

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 Enkammat® 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 противоэрозионной защиты. Рассмотрен метод расчета противоэрозионной 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 Enkammat® для противоэрозионной 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 Enkammat® 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 пілуватих 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 нестабільністю 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, гесинтетичні матеріали (геомати, геосоти, геотекстилі в композиції із сітками тощо) використовуються для захисту поверхні укосу від поверхневої ерозії, викликаної опадами 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 опадами 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, викликаної 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, пілуватих, 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.

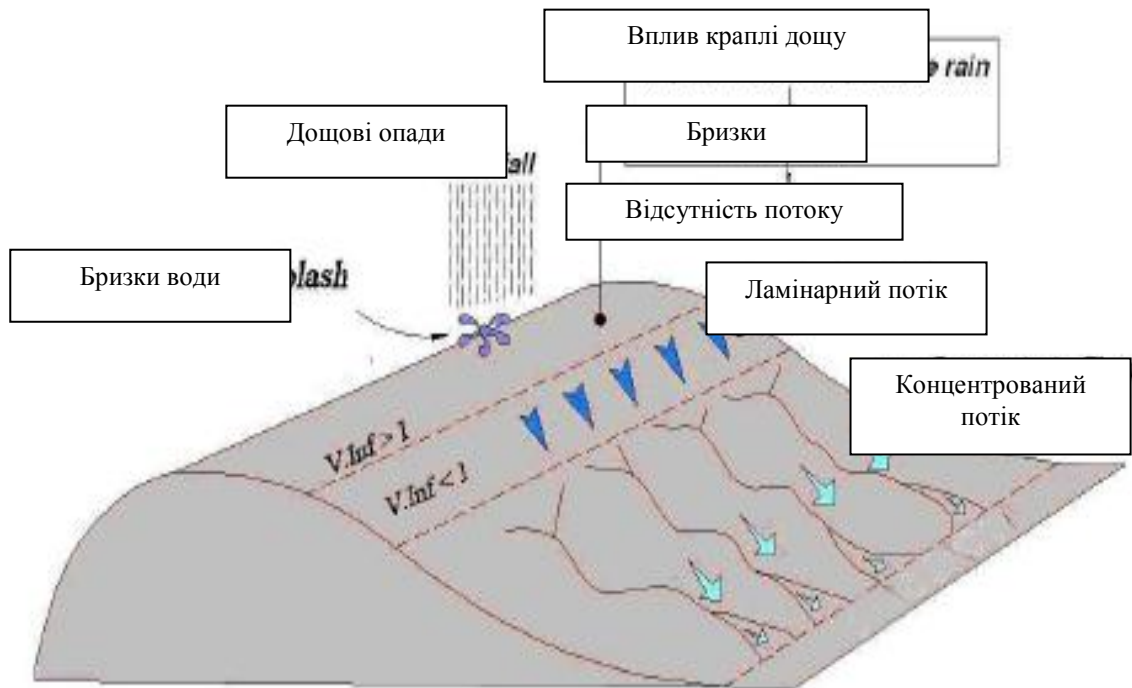


Рисунок 1 - Механізм поверхневої ерозії, викликаній дією опадів.

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 укосу

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 пилюваті 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].

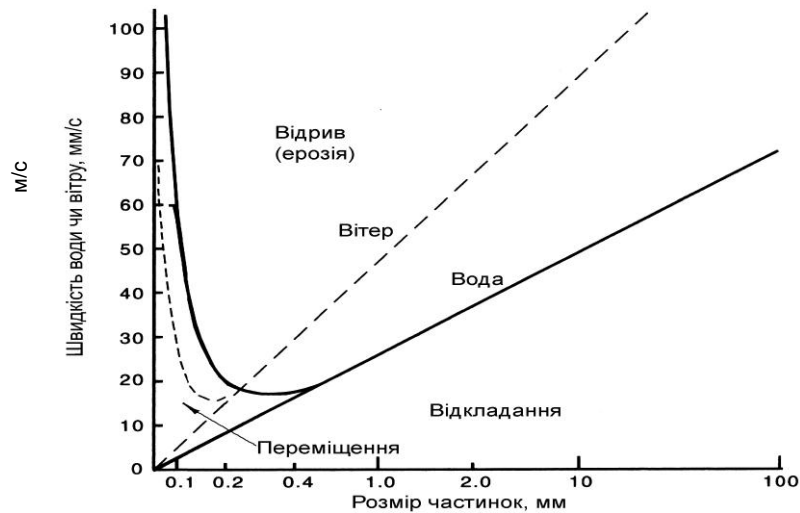


Рисунок 3 - Транспортуюча сила води і вітру

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 функцію 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].

