

УДК 625.725

Р.О.Корольков

Автомобільно-дорожній інститут Державного вищого навчального закладу  
«Донецький національний технічний університет»**РОЗРАХУНОК ДОВЖИНИ ЗАКЛАДАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНОГО ПРОШАРКУ В НАСИП  
З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИ ЙОГО СПОРУДЖЕННІ**

*В роботі приводиться порядок розрахунку довжини закладання геосинтетичного прошарку в насип з урахуванням зміни напруженого стану при його спорудженні. Наведені розрахункові схеми та основні залежності.*

Ключові слова: *геосинтетичний прошарок, автомобільна дорога, напружений стан.*

**Постановка проблеми.** У дорожній галузі основними ґрунтовими спорудами є насипи. Першочергове значення при їх влаштуванні має стійкість таких споруд, особливо, їх укосів. На автомобільних дорогах загального користування України, найбільша кількість насипів розташована на дорогах II категорії в діапазоні висот від 6 м до 10 м. Як показує аналіз стану цих насипів, середній відсоток деформацій на них становить 31,1 %. Основний вид деформацій (понад 70 %) це деформації узбіч, розмиви і зсуви укосів насипів. Тому забезпечення стійкості укосів насипів за допомогою застосування геосинтетичних матеріалів є актуальною задачею.

Як свідчить практика, існують випадки руйнування армоґрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армуючого прошарку.

Актуальність забезпечення стійкості насипів обґрунтовується також ускладненням умов будівництва та експлуатації автомобільних доріг (зростання осевих навантажень, швидкостей руху, інтенсивності транспортного потоку); зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок впливу природних факторів та зовнішніх навантажень.

Ще одним фактором, якому не було приділено належної уваги – це врахування послідовності зведення насипів, а отже і поступовій зміні напружено-деформованого стану споруди, що призводить до виникнення похибки в розрахунках різних силових факторів, зокрема сил взаємодії між геосинтетичним прошарком і ґрунтом насипу, за традиційною методикою розрахунку і запропованою.

**Аналіз досліджень і публікацій.** На сучасному етапі багато питань стійкості ґрунтових споруд прийнято вирішувати за допомогою використання армування. У міжнародній практиці та в останнє десятиліття у вітчизняній практиці дорожнього і цивільного будівництва широко використовують геосинтетичні матеріали. Дані споруди, що поєднують ґрунтове середовище і армуючий елемент, можна віднести до композитних систем або ґрунтових композитів (тобто ґрунтової матриці із заданим розподілом в ній арматури (армуючих прошарків із геосинтетичного матеріалу) при якому ефективно використовуються індивідуальні властивості складових композицій).

Свідченням розповсюдження технологій, що ґрунтуються на застосуванні армованих конструкцій, є те, що за кордоном, особливо в США, будівництво більшості серйозних земляних споруд на автомобільних дорогах нині не обходиться без геотекстильних прошарків. Дослідженням у даному напрямку присвячені роботи багатьох учених, таких як: Т.Ален, Р.Бассет, М.Бартонз, С.Бойль, Дж.Ву, Дж.Гіро, Р.Джевел, К.Д. Джоунс, І.Жюран, Р.Коернер, К.Лі, Н.Т. Лонг, Дж.Мітчел, Р.Мюррей, І. Рісе, Л.Річардсон, М.Хаусманн, Ф.Татсуока, Д.Чанг, Ф. Шлоссер, Н.Шу, З. Янг та ін.

Із вчених колишнього Радянського Союзу і вітчизняних вчених вивченням властивостей армоґрунтових конструкцій займалися: А.П. Аксенов, Ю.Б. Балашова, Ю.І. Бік, Е.Д. Бондарєва, І.П. Гамеляк, В.Ю. Гладков, В.Й. Заворицький, Л.Ф. Златоверховніков, В.Д. Казарновський, Є.Я. Лейбман, В.Я. Савенко, Д.Ю. Соболевський, Д.О. Павлюк, В.В. Петрович, А.Г. Полуновський, Ю.В. Пудов, О.А. Рубан, Л.М. Тимофіїва, О.Ю. Усиченко, Ю.Є. Хечінов, А.А. Цернат, К.Ш. Шадунц, В.Р. Шевчук, Ф.М. Шихієв, Д.Ю. Штикель, А.П. Фомін та ін.

Результати робіт у рамках цього напрямку знайшли відображення у сучасних нормативних документах [1, 2].

