

навколо неї. Отримано, що відносний об'єм ексфільтрації  $W_{exf}/W_{zp}$  плавно зростає зі збільшенням площі басейну стоку (рис. 6). Разом з тим, максимальне значення об'єму ексфільтрації не перевищує 35 % від інтегральної водопоглинальної здатності ЕТ  $W_{zp}$ , що свідчить на користь наявності вільної фільтрації крізь бічні стінки траншеї. Об'єм ексфільтрації крізь бічні стінки ЕТ становить від 30 % до 140 % від об'єму ексфільтрації крізь дно траншеї, що підтверджує важливість врахування цієї компоненти фільтраційного потоку (рис. 6).

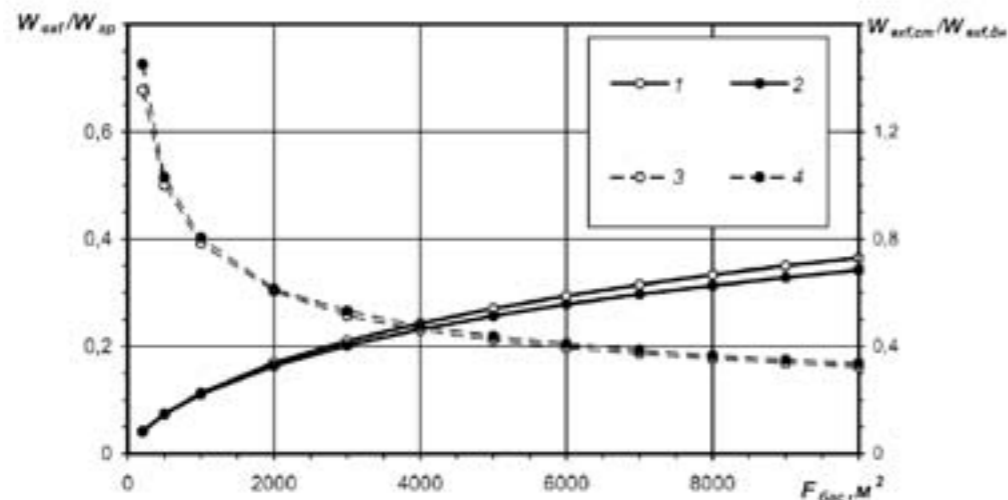


Рисунок 6 – Залежності відносного використання інтегральної водопоглинальної здатності ґрунту (криві 1, 2) та відносного об'єму ексфільтрації крізь стінки та дно ЕТ (криві 3, 4) від площі басейну стоку: 1, 3 – для  $K_{ov}=0,12$ ; 2, 4 – для  $K_{ov}=0,22$  (інші параметри – див. рис. 4)

Більша площа  $F_{bas}$  відповідає більшому часу повного спорожнення ЕТ  $t_{cn}$ , тоді як безрозмірний час спорожнення  $X_{cn}=t_{cn}/t_r$  навпаки дещо зменшується (рис. 7).

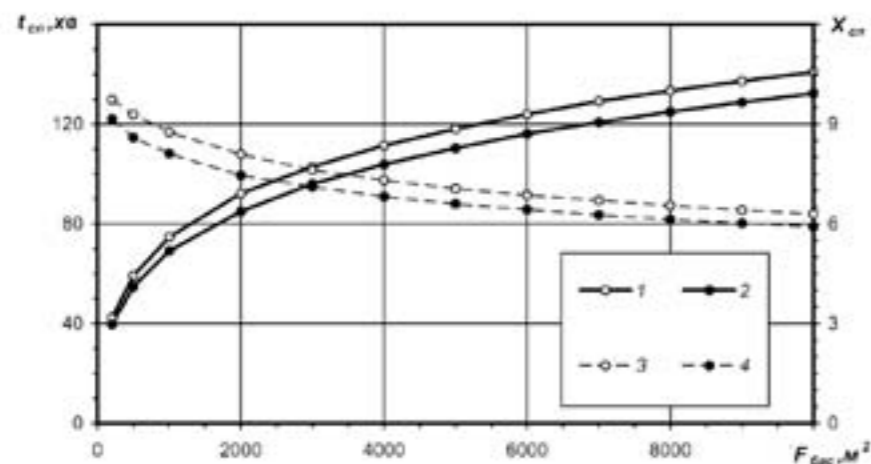


Рисунок 7 – Залежності часу спорожнення ЕТ (криві 1, 2) та відносного часу спорожнення ЕТ (криві 3, 4) від площі басейну стоку: 1, 3 – для  $K_{ov}=0,12$ ; 2, 4 – для  $K_{ov}=0,22$  (інші параметри – див. рис. 4)

### ВИСНОВКИ

Виконано аналітичне дослідження параметрів ексфільтраційних траншей, призначених для регулювання умовно-чистої частини дощового стоку, за запропонованим у роботі [3] методом залежно від значення площі басейну стоку. Отримано графічні та аналітичні залежності для визначення відносної площі та коефіцієнта регулювального об'єму ЕТ від значення площі басейну стоку. Збільшення площі басейну стоку зумовлює: зростання відносної площі ЕТ, незначне зменшення коефіцієнта регулювального об'єму, збільшення критичної тривалості дощу та часу повного спорожнення траншеї. Зі збільшенням коефіцієнта очисної витрати всі вказані вище параметри зменшуються. У дослідженому діапазоні значень вхідних параметрів відносна площа ЕТ для її нормальної роботи з  $P=1$  рік повинна становити 0,54–0,96 % від площі басейну стоку, а коефіцієнт регулювального об'єму – 0,4–0,56 від добутку  $Q_r t_r$ . Відносний об'єм ексфільтрації становить від 5% до 35 % від інтегральної водопоглинальної здатності ЕТ  $W_{zp}$ , що підтверджує гіпотезу щодо наявності вільної фільтрації крізь бічні стінки траншеї. Відношення об'ємів ексфільтрації крізь бічні стінки та крізь дно ЕТ знаходиться в межах 0,3–1,4, що свідчить про необхідність врахування фільтрації крізь стінки ЕТ. Час повного спорожнення ЕТ для дослідженого діапазону дорівнює від 40 до 140 хвилин, що підтверджує ефективність роботи ЕТ у вказаних умовах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Georgia stormwater management manual. Volume 2: Technical handbook. – Atlanta: AMEC Earth and Environmental, Center for Watershed Protection, 2001. — 844 p.
2. Mays L. W. Stormwater collection systems design handbook [Текст] / L. W. Mays. — New York: McGraw-Hill Professional, 2001. — 1008 p.
3. Жук В.М. Метод гідравлічного розрахунку ексфільтраційних траншей / В.М. Жук, В.В. Бошота // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 19. – К.: КНУБА, 2012.
4. Жук В.М. Теоретичні гідрографи притоку для дощів постійної в часі інтенсивності при змінній швидкості течії / В.М. Жук // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 15. – К.: КНУБА, 2010. — С. 119–130.
5. Жук В.М. Гідрографи притоку дощових стічних вод з прямокутних в плані урбанізованих басейнів стоку для дощів постійної в часі інтенсивності / В.М. Жук, І.І. Матлай // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 19. – К.: КНУБА, 2012.
6. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. – М.: ВНИИ "ВОДГЕО" Госстроя СССР, 1982.
7. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 72 с.

