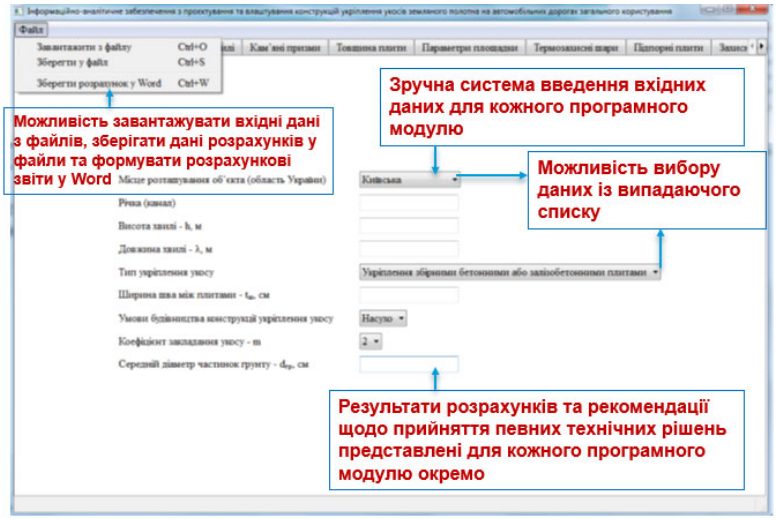


Рисунок 2 – Діалогове вікно програмного модулю ІАЗ «Зворотній фільтр»
Figure 2 – Dialog window of IAS software module "Reverse filter"

Для розрахунку параметрів зворотнього фільтру під укріпленням укосу земляного полотна проєктувальнику необхідно задати наступні вихідні дані:

1) місце розташування об'єкта (*область України*);
2) річка (канал);

3) висота хвилі h, м, (рис. 1);
4) довжина хвилі λ, м, (рис. 1);
5) тип укріплення укосу:
а) кам'яне укріплення у вигляді накиду;
б) укріплення збірними бетонними або залізобетонними плитами;
Додатково необхідно задати:
ширину шва між плитами $t_ш$, см;
6) умови будівництва конструкції укріплення укосу:
а) насухо;
б) у воді;
7) коефіцієнт закладання укосу m;
8) ґрунт насипу земляного полотна;
9) середній діаметр частинок ґрунту $d_{гр}$, мм.

На основі вихідних даних програмний модуль «Зворотній фільтр» рекомендує прийняти одно- або двошаровий зворотній фільтр і проводить розрахунок необхідної товщини його шарів (рис.3).

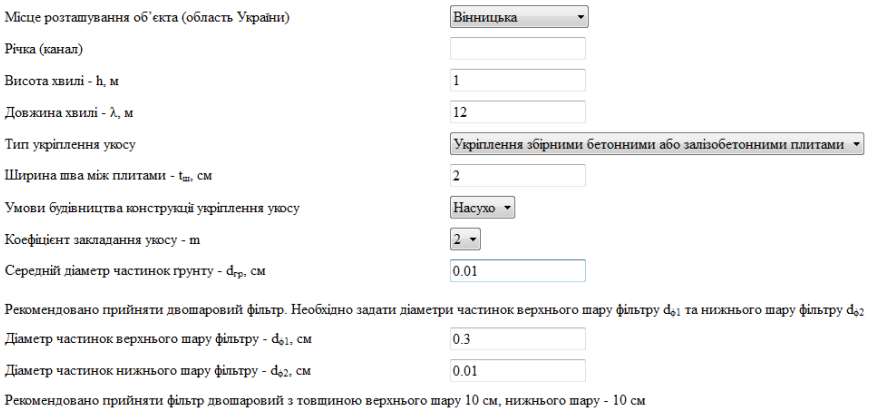


Рисунок 3 – Приклад розрахунку параметрів зворотнього фільтру на основі програмного модулю ІАЗ «Зворотній фільтр»
Figure 3 – An example of calculating the return filter parameters on the basis of the IAS "Return Filter" software module

Розглянемо декілька тестових прикладів розрахунку параметрів зворотнього фільтру під укріпленням укосів земляного полотна.

Приклад 1. У зоні можливого підтоплення земляного полотна необхідно передбачити його укріплення збірними залізобетонними плитами; умови будівництва земляного полотна — «насухо»; ґрунт насипу — дрібнозернистий пісок із середнім діаметром частинок $d_ф = 0{,}1$ мм; висота хвилі в зоні можливого підтоплення $h = 0{,}5$ м; довжина хвилі $\lambda = 5$ м; коефіцієнт закладання укосу $m = 3$; ширина шва між плитами $t_ш = 1$ см. Визначити параметри зворотного фільтра під укріпленням укосу земляного полотна.