**Основний матеріал дослідження.** Геосинтетик – загальний термін, що характеризує матеріал, хоча б один з компонентів якого виготовлений з синтетичного або натурального

полімеру у вигляді полотнища, смужки або тримірної структури, що використовується в контакт з ґрунтом та (або) іншими матеріалами, який використовують у геотехнічних і цивільних будівельних спорудах [2]. Під армуванням геосинтетичними матеріалами будемо розуміти використання міцнісних і деформативних властивостей цих матеріалів для покращення механічних властивостей ґрунту.

Армований ґрунт – це композитний матеріал, в якому скомбіновані характерні міцності двох різних матеріалів, таким чином, зменшуючи недоліки кожного.

Метою армування і стабілізації укосів є забезпечення їх стійкості при крутизні більшій за природний кут схилу.

Армування і стабілізацію укосів застосовують в насипах і виїмках автомобільних доріг, при необхідності збільшення їх крутизни до 70°.

Шари посилення розраховують відповідно із необхідними силами, це можливо після визначення результуючої сили максимальних діючих сил у кожному шарі, що залежить від зв'язку сил елемента посилення і ґрунту, від властивостей посилюючого елемента, від деформацій подовження з урахуванням функціональності роботи тощо.

Армоґрунт є композитним матеріалом, міцнісні характеристики якого залежать від ступеня взаємодії армуючого прошарку і ґрунту насипу. Геосинтетик сприймає тиск і розподіляє його на підстильний ґрунт.

Значення діючої сили вздовж армуючого прошарку залежить від властивостей армуючого елемента і від зусиль, що виникають на контакт ґрунт-геотекстиль. Зв'язок напружень важливий для запобігання двох можливих механізмів руйнування: при безпосереднім ковзанні ґрунту вздовж армуючого прошарку і при витягуванні його.

Розглянемо другий вид руйнування армованого укосу насипу – витягування арматури із пасивної зони насипу (рис. 1).

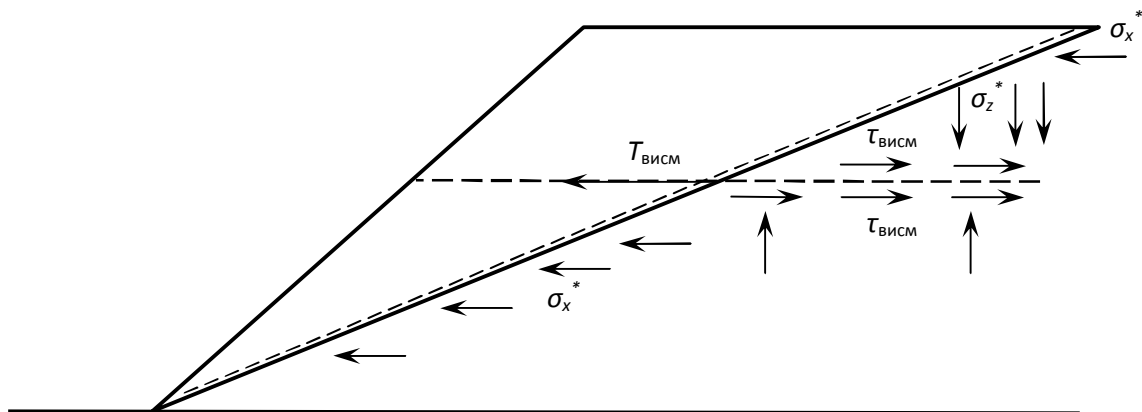


Рис. 1. Схема до визначення реакції геосинтетичного прошарку при витягуванні його із пасивної зони насипу

Забезпечення міцності за цією умовою передбачає розрахунок достатньої довжини закладання геосинтетичного прошарку у стійку частину насипу.

У загальному випадку, що наведений на рис. 1, опір дотичному напруженню при витягуванні геосинтетичного прошарку буде:

$$\tau_{висм} = \sigma_z^* f_{ds-g} \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

де  $f_{ds-g}$  – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком при витягуванні;

$\sigma_z^*$  – напруження на рівні армуючого прошарку;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Максимальна сила в прошарку буде:

$$T_{висм} = 2 \cdot L_{анк} \cdot B_{анк} \cdot \tau_{висм}, \quad (2)$$

де  $L_{анк}$ ,  $B_{анк}$  – довжина і ширина анкерування армуючого геосинтетичного прошарку у стійкій частині насипу.

