

Осяєв Ю.М., к.т.н., Малько М.М., к.т.н., Яремов А.П.

УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ АРМОВАНИХ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Актуальність. Забезпечення стійкості укосів земляного полотна, при постійному збільшенні навантаження і зміни умов роботи земляних споруд, є дуже важливою проблемою. Армування укосів земляного полотна не завжди забезпечує достатню міцність та стійкість укосів. Існуючі методи розрахунку армованих укосів земляного полотна в значній мірі носять наближений характер, тому що у своїй більшості не повно враховують особливості роботи армуючого прошарку в ґрунті, його деформативні властивості тощо.

Аналіз публікацій. Практично в усіх відомих розробках у цьому напрямку розміщення прошарків по висоті укосу приймається фіксованим із постійним кроком. Розрахунок орієнтований лише на визначення ступеня міцності конкретної конструкції без вирішення задачі про найбільш доцільне розміщення прошарків, рівномірного розподілу зсувних навантажень на кожний з прошарків з урахуванням деформативних властивостей армуючого матеріалу. При цьому не розглядається задача визначення оптимальної (мінімально необхідної) кількості шарів армування, оптимального місця розташування їх у тілі земляного полотна.

Основою оцінки стійкості укосів насипів автомобільних доріг є зіставлення їх дійсного розрахункового напруженого стану з граничним можливим. В основу сучасних інженерних методів оцінки стійкості споруд покладено поняття про коефіцієнт запасу стійкості, який в загальному випадку можна представити у вигляді

$$K_{\text{зап}} = \frac{R}{R_{\text{д}}}, \quad (1)$$

де R – узагальнений реактивний граничний опір ґрунту дії граничного навантаження;

$R_{\text{д}}$ – реакція масиву ґрунту на навантаження, що діє.

Таким чином, $K_{\text{зап}}$ має певний фізичний сенс і показує, якою мірою використаний можливий граничний опір ґрунту. Вельми істотно, що при цьому

зіставляються лише однакові за природою реактивні сили – граничні і такі, що діють.

Крім того, повинна виконуватися умова рівноваги

$$R_{\dot{a}} - \dot{A} = 0, \quad (2)$$

де A – «узагальнена» активна сила, відповідна розглянутому (дійсному) стану ґрунтового масиву.

Спільне вирішення рівняння фізичного поняття про коефіцієнт запасу стійкості (1) і рівняння рівноваги (2) наводить до вираження для $k_{\text{зап}}$ у вигляді

$$k_{\text{зап}} = \frac{R}{A}. \quad (3)$$

Можна визначати $k_{\text{зап}}$ виходячи із співвідношень

$$k_{\text{зап}} = \frac{T_{\text{п.р.}}}{T_{\text{д.р.}}} \quad \text{або} \quad k_{\text{зап}} = \frac{M_{\text{п.р.}}}{M_{\text{д.р.}}} \quad (4)$$

де $T_{\text{п.р.}}$ і $M_{\text{п.р.}}$ – сума проєкцій або моментів всіх реактивних сил в граничному стані;

$T_{\text{д.р.}}$ і $M_{\text{д.р.}}$ – сума проєкцій або моментів реактивних сил, що діють.

Підрозділяти сили на тих, що утримують і зрушують не слід. Необхідно використовувати лише розділення всіх сил на активні і реактивні, а останні, у свою чергу, на граничні і ті, що діють.

При введенні посилюючого елемента в ґрунт, прикладення вертикального навантаження викликає деформацію елемента ґрунту і подовження посилюючого елемента. Подовження створює зусилля в елементі посилення, що, у свою чергу, викликає горизонтальне напруження. Це напруження, що обмежує рухливість часток ґрунту, значно підвищує опір горизонтальним силам і зменшує горизонтальні деформації.

Отже, включення геотекстильного прошарку в масив ґрунту зменшує напруження і зусилля, що виникають у ґрунті; з іншого боку, вертикальне навантаження, що прикладається до масиву ґрунту, може бути підвищене, у порівнянні з не посиленим ґрунтом з еквівалентними значеннями деформацій.