Визначаємо діаметр частинок шару фільтра, що укладається під плити згідно з (5): $d_ф = 1{,}5 \cdot t_ш = 1{,}5 \cdot 1 = 1{,}5$ см. Згідно з [8] значення коефіцієнта $\varphi = 1{,}55$.

Враховуючи, що $\frac{\lambda}{h} = 10 < 15$, визначаємо розрахункове значення φ_p згідно з (2): $\varphi_p = 1{,}55 - 0{,}03(15 - 10) = 1{,}4$. Визначаємо необхідну товщину одношарового зворотного фільтра за формулою (1): $t_ф = 4{,}75 \cdot 1{,}5 \ln\left(\frac{1{,}4}{12} \cdot \frac{1{,}5}{0{,}01}\right) \approx 20$ см. Оскільки розрахункова товщина зворотного фільтра не перевищує 35 см, приймаємо одношаровий фільтр з товщиною фільтруючого шару 20 см із щебеню з діаметром частинок $d_ф = 1{,}5$ см.

Приклад 2 У зоні можливого підтоплення земляного полотна необхідно передбачити його укріплення збірними залізобетонними плитами; умови будівництва земляного полотна — «насухо»; ґрунт насипу – дрібнозернистий пісок із середнім діаметром частинок $d_ф = 0{,}1$ мм; висота хвилі в зоні можливого підтоплення $h = 1$ м; довжина хвилі $\lambda = 12$ м; коефіцієнт закладання укосу $m = 2$; ширина шва між плитами $t_ш = 2$ см. Визначити параметри зворотного фільтра під укріпленням укосу земляного полотна.

Визначаємо діаметр частинок шару фільтра, що укладається під плити згідно з (5): $d_ф = 1{,}5 \cdot t_ш = 1{,}5 \cdot 2 = 3$ см. Згідно з [8] значення коефіцієнта $\varphi = 2{,}25$.

Враховуючи, що $\frac{\lambda}{h} = 10 < 15$, визначаємо розрахункове значення φ_p згідно з (2): $\varphi_p = 2{,}25 - 0{,}03(15-6) \approx 2$. Визначаємо необхідну товщину одношарового зворотного фільтра за формулою (1): $t_ф = 4{,}75 \cdot 3 \ln\left(\frac{2}{12} \cdot \frac{3}{0{,}01}\right) \approx 56$ см. Оскільки розрахункова товщина шару зворотного фільтра більша ніж 35 см, проєктування одношарового зворотного фільтра є не можливим і виникає необхідність у проєктуванні двошарового фільтра. Для цього приймаємо: перший шар фільтру — щебінь із середнім діаметром частинок $d_{ф_1} = 3$ см, другий шар – гравій із середнім діаметром частинок $d_{ф_2} = 3$ мм.

Визначаємо товщину першого шару двошарового зворотного фільтра згідно з (1): $t_{ф_1} = 4{,}75 \cdot 3 \ln\left(\frac{2}{12} \cdot \frac{3}{0{,}3}\right) \approx 7$ см. Приймаємо $t_{ф_1} = 10$ см. Визначаємо товщину другого шару двошарового зворотного фільтра згідно з (1): $t_{ф_2} = 4{,}75 \cdot 0{,}3 \ln\left(\frac{2}{12} \cdot \frac{0{,}3}{0{,}01}\right) \approx 2{,}3$ см. Приймаємо $t_{ф_2} = 10$ см.

Приклад 3 У зоні можливого підтоплення земляного полотна необхідно передбачити його укріплення за допомогою кам'яного накиду; умови будівництва земляного полотна — «насухо»; ґрунт насипу — дрібнозернистий пісок із середнім діаметром частинок $d_ф = 0{,}1$ мм; висота хвилі в зоні можливого підтоплення $h = 1{,}5$ м; довжина хвилі $\lambda = 8$ м; коефіцієнт закладання укосу $m = 3$; діаметр частинок зворотного фільтра – 2см. Визначити параметри зворотного фільтра під укріпленням укосу земляного полотна.

