

УДК 625.1

**МЕТОДИ УРАХУВАННЯ ЕФЕКТУ АРМУВАННЯ УКОСІВ  
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ РОЗРАХУНКАХ СТІЙКОСТІ**

*к.т.н. Ковальов В.В., к.т.н. Чернишова О.С., Найдюнова В.О.*

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна*

**Постановка проблеми та її зв'язок із науковими та практичними завданнями.** При проектуванні та будівництві земляного полотна доріг, а також експлуатації існуючого земляного полотна виникає необхідність вирішення задачі по забезпеченню необхідної стійкості укосів [1].

Одним з найбільш ефективних та економічно доцільних способів підвищення стійкості укосів земляного полотна є армування укосів геосинтетичними матеріалами [2, 3]. Також можливо підвищення стійкості транспортних споруд не лише армуванням укосів, а й контрбанкетів та спорудженням армогрунтових стін (рис. 1) [4].

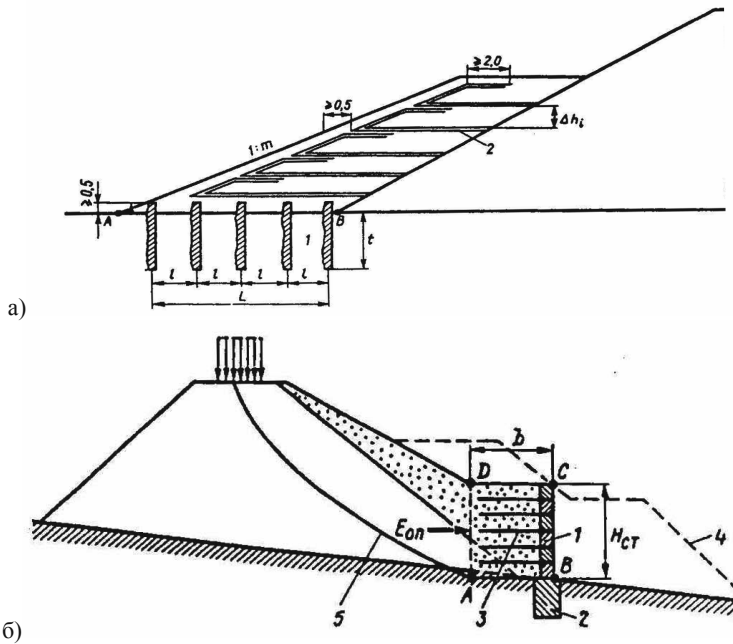


Рис. 1. Приклади підвищення стійкості укосів транспортних споруд  
а) армований контрбанкет, б) армогрунтова стіна

При визначенні стійкості укосів наведених вище транспортних споруд необхідно враховувати ефект армування.

Також ефект армування необхідно враховувати при проектуванні земляного полотна для визначення оптимальної кількості прошарків армування, довжини геосинтетиків, їх кількості, достатньої відстані між ними.

На даний час існують методи, що дають можливість враховувати армування укосів земляного полотна при розрахунках стійкості. Кожен з розроблених методів має свої недоліки та переваги.

Тому **метою статті** є дослідження існуючих методів, що дають можливість враховувати ефект армування при розрахунках стійкості укосів земляного полотна доріг, а також визначити особливості цих методів.

### Виклад матеріалу.

Аналіз стану армованої ґрунтової споруди зазвичай виконується в двох напрямках:

1) зовнішній аналіз (загальна стійкість) – це стійкість всього ґрунтового масиву в цілому, включаючи руйнування від зсуву, від нахилу з втратою несучої здатності, а також обвалення ковзанням всієї споруди;

2) внутрішній аналіз (локальна стійкість), що пов'язан з механізмами адгезійного руйнування (контакту „ґрунт – арматура”) і розриву арматури.

У свою чергу методи оцінки внутрішньої стійкості підрозділяються на дві групи: методи, в яких розглядається загальна стійкість блоків і призм ґрунту і методи, в яких розглядається локальна стійкість ґрунту поблизу окремого елемента арматури.

Існують наступні методи розрахунку внутрішньої стійкості, засновані на класичних методах граничної рівноваги [5].

1. Руйнування, викликане розтягуванням.