УДК 625.725

Гамеляк І.П. д-р. техн. наук, Гордієнко А.С.

### ПРОТИЕРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Анотація.** Проаналізовано основні фактори, які впливають та ерозію ґрунтів в Україні та способи протиерозійного захисту. Розглянуто метод розрахунку протиерозійного захисту укосів з використанням геосинтетичних матеріалів для захисту ґрунту від поверхневого розмивання водою і видування вітром. Наведено алгоритм та приклади розрахунку при використанні поліамідних геоматів Enkamat® для протиерозійного захисту укосів та схилів.

**Ключові слова:** ерозія ґрунтів, геосинтетичні матеріали, захист укосів.

**Аннотация.** Проанализированы основные факторы, влияющие на эрозию почв в Украине и способы противозерозийной защиты. Рассмотрен метод расчета противозерозийной защиты откосов с использованием геосинтетических материалов для защиты почвы от поверхностного размывания водой и выдувания ветром. Приведен алгоритм и примеры расчета при использовании полиамидных геоматов Enkamat® для противозерозийной защиты откосов и склонов.

**Ключевые слова:** эрозия почв, геосинтетические материалы, защита откосов.

**Annotation.** The main factors that affect and soil erosion in Ukraine and ways of erosion protection. The method of calculating the erosion protection of slopes using geosynthetic materials to protect the soil surface from erosion by water and wind blowing. The algorithm and examples of calculation using polyamide geomates Enkamat® for erosion protection of slopes and slopes.

**Keywords:** soil erosion, geosynthetic materials, protection of slopes.

**Постановка завдання.** Деградація або ерозія ґрунтів впливає як на сільськогосподарські так і природні типи рослинності і може розглядатися як одна з найбільш важливих екологічних проблем, сьогодення. Проблеми ерозії ґрунтів в Україні є в поєднанні кількох факторів впливу: це наявність на значній території пилуватих мілко дисперсних ґрунтів і зміна кліматичних умов в останні роки, пов'язана з тривалим періодом високих літніх температур, коли рослинність фактично вигорає і інтенсивними опадами (водна ерозія), які супроводжується поривами вітру більше 60 км/год або шквальні вітри при сухій погоді (вітрова ерозія). Проблема полягає в розумінні головних факторів, які безпосередньо викликають ерозію, а також визнати, що такі процеси є не тільки фізичними, а й соціально-економічними. Ґрунти піддаються ерозії не тільки за рахунок опадів, а також тому, що дерева на місцевості були вирубані і площа культивується неправильно.

Рослинність є надійним механізмом захисту, які природа створила для захисту ґрунту від ерозії. Іноді, однак, ерозивні сили занадто великі чи рослинність повинна розвиватися у важких умовах і природі необхідно допомогти – в цьому полягає боротьба з ерозією. Найбільш очевидний спосіб, при якому рослинність стабілізує ґрунт є армування кореневою системою рослин. Бічні корені рослин, що переплітаються при рості, як правило, пов'язують ґрунт разом у монолітну масу. Вертикальна коренева система може проникати через ґрунтовий покрив в міцні шари, що розташовані нижче і тим самим закріпити ґрунт на схилі, підвищуючи його стійкість до

проковзування. У цьому випадку інертні матеріали можуть бути переведені у водонасичений стан. Через тривалий дощовий період, поверхнева нестабільність схилу може відбутися в любых кліматичних умовах України.

**Аналіз останніх досліджень.** Закордоном більше 30 років основними методами боротьби з ерозією є геотехнічні інженерні методи з використанням геосинтетичних матеріалів з метою забезпечення відповідного коефіцієнту запасу (фактору безпеки) проти поверхневої нестабільності, застосовуючи підхід проф. Кернера і Суна (2005) [1-8], які використовували умову граничної рівноваги і відповідну кінцеву модель схилу для аналізу поверхневої стабільності. В цьому випадку, геосинтетичні матеріали (геомати, геосоти, геотекстилі в композиції із сітками тощо) використовуються для захисту поверхні укосів від поверхневої ерозії, викликані опадками або захисту від видування вітром для сприяння зростанню рослинності. В Україні методи захисту від ерозії схилів автомобільних доріг почали застосовуватися біля 10 років тому і методи розрахунку схилів проходять стадію становлення.

**Метою роботи** є обґрунтування методів протиерозійного захисту укосів з використанням геосинтетичних матеріалів для захисту ґрунту від поверхневого розмивання водою і видування вітром впродовж тривалого часу чи доки на поверхні з'явиться рослинність.

**Виклад основного матеріалу.** Ерозійні процеси викликані опадками мають глобальне значення, особливо в регіонах, де опади інтенсивні та значні або після весняного розмерзання, коли рослинність ще не проросла. Особливо важливий протиерозійний захист на знову побудованих укосах при швидких темпах будівництва, коли ще не відбулися процеси осадки, консолідації і формування рослинного покриву.