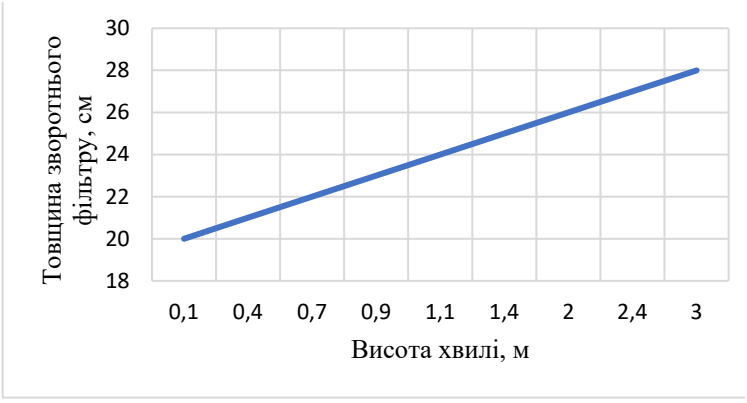


Рисунок 4 – Графік залежності товщини зворотного фільтру від висоти хвилі
Figure 4 – Graph of the dependence of the thickness of the return filter on the height of the wave

Визначаємо необхідну товщину одношарового зворотного фільтра за формулою (1):

$$t_ф = 4{,}75 \cdot 2 \ln\left(\frac{2{,}05}{12} \cdot \frac{2}{0{,}01}\right) \approx 33 \text{ см.}$$

Оскільки розрахункова товщина зворотного фільтра не перевищує 35 см, приймаємо одношаровий фільтр з товщиною фільтруючого шару 33 см із щебеню з діаметром частинок $d_ф = 2$ см.

На основі інформаційно-аналітичного забезпечення було проведено числовий експеримент, спрямований на вивчення взаємозв'язку між висотою хвиль та мінімальною товщиною зворотного фільтру (рис.4).

Висновки. Запропоновано метод визначення основних параметрів дренажних конструкцій на укосах підтоплювальних насипів. Наведено залежності для розрахування товщини та крупності частинок шарів зворотного фільтра.

Представлено загальний інтерфейс програмного модулю «Зворотній фільтр» в інформаційно-аналітичному забезпеченні з проєктування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна. Наведено перелік вихідних даних, на основі яких, за програмним модулем «Зворотній фільтр», рекомендується прийняти одно- або двошаровий зворотній фільтр і проводиться розрахунок необхідної товщини його шарів.

Розглянуто декілька тестових прикладів розрахунку параметрів зворотного фільтру під укріпленням укосів земляного полотна, яке знаходиться у зоні можливого підтоплення. На укосах земляного полотна, укріпленого збірними залізобетонними плитами, під впливом хвилі висотою $h = 0{,}5$ м та довжиною $\lambda = 5$ м, достатньо влаштувати одношаровий фільтр з товщиною фільтруючого шару 20 см із щебеню з діаметром частинок $d_{ф} = 1{,}5$ см. У випадку впливу хвилі висотою $h = 1$ м та довжиною $\lambda = 12$ м виникає необхідність у проєктуванні двошарового фільтра, товщина кожного шару по 10 см. Перший шар фільтру — щебінь із середнім діаметром частинок $d_{ф_1} = 3$ см, другий шар – гравій із середнім діаметром частинок $d_{ф_2} = 3$ мм.

Перелік посилань

1. Jeffry Dantje Mamoto, Turangan Arens Emily, Muhammad Ihsan Jasin, "The Identification of Wave Transformation At Poopoh Waters," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 6, no. 10, pp. 23-36, 2019. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V6I10P104

2. Akshay Lad, Prof. Jagruti Shah, "Flood Hazard Mapping and 1 D Hydraulic Module for Damanganga River, Valsad district, Gujarat, India," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 45-51, 2021. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V8I5P105

3. Swapnali Barman, Mrinal Kumar Dutta, "River Bank Stability Assessment Based on Engineering Properties of Soil Around the Majuli Island of Northeast India," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 10, pp. 35-42, 2021. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V8I10P106

4. Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дем'янюк А.В., Дмитрієва О.А. Гідротехнічні споруди: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 241 с.

5. Хлапук М. М., Шумінський В. Д., Вайнберг О. І. [та ін.]; за ред. А. Ф. Дмитрієва. Гідротехнічні споруди: підручник для студ. ВНЗ /– Рівне, 1999. – 326 с.

6. Кірієнко І.І., Химерик Ю.А. Гідротехнічні споруди. Проєктування та розрахунок: підр. для студ. ВНЗ. – К. : Вища школа, 1987. – 253 с. [рос. м.]

7. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.

8. МР В.2.3-37641918-929:2023 Методичні рекомендації з проєктування та влаштування конструкцій укріплення укосів земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування / О.С.Славінська, А.В.Бубела, О.С.Чечуга, В.Я.Савенко та ін. – К.:, 2023. – 88с.