Із (2) довжина анкерування армуючого прошарку

$$L_{\text{анк}} = \frac{T_{\text{висм}}}{2 \cdot B \cdot \sigma_z^* \cdot f_{ds-e} \cdot tg\varphi}. \quad (3)$$

Якщо врахувати, що розглядається плоска задача, тобто  $B = 1$ , то формула (3) перекикається із формулою для розрахунку необхідної величини анкерування армуючих полотен з умови їх витягування з тіла укосу запропонованою у [1, 2]:

$$L_{ei} \geq \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot (c_a + \sigma_{vi} \cdot tg\delta)} = \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot \alpha_{ds} (c + \sigma_{vi} \cdot tg\varphi)} \quad (4)$$

де  $L_{ei}$  – необхідна довжина анкерування  $i$ -го полотна (мінімальна величина  $L_{ei}$  становить 1 м);

$T_{Di}$  – проектна міцність на розтяг  $i$ -го полотна;

$[K_R]$  – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу згідно з [2] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3);

$c_a$  і  $c$  – адгезія ґрунту до геосинтетика і зчеплення (когезія) ґрунту, відповідно (при розрахунку на довготривалу стійкість армованого укосу значення  $c_a$  і  $c$  прирівнюються нулю);

$\delta$  – кут тертя між ґрунтом та геосинтетиком;

$\alpha_{ds}$  – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком;

$\sigma_{vi}$  – ефективний вертикальний тиск на рівні  $i$ -го полотна.

Якщо величина анкерування  $L_e$  недостатня для того, щоб мобілізувати необхідні зусилля на виривання, то слід використовувати обсіпку геосинтетичних полотен крупнозернистим матеріалом чи кріпити полотна з допомогою нагелів.

Модифікуємо залежність (4) з урахуванням (3). Враховуючи це, довжину анкерування армуючого прошарку у стійкій частині насипу будемо знаходити за залежністю:

$$L_{\text{анк}} = \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-e} \cdot \sigma_z^* \cdot tg\varphi}, \quad (5)$$

Розрахунок довжини геосинтетичного прошарку у призмі обвалення:

$$L_{\text{пр.обв}} = X_{\theta} - X_{\delta}, \quad (6)$$

де  $X_{\theta}$  – горизонтальна проекція лінії ковзання на рівні закладення армуючого прошарку;

$X_{\delta}$  – горизонтальна проекція лінії укосу на рівні закладення армуючого прошарку.

$$X_{\theta} = \frac{h_{ai}}{tg\theta}, \quad (7)$$

де  $h_{ai}$  – висота закладення армуючого прошарку;

$\theta$  – кут нахилу поверхні ковзання,

$$X_{\delta} = \frac{h_{ai}}{tg\delta} \quad (8)$$

де  $\delta$  – кут закладення укосу.

Загальну величину армування для кожного геосинтетичного прошарку розраховують за формулою:

$$L_{\text{арм}} = L_{\text{анк}} + L_{\text{пр.обв}} + L_{\text{об}}, \quad (9)$$

де  $L_{\text{анк}}$  – довжина анкерування геосинтетичного прошарку;

$L_{\text{пр.обв}}$  – довжина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення на рівні його закладання;

$L_{\text{об}}$  – довжина геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми.

Довжину геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми (рис. 2) розраховують за формулою:

$$L_{об} = h_{об} + l_{об}, \quad (10)$$

де  $h_{об}$  – товщина обойми;

$l_{об}$  – довжина загортання геосинтетичного матеріалу в обоймі.

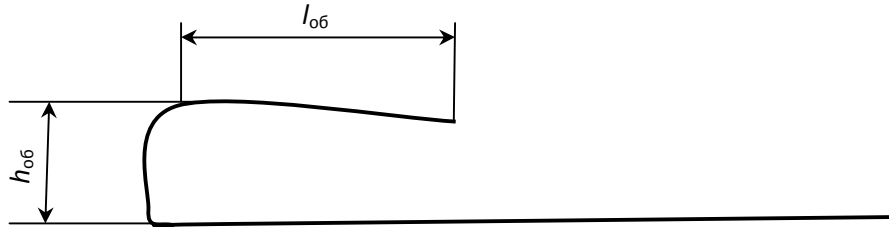


Рис. 2. Схема до визначення довжини обойми (загортання) геосинтетичного армуючого прошарку

Довжину загортання геосинтетичного матеріалу в обоймі знайдемо з умови випирання ґрунту з обойми, тобто виривання верхнього кінця обойми довжиною  $l_{об}$ .

Зусилля від власної ваги у ґрунті змінюються пропорційно із глибиною (рис. 3 а).