Дощовий період зосереджений протягом осіннього сезону, може залишити ґрунт довго без рослинного покриву і, як наслідок кількість опадів, що випадає має вплив безпосередньо на поверхню ґрунту, таким чином дестабілізує його. Механізм поверхневої ерозії, викликані дощами починається під дією ефекту сплеску або бризок (Гуерра 1997) [8] викликаного краплями дощової води, яка зв'язується з частками ґрунту, і, як правило, приводить до розриву суцільності масиву. Після сегрегації часток та водонасичення ґрунту і, як наслідок утворення калюж, поверхневий потік остаточно формується, і вода порівняно швидко знаходить траєкторії руху для перенесення часток ґрунту за допомогою гідравлічної сили її течії. Це може відбуватися швидше на крутих схилах (більше 34°) або на порівняно пологих схилах (біля 20°) складених із дрібнозернистих незв'язних ґрунтів типу піщаних, пилуватих, родючих тощо, коли розпадаються частинки, присутні в ґрунті, а потім викликається ерозія. Якщо процес безперервний, ерозія відбувається на великих за розмірами площах, що вимагає більш ефективного рішення. На рис. 1 показані траєкторії руху води, після того коли випала значна кількість опадів, і зростає критичний вплив течії на поверхню.

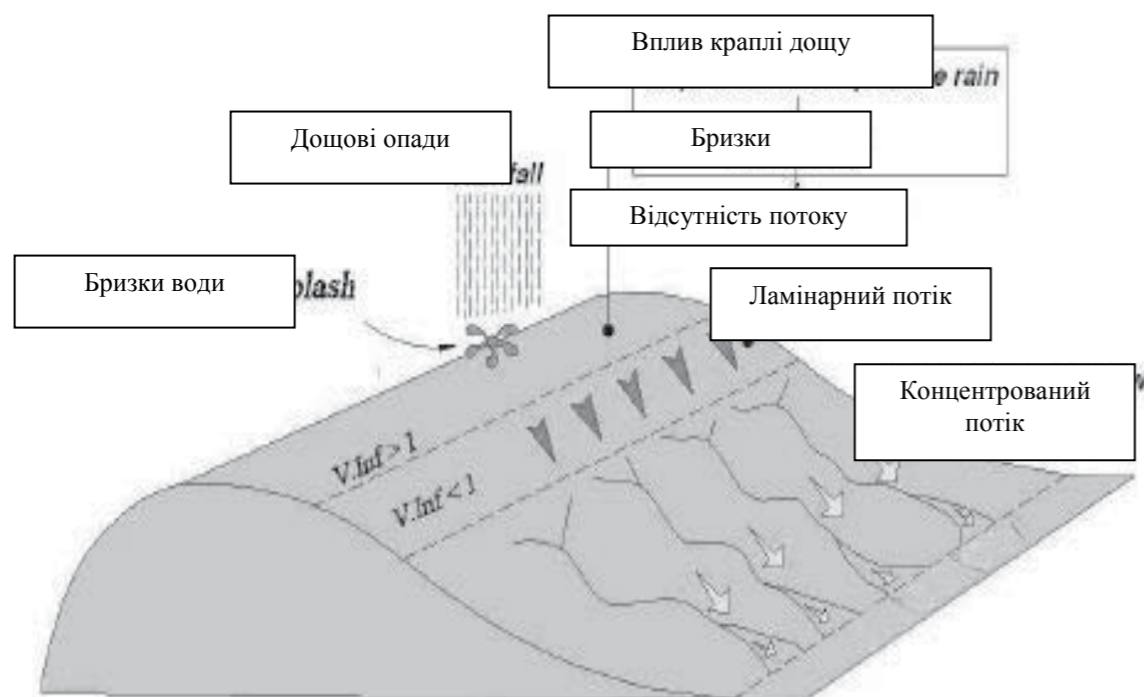


Рисунок 1 - Механізм поверхневої ерозії, викликані дією опадів.

Нижче наведені приклади руйнувань неукріплених укосів на дорогах України в перший рік експлуатації або після зимового періоду (рис. 2).

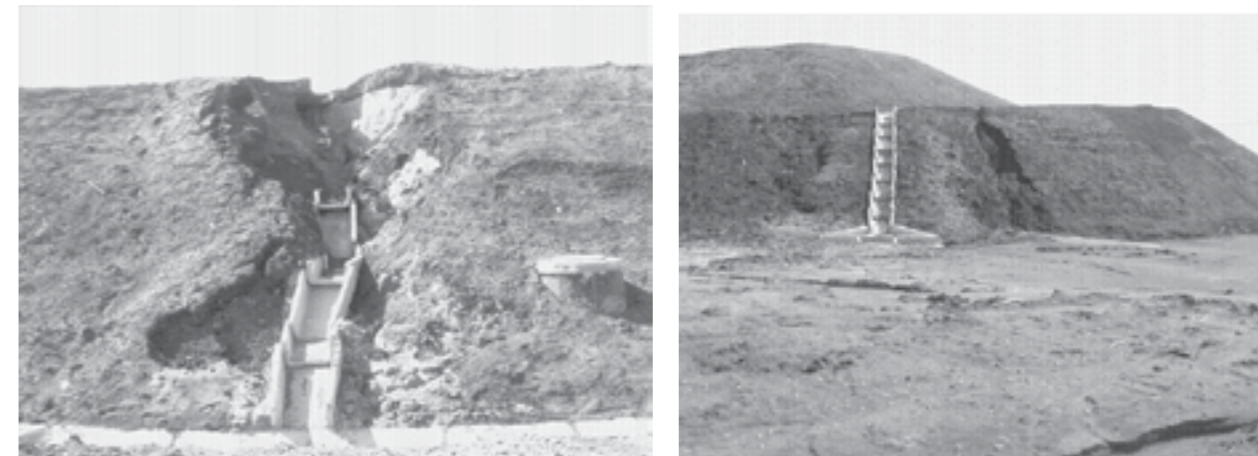


Рисунок 2 - Приклади розвитку розмиву в зоні лотків та за межами лотка при неукріпленні укосів

### 1. Особливості роботи протиерозійних геосинтетичних матеріалів

Динамічна дія крапель дощу, які падають на поверхню ґрунту, може перевищувати міцність ґрунту на зсув. Як тільки ґрунтові частинки відділені від масиву, вони захоплюються поверхневими водними потоками і зносяться в понижені місця рельєфу де й відкладаються. Аналогічним є механізм вітрової ерозії. Транспортуюча сила водних і вітрових потоків, залежно від розміру частинок ґрунту і кам'яного матеріалу, наведена на рис. 3, звідки слідує, що пилуваті та піщані часточки ґрунту розміром 0,1 – 0,2 мм можуть виноситися не водним потоком але і вітровими поривами при їх швидкості 15 – 20 м/с [3].