Укіс дорожнього насипу є одним з основних елементів інженерної споруди, стійкість якого повинна бути оцінена за допомогою розрахунків не тільки якісно, але і кількісно. Основний параметр проектованого укосу – кут його закладення при визначеній висоті укосу.

Існуючі методи розрахунку укосів земляних споруд складаються, як правило, із двох етапів. На першому етапі перевіряють стійкість неармованого укосу. Якщо розрахунковий коефіцієнт стійкості ($K_{зап}$) більше необхідного ($K_{потр}$), то армування не призначають. Якщо $K_{зап}$ менше $K_{потр}$, то на другому етапі проводять аналіз місця розташування критичної поверхні зсуву і призначають армування, не змінюючи при цьому геометричних параметрів насипу. Однак при введенні в масив насипу армуючих прошарків, можна визначити оптимальний кут закладення укосів.

У нестійких укосах, що характеризуються однорідним складом, порушення стійкості відбувається по найбільш слабких поверхнях ковзання, що утворюються безпосередньо в момент порушення стійкої рівноваги укосу.

Розрахункову поверхню ковзання можна побудувати в нестійкому масиві, припускаючи, що даний укіс знаходиться в стані граничної рівноваги. Відповідно до положень статички сипучого середовища в укосах з однорідним складом, площадки ковзання в будь-якій крапці нахилені до найбільшого головного напруження під кутом $45^\circ - \varphi/2$ і виникають при напруженнях

$$\sigma_0 = 2c \cdot \operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (5)$$

де c – зчеплення ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту.

З формули (5) видно, що площадки ковзання виникають, лише починаючи з глибини

$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (6)$$

де γ – об'ємна вага ґрунту.

У масиві ґрунту найбільші головні напруження, віддалені від укосу, спрямовані вертикально, а в міру наближення до укосу спрямовуються у бік укосу і на поверхні увігнутих і плоских укосів збігаються з ним. Зі зміною напрямку дії найбільших головних напружень від 90° до α (α – кут закладення укосу) змінюється і напрямок площадок ковзання. Однак кут нахилу їх до

найбільших головних напружень залишається постійним, рівним $45^\circ - \varphi/2$. Знаючи напрямки найбільших головних напружень у кожній крапці деякої області, можна побудувати загальну поверхню ковзання в гранично напруженому укосі.

Рішення задачі визначення положення поверхні ковзання значно спрощується, якщо звернутися спочатку до випадку вертикального укосу ($\alpha = 90^\circ$), а потім поширити отриманий результат на загальний випадок ($\alpha \neq 90^\circ$).

При вертикальному укосі напрямок σ_1 залишається постійним. Тому що площадки ковзання завжди нахилені до напрямку σ_1 під кутом $45^\circ - \varphi/2$, загальна поверхня ковзання буде плоскою, а кут нахилу її до обрію

$$\beta_{\text{кр}} = \frac{90^\circ + \varphi}{2}. \quad (7)$$

Переходячи тепер до загального випадку ($\alpha \neq 90^\circ$) для будь-якого значення кута α , одержимо

$$\beta_{\text{кр}} = \frac{\alpha + \varphi}{2}. \quad (8)$$

Висновки. Для оцінки міцності і стійкості укосу, потенційні поверхні руйнування приймаються круглоциліндричними або клиноподібними, але також можливі інші форми.

Армуючий синтетичний матеріал використовується для армування укосів з метою зміцнення ґрунту тіла насипу, підвищення крутості укосів. При цьому важливо враховувати властивості ґрунту земляного полотна, величину вертикальної відстані між прошарками, довжину закладення прошарку в стійку частину укосу, межу міцності геотекстильного матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Іванов П.Л.* Ґрунти и основания гидротехнических сооружений. Механика ґрунтов: Учеб. для гидротехн. спец. вузов / Иванов П.Л. – М.: Высш. шк., 1991. – 447 с.
2. *Дашко Р.Э.* Механика горных пород: Учебник для вузов / Дашко Р.Э. – М.: «Недра», 1987. – 264 с.
3. *Маслов Н.Н.* Механика ґрунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними): [учеб. пособие для вузов] / Маслов Н.Н. – М., Стройиздат, 1977. – 320 с.