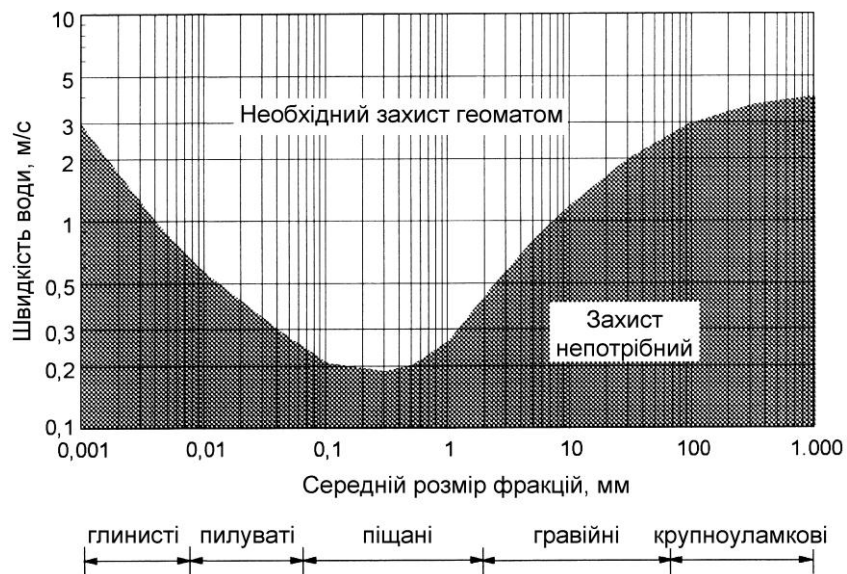


Рисунок 4 - Необхідність застосування протиерозійного захисту за допомогою геосинтетичних матів

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, можливістю 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).

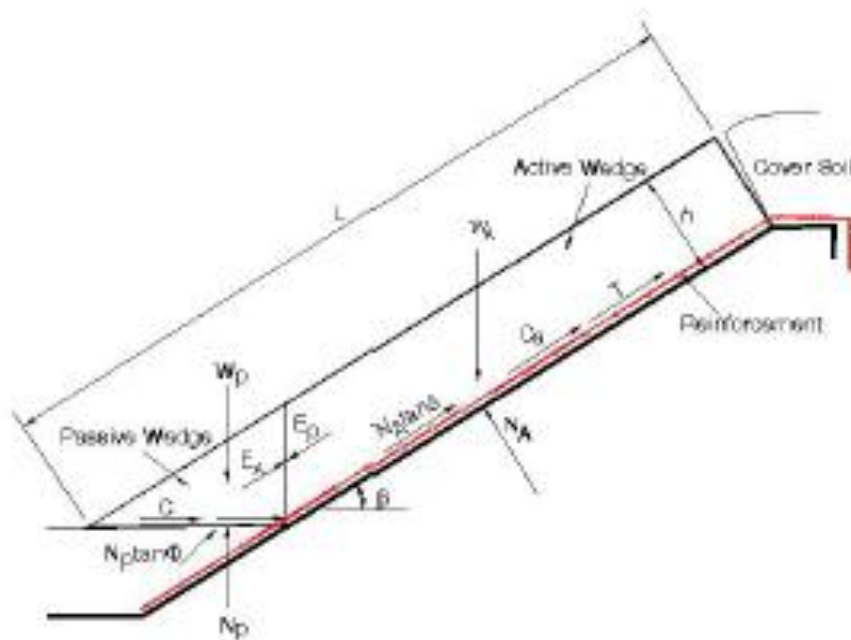


Рисунок 5 - Розрахункова схема для оцінки стійкості протиерозійного захисту (Кернер і Сунг, 2005)

3.1. Вихідними даними для розрахунку є:

Характеристики укосу. закладення 1:m або β - кут нахилу, °;

H – висота насипу, м;

Характеристики ґрунту насипу:

γ_g – щільність ґрунту привантаження, кН/м³;

ϕ – кут внутрішнього тертя ґрунту засипки, °;

c_a – зчеплення ґрунту насипу, кН/м².

Характеристики ґрунту для привантаження:

γ_2 – щільність ґрунту привантаження, кН/м³;

ϕ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту засипки, °.

Характеристики взаємодії ґрунту та геосинтетики:

δ – кут внутрішнього тертя між ґрунтом і геомембраною, °;

c_a – зчеплення між ґрунтом засипки і гематом, кН/м²;

h - товщина шару привантаження, м.

3.2. Алгоритм розрахунку.