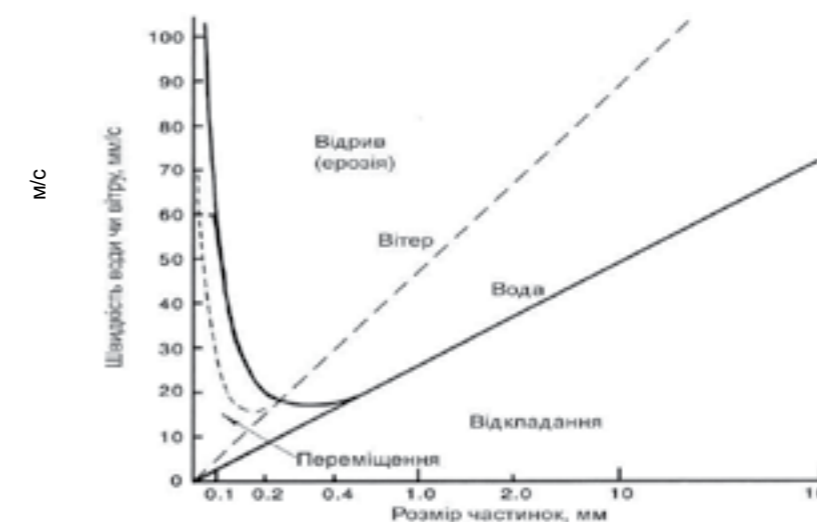


Рисунок 3 - Транспортуюча сила води і вітру

Запобігання ерозії з використанням геосинтетиків можливе:

- при не підтоплених укосах – завдяки укріпленню кореневої системи, при якому геосинтетичне полотно утримує рослинний ґрунт та насіння трав на крутому укосі й сприяє проростанню коріння рослин;
- при підтоплених укосах – завдяки привантаженню крупноуламковим матеріалом при якому геосинтетик розділяє зернисті шари та фільтрує ґрунт, що особливо важливо при ерозії хвилями, що набігають.

Тому, залежно від параметрів схилу та способу його захисту, висувуються різні критерії щодо вибору геосинтетиків.

Для схилів, які повинні задовольняти естетичним вимогам, доцільним є укріплення з допомогою рослинного шару. В такому випадку основними характеристиками геосинтетичного матеріалу є його просторова структура й пустотність, міцність волокон та міцність їх з'єднання, гнучкість полотна, хімічна, біологічна й ультрафіолетова стійкість матеріалу.

Протиерозійний захист берегів водойм вимагає геосинтетичного матеріалу іншого типу: з функцією фільтра, який утримує ґрунтові частинки від вимивання, пропускаючи воду і не створюючи небажаного надлишкового порового тиску води. Такий геосинтетичний фільтр заміняє традиційний зернистий фільтр під габіонами, крупноуламковою засипкою чи бетонними плитами.

Найбільш ефективними для протиерозійного захисту не підтоплених укосів є геосинтетичні мати, які мають велику пустотність, та їх різновиди, підсилені геогратками, геотекстилем чи армуючими волокнами, які інтегровані в геомат в поздовжньому напрямку. Для підтоплених укосів, які піддаються динамічній дії хвиль, ефективними є геомати, заповнені кам'яним фракційним матеріалом, та неткані термічно скріплені геотекстилі, як прошарок між тілом укосу та крупноуламковою накидкою чи бетонними блоками. Протиерозійні геосинтетичні мати

підсилюють кореневу систему рослин і забезпечують стійкість рослин до швидкого потоку води (наприклад, 6 м/с).

Тримірні протиерозійні геосинтетичні мати утримують ґрунти, вологу й насіння трав на нахилених поверхнях і тим самим сприяють проростанню рослин. Принциповою областю їх застосування є водовідвідні канали, круто нахилені водовипуски і захист укосів насипів/виїмок від ерозії інтенсивними атмосферними опадами. Мати є ефективними для захисту в умовах нетривалих злив. Однак їх не використовують для захисту в умовах довготривалого потоку, де більш ефективними є жорстко армуючі протиерозійні системи.

Необхідність застосування протиерозійного захисту залежить від швидкості потоку і гранулометричного складу ґрунту основи (рис. 4) [4].

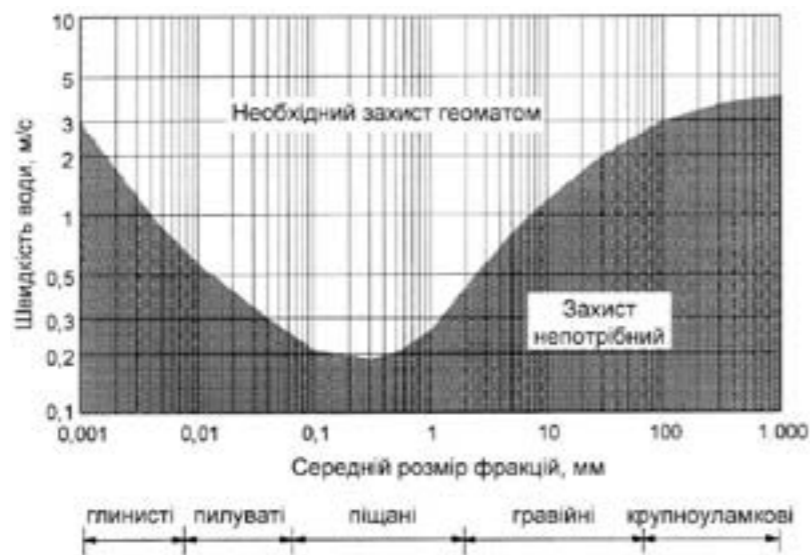


Рисунок 4 - Необхідність застосування протиерозійного захисту за допомогою геосинтетичних матів

Необхідність захисту укосу геосинтетичними матеріалами при реконструкції автомобільних доріг обумовлена умовами будівництва, а саме наявністю можливого підтоплення та розмиву зі сторони річки, значними поздовжніми уклонами та необхідністю влаштування віражу, швидкими темпами будівництва насипу із незв'язного піску, наявністю високих насипів (до 12 м), поганим приживленням рослинності поверх піщаного шару, тому часто виникає необхідність товстого шару засипки (15...30 см) над геосинтетиком для забезпечення проростання рослинності, можливості розмиву укосу в період несформованого дернового покриву та у весняний період розмерзання укосу.