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SLOPING DRAINAGE STRUCTURES ON FLOOD EMBANKMENTS

Slavinska Olena S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the department of Transport construction and property management, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +380509698109, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha – Pavlenko str., 1, http://orcid.org/0000-0002-9709-0078

Bubela Andriy V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, +380505535594, https://orcid.org/0000-0002-5619-003X

Bondarenko Liudmyla P., Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Transport Construction and Property Management, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: luda_bond@ukr.net, tel.+380442803942, https://orcid.org/0000-0002-8239-065X.

Chechuha Oleksand S., Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, email: chechuga77@gmail.com, tel. +380662019442, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, id ORCID 0000-0003-1643-6354

Summary .

The paper examines sections of highways that are arranged in extremely unfavorable, complex hydrological and engineering-geological conditions and, accordingly, have an increased risk of intensification of erosion of slopes of flood embankments under the influence of rolling wind waves.

The authors present a method for determining the main parameters of drainage structures, in particular return filters, which are arranged on the slopes of flood embankments. The role of a reverse filter is also played by preparation for fasteners, which can be arranged from one layer of different-grained material or two or three layers of homogeneous material with particles of different sizes. The reverse filter prevents mechanical suffusion - the removal of small soil particles by the filtration flow. The number and thickness of the filter layers, as well as the type of material for the drainage structure, are selected depending on the material with which the slope is made and the type of external fastening.

The thickness of a single-layer or double-layer return filter is determined taking into account the rolling height of the wave of 1% security and the height of the wind surge of water upstream. Depending on the thickness, the particle size of the reverse filter is calculated.

To determine the parameters of the reverse filter, the authors have developed information and analytical support, which contains the working module "Reverse Filter" for the design and installation of structures for strengthening the slopes of the subgrade. The paper discusses several test examples of calculating the parameters of the reverse filter under the reinforcement of subgrade slopes. According to examples, in the zone of possible flooding of the subgrade, two types of fastening are proposed: prefabricated reinforced concrete slabs and stone crochet.

Based on information and analytical support, a numerical experiment was carried out to study the dependence of the required minimum thickness of the reverse filter on the wave height.

Keywords: highways, roadbed, return filter, flooded embankment.

References

1. Jeffry Dantje Mamoto, Turangan Arens Emily, Muhammad Ihsan Jasin, "The Identification of Wave Transformation At Poopoh Waters," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 6, no. 10, pp. 23-36, 2019. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V6I10P104

2. Akshay Lad, Prof. Jagruti Shah, "Flood Hazard Mapping and 1 D Hydraulic Module for Damanganga River, Valsad district, Gujarat, India," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 45-51, 2021. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V8I5P105

3. Swapnali Barman, Mrinal Kumar Dutta, "River Bank Stability Assessment Based on Engineering Properties of Soil Around the Majuli Island of Northeast India," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 8, no. 10, pp. 35-42, 2021. *Crossref,* https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V8I10P106

4. Khlapuk M.M., Shynkaruk L.A., Dem'yanyuk A.V., Dmytriyeva O.A. Hidrotekhnichni sporudy: Navchal′nyy posibnyk. – Rivne: NUVHP, 2013. – 241 s.

5. Khlapuk M. M., Shumins′kyy V. D., Vaynberh O. I. [ta in.]; za red. A. F. Dmytriyeva. Hidrotekhnichni sporudy: pidruchnyk dlya stud. VNZ /– Rivne, 1999. – 326 s.

6. Kiriyenko I.I., Khymeryk YU.A. Hidrotekhnichni sporudy. Proyektuvannya ta rozrakhunok: pidr. dlya stud. VNZ. – K. : Vyshcha shkola, 1987. – 253 s. [ros. m.]

7. DSTU B V.2.7-75-98 Budivel′ni materialy. Shchebin′ ta hraviy shchil′ni pryrodni dlya budivel′nykh materialiv, vyrobiv, konstruktsiy ta robit. Tekhnichni umovy.

8. MR V.2.3-37641918-929:2023 Metodychni rekomendatsiyi z proyektuvannya ta vlashtuvannya konstruktsiy ukriplennya ukosiv zemlyanoho polotna na avtomobil′nykh dorohakh zahal′noho korystuvannya / O.S.Slavins′ka, A.V.Bubela, O.S.Chechuha, V.YA.Savenko ta in. – K.:, 2023. – 88s.