*Клин Кулона.* Передбачається, що ґрунт який оточує арматуру знаходиться в граничному стані, відповідний активному стану в межах клину обвалення. Розподіл розтягування в шарах арматури – лінійне. Допускається, що арматура володіє достатньою довжиною в утримуючому шарі, щоб не відбулося руйнування із-за її висмикування. Максимальне розтягуюче напруження в  $i$ -том шарі арматури:

$$T_i = \frac{K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \Delta H \cdot n}{(n+1)}, \quad (1)$$

де  $K_a$  – коефіцієнт активного тиску ґрунту;

$H$  – висота земляного полотна;

$\Delta H$  – відстань між армуючими прошарками;

$n$  – число ефективних шарів армуючих елементів.

*Теорія Ренкіна.* При визначенні максимальних розтягуючих напружень в арматурі прийняті наступні допущення:

- напрям головного напруження співпадає з вертикаллю і горизонталлю;
- розтягування арматури є максимальним в місці з'єднання із стінкою;
- вертикальний тиск від вищерозміщених шарів поблизу вертикальної стінки рівний  $\sigma_V = \gamma \cdot H$ .

Максимальне розтягуюче напруження визначається по формулі:

$$T_{max} = K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \Delta H \quad (2)$$

Недоліки методів Кулона і Ренкіна пов'язані з припущенням, що ґрунт який знаходиться між арматурою, повністю переходить в стан граничної рівноваги.

*Трапецеїдальний розподіл.* У припущенні про трапецеїдальний розподіл напружень по підшві:

$$T_{\max} = K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \Delta H \cdot \left(1 + K_a \cdot (H/L)^2\right) \quad (3)$$

*Розподіл по Мейерхофу.* У зв'язку з тим, що вірогідний розподіл напружень відрізняється від трапецеїдального Шлоссером було прийнято розподіл, запропонований Мейерхофом, відповідно до якого зусилля розраховуються наступним чином:

$$T_{\max} = K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \left[ \frac{\Delta H}{1 - 0,3 \cdot K_a \cdot (H/L)^2} \right] \quad (4)$$

*Пружний аналіз.* Баннержі, використовуючи метод скінчених елементів, отримав, що розтягування в армуючому елементі на глибині  $H$  :

$$T_{\max} = 0,35 \cdot \gamma \cdot H \cdot \Delta H \quad (5)$$

2) Адгезійне руйнування споруди (контакт „ґрунт – арматура”).

*Клин Кулона.* При розгляді опору руйнуванню за типом клину Кулона (з урахуванням зв'язності, що утворюється поза межами клину) коефіцієнт запасу відносно адгезійного руйнування обчислюється за формулою:

$$F_S = \frac{2B\mu\gamma H \left[ \frac{L}{2}(n+1) + H \cdot \operatorname{tg}\beta' \left( \frac{1-N^2}{6N} \right) \right]}{0,5\gamma H \left[ \frac{F - \operatorname{tg}\beta' \cdot \operatorname{tg}\varphi'}{\operatorname{ctg}\beta' + \operatorname{tg}\varphi'} + 1 \right]} \quad (6)$$

$\mu$  – коефіцієнт тертя між матеріалом засипки і арматурою;

$N$  – номер першого шару арматури, що перетинає теоретичну лінію руйнування;

$B$  – ширина елементу арматури;

$L$  – довжина елементу арматури.

*Теорія Ренкіна.* Враховується допущення, що частина довжини арматури розташована в межах призми руйнування, але є активною по відношенню до запобігання руйнуванню із-за подолання зв'язності:

$$F_S = \frac{2 \cdot B \cdot \mu \cdot [L - H \cdot \operatorname{tg}(45 - \varphi' / 2)]}{K_a \cdot \Delta H} \quad (7)$$

*Розподіл по Мейерхофу.* Пов'язані з розподілом по Мейерхофу вертикальне напруження, не відповідає умові однорідності, унаслідок чого зміниться гранична довжина зв'язності.

$$F_S = \frac{L}{H \cdot K_a / 3L + \left[ \frac{1}{1 - 0,3K_a(H/L)^2} \right] \cdot K_a \cdot \Delta H / 2B \cdot \mu} \quad (8)$$

*Енергетичний метод аналізу*, запропонований Османом, базується на розгляді рівноваги зовнішньої роботи від тиску ґрунту і внутрішньою енергією деформації, що накопичується в арматурі.