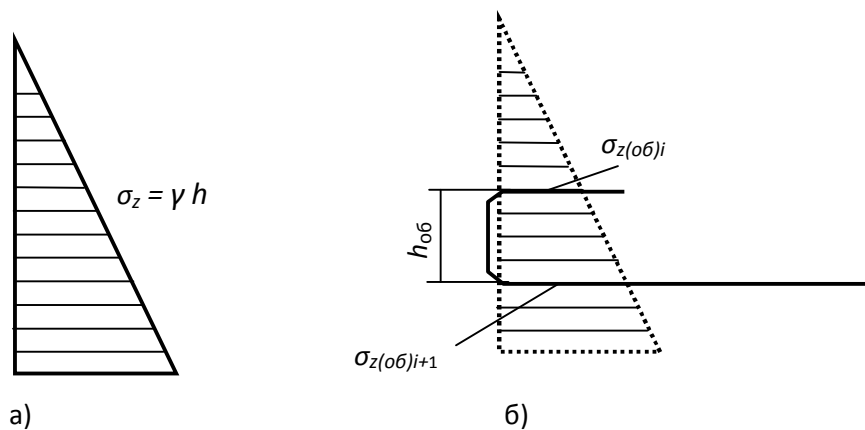


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення сили, що діє на обойму

Прийmemo кут нахилу торця обойми  $90^\circ$ , якщо торець обойми має нахил, то фактори, що, у зв'язку із цим, зменшують коефіцієнт активного бокового тиску, підуть у запас міцності. Виділимо із масиву ґрунту одну обойму (рис. 3 б). Силу, що буде діяти на обойму можна виразити через площу епюри тиску з врахуванням коефіцієнта активного бокового тиску:

$$T_{об} = \frac{\sigma_{z(об)i} + \sigma_{z(об)i+1}}{2} \cdot h_{об} \cdot k_{акт}. \quad (11)$$

де  $\sigma_{z(об)i}$ ,  $\sigma_{z(об)i+1}$  – нормальні напруження, що діють на верху і низу обойми з врахуванням стадійності зведення насипу;

$k_{акт}$  – коефіцієнт активного бокового тиску.

З іншого боку сила  $T_{об}$  повинна урівноважуватись силами тертя між прошарком геосинтетичного матеріалу і ґрунтом:

$$T_{об} = 2 \cdot L_{об} \cdot B_{об} \cdot \tau_{висм}, \quad (12)$$

де  $B_{об}$  – ширина загортання геосинтетичного матеріалу в обоймі.

Прирівнявши формули (11) і (12) і з урахуванням формули (1) знайдемо необхідну довжину загортання геосинтетичного матеріалу в обоймі:

$$L_{об} \geq \frac{\sigma_{z(об)i} + \sigma_{z(об)i+1}}{4 \cdot B_{об} \cdot \sigma_{z(об)i}^* \cdot f_{ds-e} \cdot tg\varphi} \cdot h_{об} \cdot k_{акт}. \quad (13)$$

### Висновки

Отримано розрахункові залежності для визначення довжини закладання геосинтетичного прошарку в насип з урахуванням зміни напруженого стану при його спорудженні. Врахування послідовності зведення і завантаження дорожніх насипів дозволяє одержати більш повну інформацію про напружено-деформований стан споруди, а отже, і про його стійкість та надійність. При визначенні напружено-деформованого стану високих насипів неправильно було б припускати, що навантаження, які діють на споруду прикладені після того, як земляне полотно набуло остаточної форми. Тому що для високих насипів характерний великий обсяг земляних робіт і велика вага ґрунту, що складає тіло насипу. У процесі зведення земляного полотна, зміна його конфігурації супроводжується поступовим зростанням навантаження. При цьому остаточний напружено-деформований стан насипу, як доведено вище, відрізняється від того, який би мав місце при прикладенні навантажень до вже зведеної споруди.

На сучасному етапі одним із перспективних напрямів скорочення строків будівництва, забезпечення міцності структур, скорочення площ під спорудами є влаштування армоґрунтових конструкцій з армуванням їх геосинтетичними матеріалами, ефективність використання яких обумовлюється також зниженням вартості будівництва завдяки використанню місцевих матеріалів, спорудженням конструкцій у складних інженерно-геологічних умовах, економією висококондиційних будівельних матеріалів, які часто відсутні в районі будівництва, підвищення однорідності і довговічності конструкції тощо.

Геосинтетичні матеріали прості у використанні, їх укладання в конструкцію здійснюються розповсюдженими в будівництві машинами і механізмами, мають високу довговічність, компактні при транспортуванні.

1. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). – К.: Укравтодор, 2008. – 145 с.
2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.