### 2. Переваги застосування протиерозійного захисту об'єктів

Завдяки контролю ерозії забезпечуються:

- загальна стійкість укосів насипів і виїмок внаслідок зменшення кількості інфільтрованої води в тіло укосу;
- захист поверхні укосу від розмивання поверхневими водами;
- продовження строку служби водовідвідних лотків і каналів;
- естетичність ґрунтових конструкцій завдяки можливості закріплення і розвитку рослинності навіть на досить крутих укосах.

Інтенсивність ерозії залежить від гранулометричного складу ґрунту, крутизни укосу, швидкості та кількості води, яка стікає по укосі. У випадку берега водойми показниками також є інтенсивність набігання хвиль на берег та швидкість течії.

**3. Розрахунок стійкості протиерозійного захисту.** Розрахунок стійкості протиерозійного захисту виконано згідно теоретичних положень запропонованих на 8 – мій Міжнародній конференції по використанню геосинтетики (Кернером і Сунгом, 2005) [8] (рис. 5).

#### 3.1. Вихідними даними для розрахунку є:

Характеристики укосу. закладення 1: m або  $\beta$  - кут нахилу, °;

H – висота насипу, м;

Характеристики ґрунту насипу:

$\gamma_g$  – щільність ґрунту привантаження, кН/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту засипки, °;

$c_a$  – зчеплення ґрунту насипу, кН/м<sup>2</sup>.

Характеристики ґрунту для привантаження:

$\gamma_2$  – щільність ґрунту привантаження, кН/м<sup>3</sup>;

$\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя ґрунту засипки, °.

Характеристики взаємодії ґрунту та геосинтетики:

$\delta$  – кут внутрішнього тертя між ґрунтом і геомембраною, °;

$c_s$  – зчеплення між ґрунтом засипки і геоматом кН/м<sup>2</sup>.

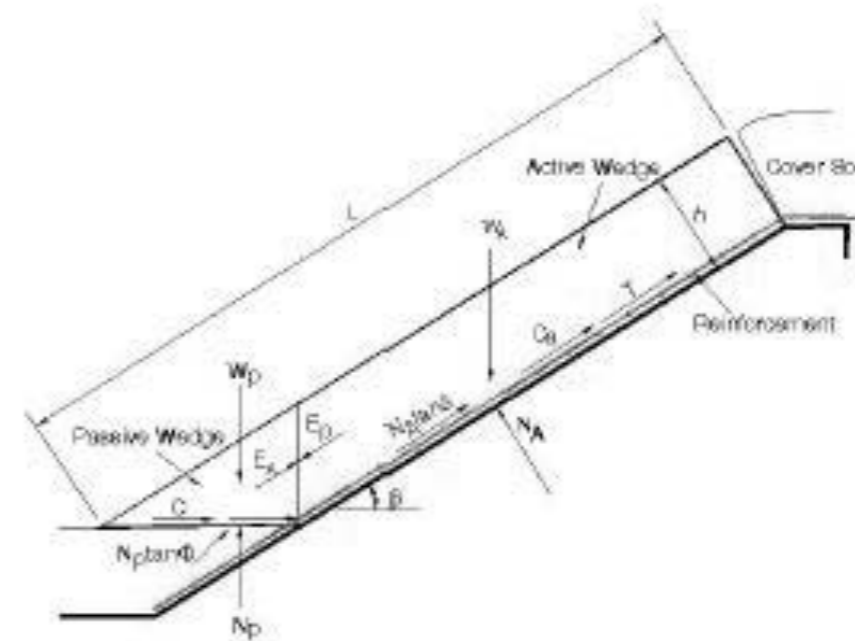


Рисунок 5 - Розрахункова схема для оцінки стійкості протиерозійного захисту (Кернер і Сунг, 2005)

### 3.2. Алгоритм розрахунку.

Активний тиск ґрунту визначається за формулою

$$W_a = \gamma_g \cdot h^2 \left( \frac{L_y}{h} - \frac{1}{\sin(\beta)} - \frac{\text{tg}(\beta)}{2} \right),$$

$$N_a = W_a \cdot \cos(\beta),$$

$$C_a = c_a \cdot \left( L_y - \frac{h}{\sin(\beta)} \right).$$

Для встановлення пасивного тиску ґрунту використовують формули

$$W_p = \left( \frac{\gamma_g \cdot h^2}{\sin(2 \cdot \beta)} \right),$$

$$C_p = \left( \frac{c_g \cdot h}{\sin(\beta)} \right).$$

Розглядаючи рівновагу укосу (рис. 6) отримується

$$a = (W_a - N_a \cos(\beta)) \cdot \cos(\beta),$$

$$b = (W_a - N_a \sin(\beta)) \cdot \sin(\beta),$$

$$c = (C_a - N_a \text{tg}(\delta)) \cdot \sin^2(\beta) \cdot \text{tg}(\varphi)$$

Коефіцієнт запасу отримується в результаті розв'язку квадратного рівняння

$$FS = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a},$$

Отриманий коефіцієнт запасу має бути більшим від нормативного коефіцієнту запасу протиерозійного захисту  $[K_H]=1,2 \dots 1,5$  в залежності від важливості об'єкту.