Енергетичний метод припускає, що витрачена робота зовнішніх сил накопичується в арматурі у вигляді енергії пружних деформацій, яка може бути обчислена, якщо відомий розподіл розтягування в арматурі.

Повна робота зовнішніх сил, здійснена за рахунок тиску ґрунту на одиницю ширини стінки, визначається з виразу:

$$U_{ext} = \int_0^H p(h)y(h)dh \quad (9)$$

де  $U_{ext}$  – робота, здійснена за рахунок тиску ґрунту;

$p(h)$  – функція тиску ґрунту;

$y(h)$  – функція прогинань стінки.

Максимальне розтягування арматури визначається:

$$T_{max} = \sqrt{(8K_a^{2,5} / 9L)} \cdot \gamma \cdot S_v \cdot S_h \cdot H^{1,5} \quad (10)$$

де  $S_h$  і  $S_v$  – горизонтальний і вертикальний крок розташування арматури;

$L$  – довжина арматури;

$H$  – повна висота засипки вище підшви споруди.

Коефіцієнт запасу по відношенню до висмикування арматури рівний:

$$F_S = \frac{2B \cdot \mu \cdot L^{1,5}}{S_v \cdot S_h \sqrt{6K_a^{6,5} \cdot (H - h)}} \quad (11)$$

де  $h$  – висота засипки над арматурою.

*Гіпотеза когерентної гравітації*. Гіпотеза про когерентну гравітацію відноситься до стану, що гранично допускається. Розрахункове напруження є такими, що фактично діє і не визначає умови руйнування. Вводяться наступні допущення: армований масив складається з двох зон (активною та утримуючою); напружений стан засипки, що знаходиться між елементами арматури, визначається вимірюванням на фактичних спорудах.

Коефіцієнт зв'язності між арматурою і ґрунтом встановлюється емпірично, з дослідів на висмикування арматури.

Максимальне розтягування на елемент:

$$T_{max} = K \sigma_v (\Delta H / n) \quad (12)$$

де  $\sigma_v = \gamma h$  – вертикальні напруження;

$\Delta H$  – область дії арматури.

*Гіпотеза відтяжки.* При розрахунку враховується можливість роботи на стиснення матеріалу засипки і здатність до перерозподілу зрушення між армуючими елементами засипки. Передбачається, що напружений стан усередині армованої засипки характеризується величиною коефіцієнта активного тиску.

Максимальне розтягуюче зусилля визначається шляхом підсумовування відповідних навантажень, що впливають на кожну з арматур:

$$T_{\max} = T_{hi} + T_{wi} + T_{si} + T_{fi} + T_{mi} \quad (13)$$

де  $T_{hi}$  – розтягування в арматурі від дії засипки, розташованої над шаром арматури;

$T_{wi}$  – розтягування в арматурі від дії рівномірної поверхні навантаження;

$T_{si}$  – розтягування в арматурі від дії зосередженого навантаження;

$T_{fi}$  – розтягування в арматурі від зовнішнього зрушувального навантаження, прикладеного до споруди горизонтально;

$T_{mi}$  – розтягування в арматурі від моменту, що вигинає, викликаного зовнішніми навантаженнями, що впливають на споруду.

**Висновки.** Розглянуті теоретичні підходи дають можливість враховувати багато аспектів і явищ в роботі системи „грунт – арматура”, а також дають можливість визначити вплив основних параметрів армування ґрунту на стійкість земляної споруди. Проте в розглянутих методах не враховується динамічна складова від дії рухомого складу, яка значно впливає на стійкість земляного полотна.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України / Л.І. Дяченко, Г.П. Кислий, В.О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ ”Арт-прес”, 2001. – 104 с.
2. ВСН 205-87. Ведомственные строительные нормы. Проектирование земляного полотна железных дорог из глинистых грунтов с применением геотекстиля. ЦНИИС. М., 1987. 58 с.
3. Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна: ЦП-4591/МПС СССР, Главное управление пути. — М.: Транспорт, 1989. 47 с.
4. Яковлева Т.Г. Железнодорожный путь / Яковлева Т.Г. – М.: 1992. – 407 с.
5. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта; [Пер. с англ. В.С. Забавина] / К.Д. Джоунс. – М.: Стройиздат, – 1989. – 280 с.