Активний тиск ґрунту визначається за формулою

$$\begin{aligned}W_a &= \gamma_g \cdot h^2 \left(\frac{L_y}{h} - \frac{1}{\sin(\beta)} - \frac{\operatorname{tg}(\beta)}{2} \right), \\N_a &= W_a \cdot \cos(\beta), \\C_a &= c_a \cdot \left(L_y - \frac{h}{\sin(\beta)} \right).\end{aligned}\tag{1}$$

Для встановлення пасивного тиск ґрунту використовують формули

$$\begin{aligned}W_p &= \left(\frac{\gamma_g \cdot h^2}{\sin(2 \cdot \beta)} \right), \\C_p &= \left(\frac{c_g \cdot h}{\sin(\beta)} \right).\end{aligned}\tag{2}$$

Розглядаючи рівновагу укусу (рис. 6) отримується

$$\begin{aligned}a &= (W_a - N_a \cos(\beta)) \cdot \cos(\beta), \\b &= (W_a - N_a \sin(\beta)) \cdot \sin(\beta), \\c &= (C_a - N_a \operatorname{tg}(\delta)) \cdot \sin^2(\beta) \cdot \operatorname{tg}(\varphi)\end{aligned}\tag{3}$$

Коефіцієнт запасу отримується в результаті розв'язку квадратного рівняння

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

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; $m=1,75$; $\beta=29,75^\circ$; $L_y=10,5$ м; $\gamma_g=15,2$ кН/м³; $c_a=2$ кПа; $\gamma_2=15,0$ кН/м³; $\varphi_2=12^\circ$; $c_2=10$ кПа; $\delta=23^\circ$; $c_a=0,2$ 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 укусу 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 формуло

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

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.ви мір.	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 укосу з врахуванням ефекту підсилення геоматом наведено на рис. 6б.

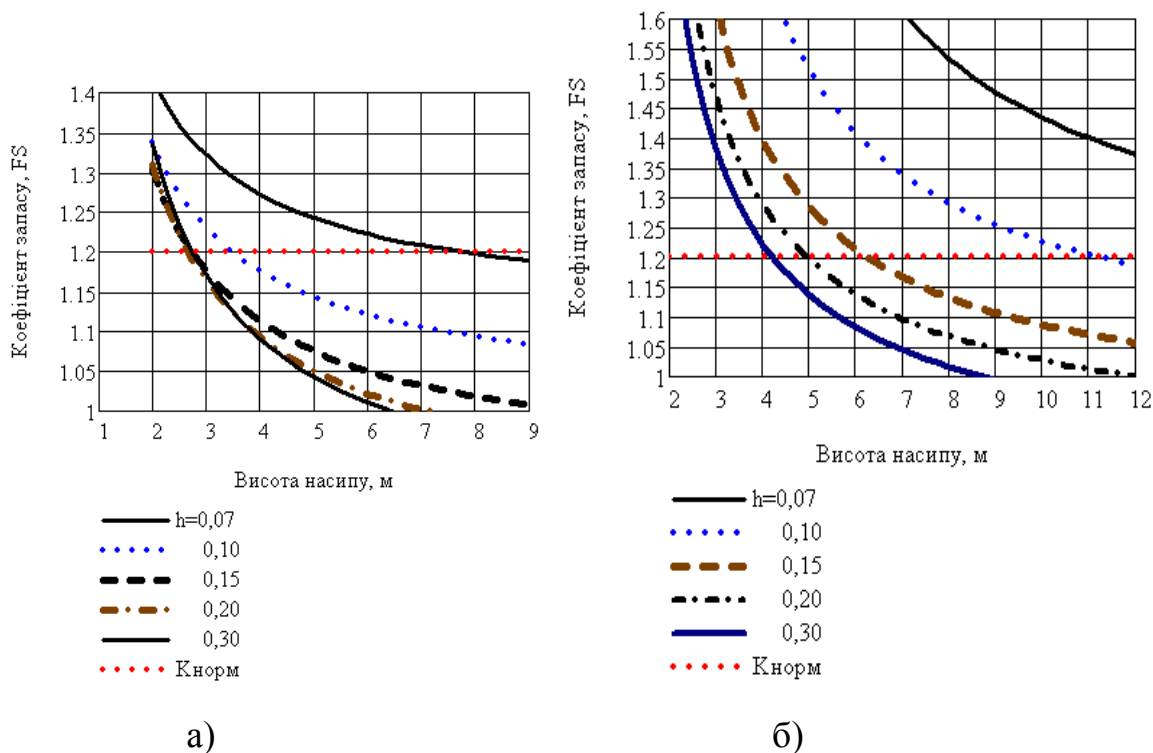


Рисунок 6 - Вплив товщини засипки над геоматом на коефіцієнт запасу при різній товщині насипу а) без геосинтетички; б) при врахуванні армуючої здатності геомату

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.

Розрахунках 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 покриву. 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 послідуєчого 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 укосу;

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

- 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 м 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 вологи 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 Typar[®] 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.– 5th,– 2005.- 796 с. 15.
9. www.geosvit.com.ua.
10. www.hydrozahist.com.