

УДК 625.725

Корольков Р.О., канд.техн.наук, Петрович В.В., канд.техн.наук, Каськів С.В.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОВЕРХНІ КОВЗАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
СТІЙКОСТІ АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ
УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Анотація. У статті розглянута можливість заміни круглоциліндричної поверхні ковзання на плоску при розрахунку стійкості армованих укосів насипів автомобільних доріг.

Ключові слова: поверхня ковзання, укіс, геосинтетичні матеріали, автомобільна дорога, ґрунтова споруда.

Аннотация. В статье рассматривается возможность замены круглоцилиндрической поверхности скольжения на плоскую при расчете стойкости армированных откосов насыпей автомобильных дорог.

Ключевые слова: поверхность скольжения, откос, геосинтетические материалы, автомобильная дорога, ґрунтовое сооружение.

Annotation. In the article possibility of replacement to the circular cylindrical shute is examined on flat at the calculation of firmness of the reinforced slopes of embankments of highways.

Keywords: shute, slope, geosynthetic materials, highway, ground building.

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 осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсивності транспортного потоку); зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок впливу природних факторів та зовнішніх навантажень.

Досвід експлуатації ґрунтових споруд свідчить, що реальні поверхні ковзання не є ні плоскими, ні круглоциліндричними і, як правило, спочатку на поверхні споруди утворюється тріщина, а поверхня ковзання має криволінійний характер.

За даними багатьох авторів перед руйнуванням у утворюється тріщина, а площадки ковзання виникають, лише починаючи з глибини:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (1)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту;

γ – об'ємна вага ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Враховуючи цей факт, формулу (1) потрібно враховувати у подальших розрахунках, але не на етапі проектування, а на етапі конструювання, при розрахунках, частину призми зсуву, яку обмежує тріщина, потрібно враховувати сумісно із всією призмою зсуву, з метою підвищення точності розрахунків для забезпечення запасу міцності конструкції.

В основному нормативному документі у дорожній галузі ДБН В.2.3-4 не конкретизується метод розрахунку стійкості укосів насипів та форма поверхні ковзання. У суміжних галузях також не конкретизують методи розрахунку, а вказують, що стійкість укосів потрібно перевіряти за можливими поверхнями зсуву (круглоциліндричними, ломаними тощо) із знаходженням самої небезпечної призми обвалення, що характеризується мінімальним відношенням узагальнених граничних утримуючих сил опору до активних сил зсуву.

У [1] наведено приклади розрахунку як для плоских, так і для круглоциліндричних поверхонь ковзання.

У зарубіжних нормах [2, 3] розглядають три поверхні ковзання: циліндричну; логарифмічну спіраль і лому (дві гілки) поверхні ковзання.

Критерієм стійкості насипів згідно з СНиП 2.01.15, СНиП 2.06.05 та ДБН В.1.1-3 є дотримання (для самої небезпечної призми обвалення) нерівності:

$$\gamma_f \cdot T \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot R, \quad (2)$$

де γ_f – коефіцієнт поєднання навантажень (надійності по навантаженню), для основного випадку $\gamma_f = 1,00$, для особливого $\gamma_f = 0,90$, для будівельного періоду $\gamma_f = 0,95$;

T – розрахункове значення загальної активної сили зсуву;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, на стадії експлуатації приймають $\gamma_c = 1,0$;

γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує ступінь важливості споруди;

R – розрахункове значення загальної активної сили граничного опору зсуву, яке потрібно визначати із врахуванням коефіцієнта надійності по ґрунту γ_g .

У ДБН В.1.1-3 відношення коефіцієнтів $\frac{\gamma_n \cdot \gamma_f}{\gamma_c}$ характеризує мінімальний запас затримуючих сил по відношенню до сил зрушення і називається нормованим значенням коефіцієнта стійкості схилу (укосу). При настанні граничних станів значення цього коефіцієнта при основних сполученнях навантажень повинно дорівнювати відповідно для захисних споруд першого ступеня відповідальності – 1,35 та 1,25; другого – 1,3 та 1,2; третього – 1,25 та 1,15; четвертого – 1,2 та 1,1. При особливих сполученнях навантажень: для

першого – 1,3 та 1,2; другого – 1,25 та 1,15; третього – 1,2 та 1,1; четвертого – 1,15 та 1,05.