### 3.3. Приклад розрахунку.

Наприклад, при заданих вихідних даних:  $H=6$  м;  $m=1,75$ ;  $\beta=29,75$  °;  $L_y=10,5$  м;  $\gamma_g = 15,2$  кН/м<sup>3</sup>;  $c_a = 2$  кПа;  $\gamma_2 = 15,0$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi_2 = 12$  °;  $c_2 = 10$  кПа;  $\delta = 23$  °;  $c_s = 0,2$  кПа; та  $h=0,15$  м отримується  $W_a=23,15$  кН/м;  $N_a=20,10$

кН/м;  $C_a=2,04$  кН/м;  $W_p=0,397$  кН/м;  $C_p=0,605$  кН/м;  $a = 4,948$ ,  $b = -6,744$  кН/м;  $c = 1,626$  кН/м і коефіцієнт запасу рівний  $FS=1,05$  тому умова рівноваги не виконується.

При заданих значеннях характеристик ґрунту протиерозійний захист не забезпечено (рис. 6а) і необхідно армування укосу геоматом.

Таким чином, можна зробити висновок, що при товщині засипки 7 см, умова граничного стану виконується до висоти насипу 8 м. При більшій товщині засипки необхідне додаткове армування геогратками, геосотами, термоскріпленими геотекстилями та додаткове врахування підсилюючого ефекту геомату. При товщині засипки більше 15 см коефіцієнт запасу менше 1,2 отримується вже при висоті насипу більше 2,5 м, тому необхідне застосування геомату.

Розрахункова характеристика геосинтетичного матеріалу в загальному визначається за формулою

$$T_d = T_f / \sum_i^n A_i \text{ або } T_d = \frac{T_f}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot K_3}, [\text{кН/м}], \quad (5)$$

де  $T_d$  - проектна (розрахункова) міцність при розриві;

$T_f$  - характерне значення міцності при розриві при випробуваннях згідно ISO EN 10319 (короткострокове значення);

$F_{tc} (A_1)$  - частковий коефіцієнт довготривалої повзучості, залежить від матеріалу геосинтетика: для поліестеру – 2,5; для поліпропілену – 5,0; для поліаміду – 2,86; для поліетилену – 5,0.  $F_{comp} (A_2)$  - частковий коефіцієнт пошкодження при влаштуванні шару;

$F_{con} (A_3)$  - частковий коефіцієнт зв'язків;

$F_{env} (A_4)$  - частковий коефіцієнт впливу зовнішнього середовища (хімічні, біологічні та ін. фактори);

$K_3$  - коефіцієнт безпеки (залежить від відповідальності споруди чи конструкції і умов навантаження). Для відповідальних конструкцій приймається не менше 1,5, для менш відповідальних - 1,2.

В табл. 1 наведено-технічні характеристики двох марок об'ємних геоматів із поліамідних ниток для захисту укосів.

Таблиця 1 - Технічні характеристики об'ємний геомат із поліамідних ниток Enkamat®

Характеристики	Од.вимі р.	Enkamat 7010	Enkamat 7018
Товщина, 0,5 кПа	мм	10	18
Товщина, 2 кПа	мм	10	17
Поверхнева щільність матеріалу	г/кв.м	260	290
Міцність матеріалу	кН/м	1,6	1,8
Межа міцності з'єднань	кН/м	0,8	0,7
Колір		чорний	
Діапазон робочих температур	°С	от - 30 до + 80°С	
Температура плавлення	°С	+ 214	+ 214
Токсичність		не токсичний	
Довжина	м	150	120
Ширина	м	1,0	1,0
Площа	кв.м	150	120
Вага бруто рулону	кг	40	35
Діаметр рулону	м	1,2	1,1

При використанні геомату марки **Enkamat 7018**, що має міцність 1,8 кН/м, за формулою 3 отримано розрахункове значення міцності при розриві

- в поперечному напрямку:

$$T_d = \frac{1,8}{1,0 \cdot 1,05 \cdot 1,00 \cdot 1,05} = 1,633 \text{ кН/м.}$$

Результати розрахунку укосів з врахуванням ефекту підсилення геоматом наведено на рис. 6б.

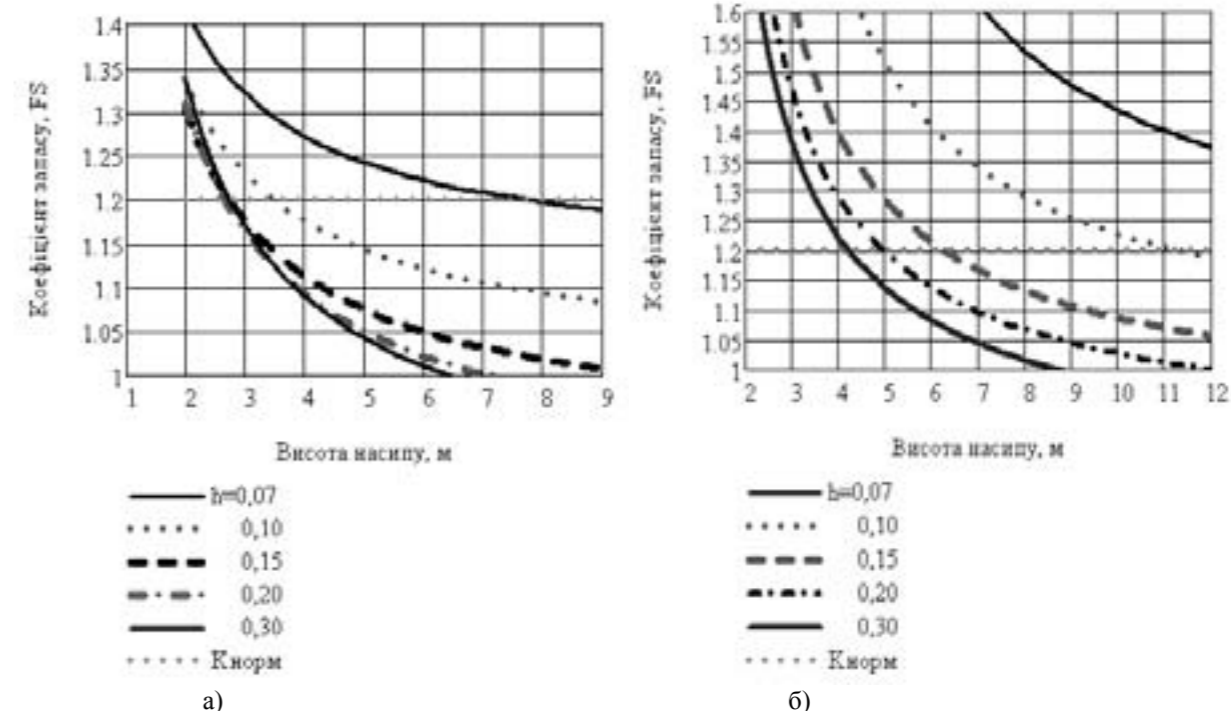


Рисунок 6 - Вплив товщини засипки над геоматом на коефіцієнт запасу при різній товщині насипу а) без геосинтетика; б) при врахуванні армуючої здатності геомату

Засипка шаром родючого ґрунту при заданих умовах будівельної ділянки, характеристиках ґрунту насипу і ґрунту засипки та врахуванні підсилюючої дії геомату допускається до 4,2 м товщиною не більше 30 см, до 6,3 товщиною не більше 15 см і до 11,1 м товщиною не більше 10 см. При товщині засипки до 7 см стійкість протиерозійного насипу при заданих вихідних даних забезпечена з достатнім запасом.

При перезволоженні ґрунту за рахунок інтенсивних опадів характеристики змінюються.

Розрахунки показують, що при водонасиченні ґрунту при врахуванні підсилюючої дії геомату допускається висота насипу до 2,2 м при товщині засипки не більше 30 см, до 2,8 при товщині не більше 15 см і до 4,9 м при товщині не більше 10 см. При товщині засипки до 7 см стійкість протиерозійного насипу при заданих вихідних даних стійкість забезпечена до висоти насипу до 8,4 м.

## ВИСНОВКИ

Виконання робіт по захисту укосів, необхідно проводити не пізніше як за 3 місяці до закінчення вегетаційного періоду, для того щоб забезпечити проростання трав'яного покриття. Крім того, необхідно враховувати, що висока пористість не ущільненого ґрунту засипки над геоматом може призвести до надмірного перезволоження поверхні укосів в осінній період під час випадання дощів або інтенсивних злив, та локальної втрати стійкості насипу в подальшому.

В ході виконання робіт необхідне строге дотримання технологічного регламенту на вкладання протиерозійного мату. Порушення норм технологічного регламенту в подальшому може призвести до руйнування укосів, яке відбувається в результаті сповзання родючого шару ґрунту, що призводить до розривання протиерозійних геоматів та послідуючого утворення вимоїн у місцях розриву геоматів.

Основну увагу необхідно приділяти таким особливостям технології виконання робіт під час будівництва:

- під час вкладання геомату **обов'язково влаштовуються** анкерні канали із засипкою щільним матеріалом для фіксації геомату по верху та низу укосів;

- геомат необхідно заводити на 30 – 40 см до верху та низу укосів. (Згідно з технологічного регламенту геомат необхідно заводити до самого верху та низу укосів і фіксувати в анкерних каналах нагельми);

- елементи кріплення «нагелі» виготовляються безпосередньо на об'єкті, згідно рекомендацій поставщика і повинні відповідати рекомендованим, а їхня кількість має бути достатньою для оптимального закріплення геомату на укосі.

- не дозволяється відсипка поверх протиерозійного геомату не ущільненого шару родючого ґрунту товщиною 15 – 30 см, замість рекомендованих 5 – 15 см, при такій товщині (15-30 см) необхідно додатково ущільнювати ґрунт. Згідно регламентів на укладку матеріалу (без врахування міцності геомату) максимальна товщина шару засипки становить 7 см.

- засипка шаром родючого ґрунту при заданих умовах будівельної ділянки та характеристиках ґрунту насипу і ґрунту засипки допускається до 4,2 м товщиною не більше 30 см, до 6,3 товщиною не більше 15 см і від 6,3 до 11,1 м товщиною не більше 10 см. Для забезпечення прийнятих характеристик ґрунту засипки рекомендується легке прикочування його при оптимальній вологості (з розбризкуванням води за допомогою форсунок), зразу ж після укладки.

Результати досліджень пройшли перевірку на практиці. Розроблено ряд рекомендацій по влаштуванню протиерозійного захисту при реконструкції автомобільних доріг державного значення (Київ – Одеса, Київ –

Харків – Довжанський в Полтавській обл., Київ - Чоп в Ровенській обл., тощо) та технологічний регламент на вкладання поліамідних геоматів Enkamat® для протиерозійного захисту укосів та схилів [9-10].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ВБН В.2.3.-218-544-2008 "Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві. К.: Укравтодор, 2008. – 122 с.
2. Reinforced soil slopes and embankments / Strata Systems Inc., Georgia, USA, 2002, 36 p.
3. DuPont Tyrap® SF Geotextile: Technical Handbook / DuPont 05/2002, 64 p.
4. Geotextile filter design, application, and product selection guide / Mirafi, USA, 2005, 12 p.
5. Christopher B., Zhao A., Design manual for roadway geocomposite underdrain systems / Contech Construction Product Inc., 2001, 37 p.
6. Cedergren, H.R., Seepage, Drainage and Flow Nets, J. Wiley and Sons, New York, 1989.
7. Erosion and sediment control / Alaska Highway Drainage Manual, June, 2004, 87 p.
8. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics. – New Jersey.– 5<sup>th</sup>, – 2005.- 796 с. 15.
9. www.geosvit.com.ua.
10. www.hydrozahist.com.

УДК 625.7/8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Дмитренко Л.А., Шатило Т. В., Строкач С.Л.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ШИРИНИ ЗРАЗКА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОСКРІПЛЕНОГО ГЕОТЕКСТИЛЮ.

**Анотація.** Розглянуті методи випробувань сучасних геосинтетичних матеріалів (ГМ). Для встановлення впливу параметрів випробувань (швидкості деформування та ширини зразка) на механічні властивості ГМ, проведені випробування нетканних термоскріплених геотекстилів Tyrap різних марок. Представлена методика і результати проведених досліджень. Розроблені програмні модулі в прикладних пакетах (Mathcad і EXEL) для розрахунків граничної міцності та відносного видовження під час розтягання ГМ випробуваних при різних параметрах.