Перші розрахунки стійкості укосів ґрунтових споруд передбачали плоску поверхню ковзання. Плоска поверхня ковзання або та що до неї наближується виникає у спорудах із пісків або піщано-гравійних ґрунтів, а також її приймають при розрахунках підпірних стін.

На сучасному етапі проектування автомобільних доріг при проектуванні насипів у типових умовах (на основах і із ґрунтів регламентованих будівельними нормами і стандартами) згідно із [4] закладання укосів змінюється від 1:4 до 1:1,5. Ці закладання укосів, як правило, забезпечують стійкість насипів або їх укосів. Але у типових умовах не виникає необхідність у застосуванні рішень із посилення (армування) укосів насипу або зміни його крутизни.

Тому однією із задач розрахунку армованих укосів є обґрунтування форми поверхні ковзання призми обвалення, тобто прийняття індивідуальних (для кожного об'єкта своїх) проектних рішень. У даному випадку економічна доцільність в армуванні виникає при закладанні укосів насипу від 1:0,577 до 1:0,364, тобто у діапазоні від 60° до 70° , оскільки від 70° до 90° конструктивні рішення з армування або укріплення укосів насипів відносять до підпірних стінок, у нашому випадку – армоґрунтови підпірні стінки. Питання проектування підпірних армоґрунтових стінок розроблено як у вітчизняній, так і у зарубіжній практиці.

Тобто, поставлена задача, яку поверхню ковзання приймати для насипів із закладанням укосів від 60° до 70° , оскільки, як правило, для насипів з укосами до 60° приймають – круглоциліндричну, а для 70° і більше – плоску.

Детальна робота виконана Г.Л. Фісенком, М.О. Рєвазовим і Е.Л. Галустьяном [5] свідчить, що похибка у визначенні величини коефіцієнта запасу стійкості укосів, при заміні круглоциліндричної поверхні ковзання на плоску, для $\delta = 60^\circ$ складає близько 15 %. Зі збільшенням кута δ похибка зменшується, і при $\delta = 90^\circ$ плоска і круглоциліндрична поверхні ковзання зливаються.

Для підтвердження цих тверджень, авторами виконано велику кількість розрахунків, як інженерних – з безпосереднім пошуком поверхні ковзання з використанням графіків і метода Янбу, так і з використанням сучасного програмного забезпечення "Откос" проектного програмного комплексу для

проектування автомобільних доріг CREDO. Для різних вихідних умов і різних розрахункових схем отримано поверхні ковзання і коефіцієнти стійкості, які порівнювали із отриманими за розробленим авторами методом при плоскій поверхні ковзання. Метод і отримані залежності наведені нижче.

Схема порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і плоскою поверхнею ковзання для насипу висотою 10 м, кутом нахилу укосу 60° , питомою вагою ґрунту 18 кН/м^2 , кутом тертя ґрунту 25° і зчепленням ґрунту 10 кПа, наведена на рис. 1.

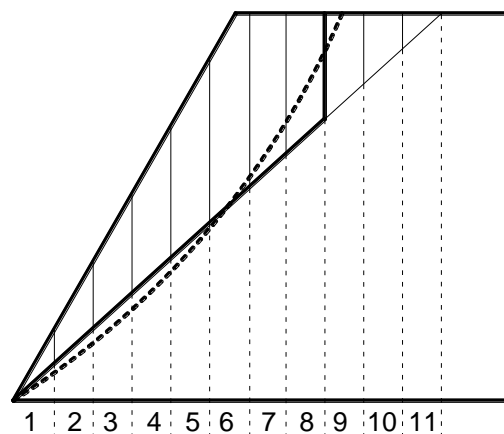


Рис. 1. Схема порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і плоскої поверхні ковзання (ППК) для насипу висотою 10 м і кутом закладання укосу 60°

Результати порівняння поверхонь ковзання за методом Янбу і отриманими за допомогою програми "Откос" у деяких випадках мають розбіжності як у визначенні положення поверхні ковзання, так і в отриманих коефіцієнтах стійкості. Наприклад, для насипу висотою 10 м і даних, які характеризують насип на рис. 1 коефіцієнт стійкості за методом Янбу становить 0,804, для аналогічних умов за програмою "Откос" коефіцієнт стійкості складає 1,0, а поверхня ковзання має зовсім інше розташування.

Слід зауважити, що аналіз отриманих поверхонь ковзання і коефіцієнтів стійкості укосу за програмою "Откос" дає неоднозначні результати, наприклад, при визначенні коефіцієнтів стійкості укосу, при однакових вихідних даних, для насипу висотою 10 м становить 1,0, а для насипу 5 м – 0,996, проте для насипу 3 м вже – 1,257. Теж стосується коли для однієї висоти насипу та інших вихідних умов змінювали кут внутрішнього тертя ґрунту насипу отримали: для

$\varphi = 16^\circ k_{cm} = 0,999$; $\varphi = 20^\circ k_{cm} = 1,0$; $\varphi = 25^\circ k_{cm} = 0,996$. Тому для подальшого аналізу і розрахунків приймали метод Янбу.

Результати порівняння за цим методом і методом плоских поверхонь ковзання наступні (рис. 2–4).

Аналіз результатів, що наведені на рис. 2–4 свідчить, у першому випадку про задовільну, а в інших випадках про високу кореляцію коефіцієнтів стійкості за методом Янбу і методом ППК для насипів із різних ґрунтів із закладанням укосів у діапазоні від 60° до 70° .

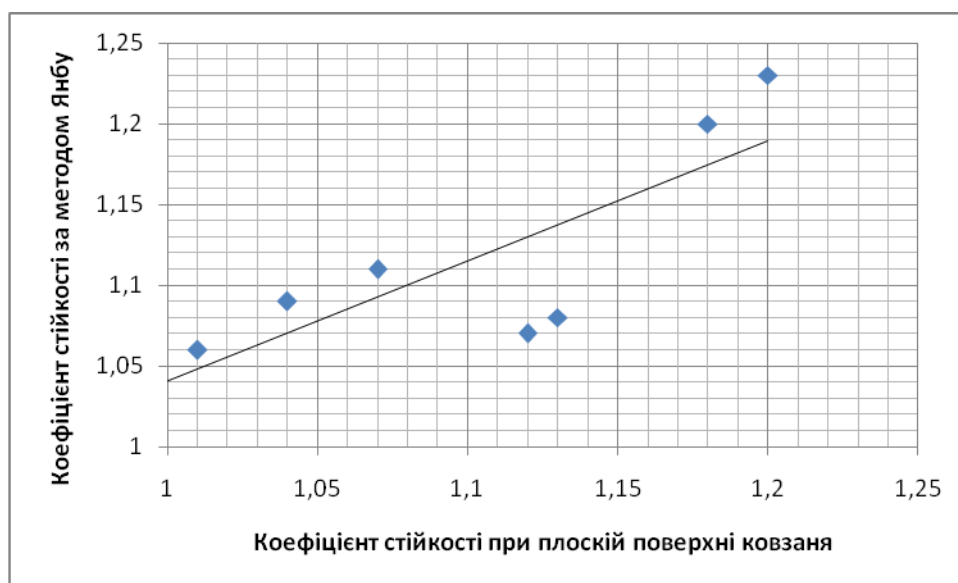


Рис. 2. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні кута закладання укосу насипу від 60° до 70° і зміні власної ваги ґрунту

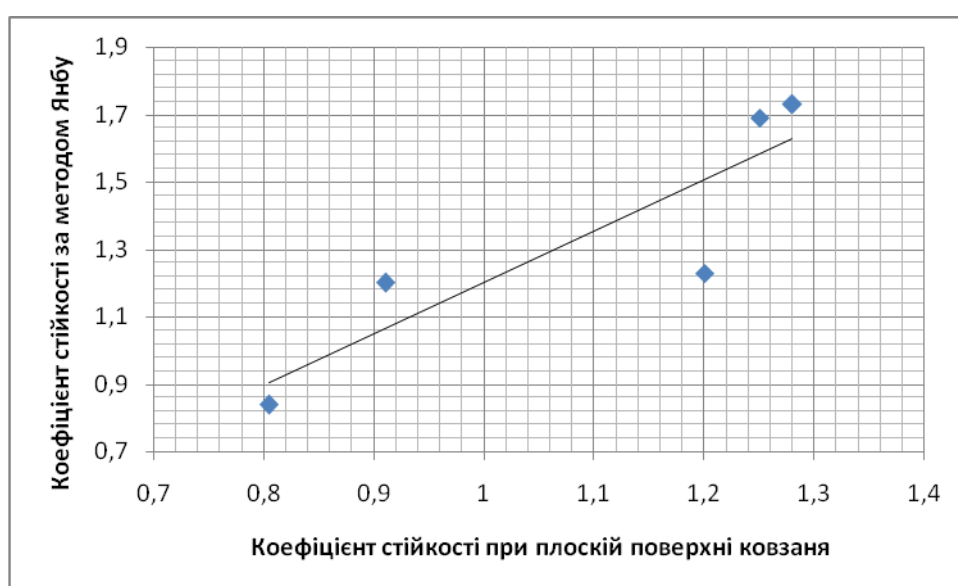


Рис. 3. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні висоти насипу від 3 м до 10 м

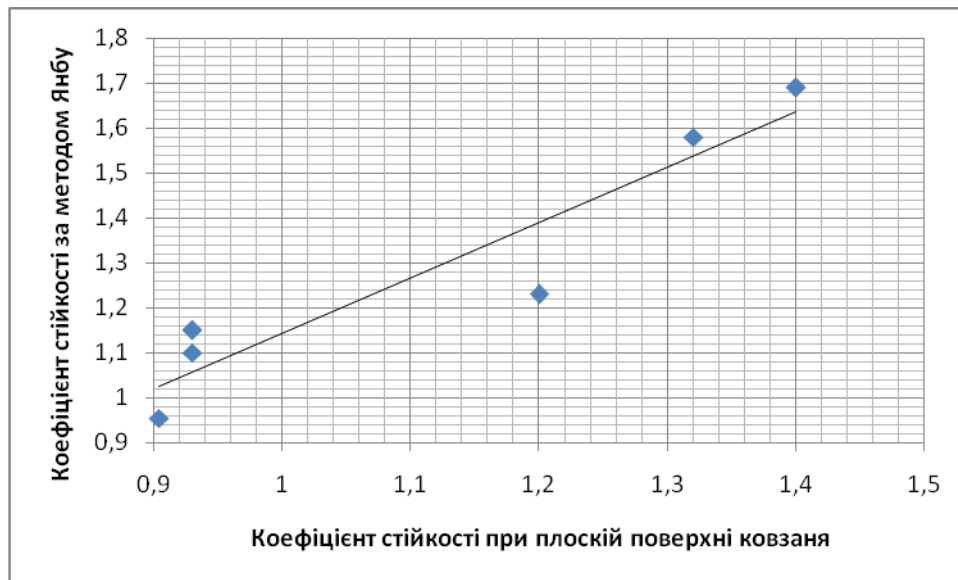


Рис. 4. Результати розрахунків коефіцієнта стійкості за методом Янбу і ППК при зміні кута внутрішнього тертя ґрунту від 16° до 35°

Висновки

На підставі розрахунків встановлено, що при збільшенні кута внутрішнього тертя ґрунту довжина круглої та плоскої поверхонь ковзання при куті закладання укосу від 60° до 70° , майже співпадає, різниця не перевищує 2 %. Ця ж тенденція спостерігається і для коефіцієнта стійкості при $c = 0$. Коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом стійкості отриманим за методом Янбу і методом ППК становить від 0,670 до 0,943.

Література

1. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – М.: НИИОСП им. Герсеванова Госстроя СССР, 1986. – 422 с.
2. BS 8006 Code of practice for strengthened/reinforced soil and other fills. – London: British Standards Institution, 1995. – 198 p.
3. Guide to reinforced fill structure and slope desing. – Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, 2002. – 238 p.
4. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3–4:2007. – К.: Держбуд України, 2008. – 91 с.
5. Фисенко Г.Л. Укрепление откосов в карьерах / Фисенко Г.Л., Ревазов М.А., Галустьян Э.Л. – М., Недра, 1974. – 208 с.