**Ключові слова:** геотекстиль, швидкість деформування, навантаження при розриві, швидкість навантаження, відносна деформація, видовження при граничній міцності, ширина випробного зразка.

**Аннотация.** Рассмотрены методы испытаний современных геосинтетических материалов (ГМ). Для установления влияния параметров испытаний (скорости деформирования и ширины образца) на механические свойства ГМ, проведены испытания нетканых термоскрепленных геотекстиля Tyrap различных марок. Представлена методика и результаты проведенных исследований. Разработаны программные модули в прикладных пакетах (Mathcad и EXEL) для расчетов предельной прочности и относительного удлинения при растяжении ГМ испытываемых при различных параметрах.

**Ключевые слова:** геотекстиль, скорость деформирования, нагрузки при разрыве, скорость нагружения, относительная деформация, удлинение при предельной прочности, ширина испытательного образца.

**Annotation.** Considered methods for testing modern geosynthetic material (GM). To establish the influence of test parameters (rate of deformation and the width of the sample) on the mechanical properties of the GM tested nonwoven geotextiles termoskriplenyh Tyrap different brands. The presented method and results of the studies. The software modules in application packages (Mathcad and EXEL) to calculate the marginal strength and relative elongation during stretching GM tested with different parameters.

**Keywords:** geotextile, the rate of deformation, stress at break, load speed, relative deformation, elongation at marginal strength, width test specimen.

**Мета випробувань:** Дослідження впливу швидкості навантаження та ширини випробного зразка на показники міцності та видовження під час розтягання термоскріпленого нетканого геотекстилю в лабораторних умовах.

**Обґрунтування роботи.** Згідно з EN ISO 10319 «Геотекстиль. Випробування на міцність при розтягненні широкої смуги», регламентована робоча ширина зразків при випробуваннях 200 мм, довжина 100 мм, швидкість навантаження (переміщення затискача) регулюють так, щоб забезпечити швидкість деформування, як мінімум 20%/хв вимірної довжини. Швидкість деформування (V, %/хв.) визначається за формулою

$$V = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot t} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $l_0$  - робоча довжина проби, мм; t - час випробування, хв;  $\Delta l$  - приріст видовження на момент граничної міцності, мм.

Національним стандартом ДСТУ EN ISO 10319 [1] для проведення випробувань регламентовані такі ж параметри. Враховуючи, що лабораторії підприємств і науково-дослідних інститутів здебільше оснащені розривними машинами з недостатньою потужністю по навантаженню та обмеженими можливостями затискачів проб (забезпечують затискання проб шириною до 100мм) в національних стандартах України на геотекстильні матеріали внесені доповнення стосовно робочої ширини проб - допускається ширина проб від 50 мм [3-4]. Швидкість навантаження в різних нормативних документах на методи випробувань встановлена від 20 до 100 мм/хв [5-6].

Іноді під час вхідного контролю споживачі геотекстильних матеріалів отримують результати, які не відповідають технічним характеристикам продукції наданими постачальниками, останні не визнають недостатню якість продукції, а посилюються на різницю в параметрах випробувань.

Багаторічний досвід випробувань показав, що в більшості випадків характеристики при розтяганні геотекстильних матеріалів надані постачальниками продукції і отримані при вхідному контролі споживачам співпадають.

Питання впливу параметрів випробувань текстильних матеріалів на характеристики отримані при розтяганні присвячені роботи багатьох дослідників [7], на основі яких можна зробити наступні загальні висновки:

- з збільшенням ширини зразка спостерігається зростання навантаження при розриві. Приблизно до ширини зразка 50 мм навантаження при розриві збільшується в прямолінійній залежності;
- при більш широких зразках на показники навантаження і видовження при розриві більше впливають такі фактори як збільшення числа дефектів, нерівномірність розподілу зусиль, нерівномірність по щільності матеріалів, тому національними стандартами України при визначенні розривних характеристик тканин трикотажних і нетканних полотен встановлена ширина – 50мм;
- із збільшенням швидкості навантаження при визначенні характеристик при розтяганні збільшується показник навантаження і зменшується видовження вимірюваного зразка.

Для усунення сумнівів, щодо збіжності результатів випробувань отриманих при обраних для вимірювань шириних випробних зразків і швидкостях навантаження при розтяганні ( від 20 до 100мм/хв.) проведені дослідження впливу параметрів випробування на характеристики при розриві нетканних геотекстильних матеріалів.

#### Об'єкти досліджень і методика проведення роботи.

Для проведення дослідження обрані неткані термоскріплені геотекстильні полотна Tyrap виробництва DuPont марок SF 40, SF 56, SF 77, які за властивостями та структурою відображають побудову промислового асортименту виробництва геотекстильних нетканних матеріалів.

Експеримент проведений за наступним планом:

- 1) визначені, при вибраних параметрах випробувань кожної марки вибраних полотен :
  - гранична міцність, (кН/м);
  - навантаження при видовженні на 5 %;
  - видовження при граничній міцності;
  - час видовження проби до граничної міцності, (хв);
  - швидкість деформації проби (%/хв);

Параметри випробувань вибирали виходячи з регламентованих різними стандартними, а саме:

- довжина проби, (мм) – 100;
- ширина проби, (мм) - 50, 100, 200;
- швидкість навантаження (пересування нижнього затискача) (мм/хв) - 20, 50, 100.

Значення граничної міцності (P, кН/м) проб різної ширини розраховувались за формулою:

$$P = \frac{P_0 \cdot 1000}{Ш}, \quad (2)$$

P<sub>0</sub> – навантаження при граничній міцності під час розтягування, кН

Ш – ширина проби, мм.

Відносне видовження (ε, %) при граничній міцності визначалось за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $\Delta l$  - приріст довжини під час випробувань, мм.

$l_0$  - відстань між затискачами розривної машини, мм.

За отриманими вимірами показників навантаження і видовження при граничній міцності визначені:

- середні арифметичні значення серії випробувань: