

УДК 625.723

Каськів В.І., канд. техн. наук, Каськів С.В.

## ПРО НЕОБХІДНІСТЬ УТОЧНЕННЯ МОДЕЛІ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКАХ СТІЙКОСТІ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Анотація.** Одним із питань, яке потребує уточнення при розрахунках стійкості укосів насипів автомобільних доріг, є модель і величина зовнішнього навантаження. Наведено розрахунки, які показують значну розбіжність у величинах активного стиску ґрунту на підпірну стінку при заміні нормативного зовнішнього навантаження НК-80 еквівалентним шаром ґрунту.

**Ключові слова:** автомобільна дорога; насип; укіс; зовнішнє навантаження; підпірна стінка; еквівалентний шар ґрунту.

**Аннотация.** Одним из вопросов, который требует уточнения при расчетах устойчивости откосов насыпей автомобильных дорог, является модель и величина внешней нагрузки. Приведены расчеты, которые показывают значительное различие в величинах активного сжатия ґрунта на подпорную стенку при замене нормативной внешней нагрузки НК-80 эквивалентным слоем ґрунта.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; насыпь; откос; внешняя нагрузка; подпорная стенка; эквивалентный слой ґрунта.

**Annotation.** One of the issues which require clarification in calculating the stability of slopes of embankments of roads, is the model and the external load. The calculations, which show a significant difference in the values of the active contraction of soil on a retaining wall by replacing the regulatory burden of external НК-80 equivalent to a layer of soil.

**Keywords:** road; embankment; slope; external load; retaining wall; equivalent to a layer of soil.

Найбільш вагомою складовою інфраструктури шляхів сполучення є автомобільні дороги.

Зростання інтенсивності руху та питомої ваги важких автомобілів у загальному транспортному потоці, а також зростання вантажонапруженості висувають все нові підвищені вимоги до стійкості і міцності дорожньої конструкції, в цілому, і до земляного полотна, зокрема.

Оцінку загальної стійкості земляного полотна виконують за першим граничним станом – несучою здатністю (за умов граничної рівноваги). Стійкість укосів перевіряють за можливими поверхнями зсуву (круглоциліндричними, ломаними тощо) із знаходженням самої небезпечної призми обвалення, що характеризується мінімальним відношенням узагальнених граничних реактивних сил опору до активних сил зсуву.

Оцінка стійкості укосів високих насипів включає вибір розрахункової схеми, метод розрахунку і методики визначення розрахункових параметрів. При цьому необхідно враховувати різноманіття форм прояву порушень як загальної, так і місцевої стійкості укосів.

Розрахунки стійкості укосів здійснюють для розрахункових поперечників при найбільш несприятливому поєднанні конструктивних чинників, таких, як висота і крутизна укосу (їх максимальні значення), з інженерно-геологічними (потужність і розташування слабких прошарків, похил шарів, наявність горизонтів ґрунтових вод або підтоплення тощо) при мінімальних значеннях розрахункових зсувних параметрів ґрунтів укосу і його основи, а також нормативного зовнішнього навантаження.

При розрахунку стійкості укосів насипів автомобільних доріг, складених однорідними ґрунтами, як правило, використовують розрахунки за круглоциліндричними поверхнями ковзання (метод К. Терцаги, метод Г.М. Шахунянца, з використанням графіка Янбу, розрахунок по напруженням тощо).

**Одним із питань, які потребують уточнення, при цих розрахунках є модель і величина зовнішнього навантаження.**

У ДБН В.2.3–4 [1] регламентовано: “При розрахунках стійкості насипів земляного полотна та підпірних стінок, що розташовані з підгірного боку насипу, треба враховувати максимально допустиму повну вагу автотранспортного засобу 44 т при відстані між його крайніми осями не менше ніж 10 м”. Проте норми на розрахунок підпірних стінок ВСН 167 [2] і СНиП 2.09.03 [3] вимагають при розрахунках використовувати навантаження АК від

автотранспортних засобів, від одиничного колісного навантаження НК і гусеничного навантаження НГ. Норми на розрахунок мостів ДБН В.1.2–15 [4] також передбачають розрахунок на навантаження АК та НК. Причому навантаження НК-80 і НК-100 відповідно має вагу 80 т і 100 т, на відміну від 44 т згідно з [1].

Слід також врахувати, що при розрахунках стійкості укосів насипів дію зосередженого зовнішнього навантаження замінюють дією еквівалентного шару ґрунту, а при розрахунку інженерних споруд ні, що суттєво може вплинути на кінцеві результати розрахунків.

### Приклад

Згідно з [2] при розрахунках підпірних стінок навантаження НК-80 приводять до навантаження, що рівномірно розподілене на суцільній смузі шириною 0,8 м.

Інтенсивність  $q$  нормативного навантаження в межах кожної смуги встановлюють в залежності від величини:

$$\bar{z} = xtg\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

де  $x$  – відстань між задньою площиною (фактичною або фіктивною) підпірної стінки і віссю смуги.

Значення  $q$  (т/м) для НК-80 розраховують за формулою:

$$q = \frac{50}{4,8 + z}. \quad (2)$$

Коефіцієнт надійності по навантаженню для рухомого тимчасового навантаження приймають  $n = 1,1$ .

Силу активного тиску ґрунту  $E$  на вертикальну площину стінки визначають як найбільше із значень  $E$ :

$$E_i = G_i \frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}, \quad (3)$$

де  $G_i$  – сума ваги  $G_{ep}$  можливої призми зсуву і рівнодіючого навантаження, що на ній розташоване (рис. 1);

$\theta_i$  – кут між можливою поверхнею руйнування і горизонтальною площиною.

Силу  $E$  розглядають як суму сил  $E_{ep}$  від ваги призми руйнування і сил  $E_q$  від кожного зовнішнього навантаження на цій призмі. Сили  $E_{ep}$  і  $E_q$  нахилені до горизонту під кутом  $\delta$ . Силу  $E_{ep}$  знаходять за формулою:

$$E_{ep} = G_{ep} \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta)}. \quad (4)$$

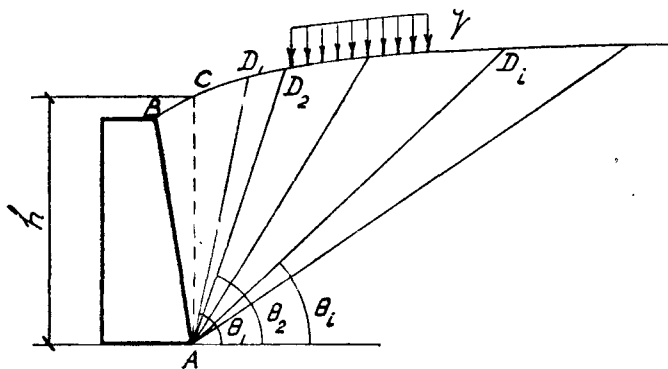


Рис. 1. Загальна схема підпірної стінки і навантаження, яке на неї діє

Силу  $E_q$  від навантаження  $q$ , яке діє по ширині  $a$ , розраховують за формулою:

$$E_q = qa \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta)}. \quad (5)$$

**Приклад розрахунку підпірної стінки** (наведено тільки сили, що діють на стінку) згідно з [2].

Вихідні дані:

- 1) бетонна підпірна стінка з геометричними розмірами, наведеними на рис. 2;
- 2) кут внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_n = 35^\circ$ ;
- 3) розрахунковий кут тертя ґрунту по боковій поверхні підпірної

$$\text{стінки } \delta = \frac{\varphi}{2} = \frac{35^\circ}{2} = 17^\circ 30';$$

- 4) питома вага ґрунту  $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$ ;

- 5) коефіцієнт надійності при визначенні ваги призми руйнування 1,2;

б) зовнішнє навантаження НК-80.

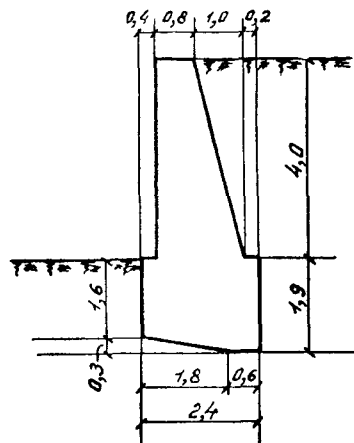


Рис. 2. Основні геометричні параметри підпірної стінки

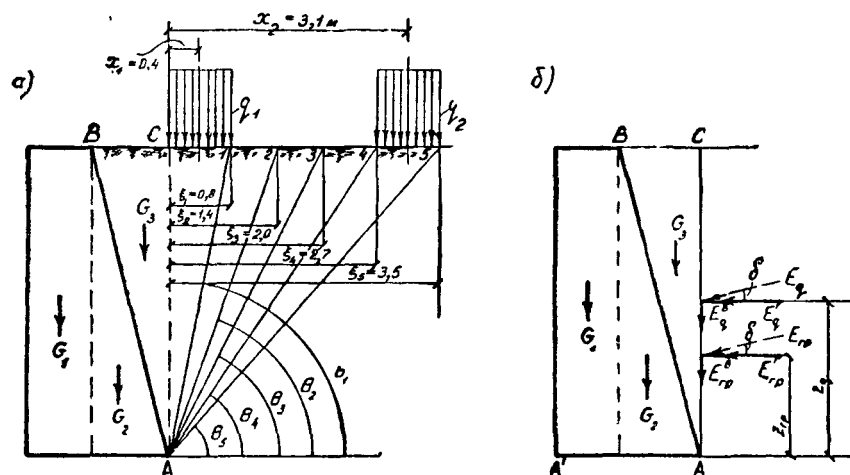


Рис. 3. Розрахункова схема

Активний тиск ґрунту визначають на фіктивну вертикальну площину стінки АС, а вагу ґрунту в призмі АВС враховують як вагу стінки. Рухоме навантаження розташовують безпосередньо за фіктивною площиною АС.

За формулою (1) розраховують значення  $\bar{z}$ , яке відповідає першій і другій сугам навантаження:

$$\bar{z}_1 = 0,4 \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{35^\circ}{2} \right) = 0,77 \text{ м};$$

$$\bar{z}_2 = 3,1 \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{35^\circ}{2} \right) = 5,9 \text{ м}.$$

За формулою (2) інтенсивність нормативного навантаження для першої і другої смуги складе:

$$q_1 = \frac{50}{4,8 + 0,77} = 9,0 \text{ т/м};$$

$$q_2 = \frac{50}{4,8 + 5,9} = 4,7 \text{ т/м};$$

З врахуванням коефіцієнта надійності по навантаженню:

$$q_{1p} = 1,1 \cdot 9,0 = 9,9 \text{ т/м};$$

$$q_{2p} = 1,1 \cdot 4,7 = 5,2 \text{ т/м}.$$

Розрахунки зведено в табл. 1.

Таблиця 1

$h$ , м	$i$	$\varepsilon_i$ , м	$tg \theta_i =$ $= \frac{h_i}{\varepsilon_i}$	$\theta_i$	$\frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$	$G_{Гри} = 1,2 \gamma \xi_i h$ /2, т/м	$q_{1p}$ а, т/м	$G_i$ , т/м	$E_i =$ $= \frac{G_i \sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$ , т/м
4	1	0,8	5,00	78°40	0,770	3,45	7,9	11,35	8,75
	2	1,4	2,85	70°40	0,614	6,05	7,9	13,95	8,55
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Замінімо навантаження НК-80 еквівалентним шаром ґрунту і знайдемо тиск ґрунту на підпірну стінку.

Розрахуємо товщину еквівалентного шару ґрунту за двома методиками.

1. Згідно з [5].

НК-80 має навантаження 20 тс (196 кН) на вісь (10 тс на колесо), при ширині ската 0,8 м питомий тиск по площі контакту складе  $10/0,8=12,5$  тс/м, при відстані між колесами 2,7 м товщина еквівалентного шару ґрунту складе:

$$H = \frac{12,5 \cdot 2}{(2,7 + 0,8) \cdot 1,8} = 3,97 \text{ м}.$$

2. За допомогою програми Откос програмного комплексу CREDO.

Для ґрунту з питомою вагою  $1,8 \text{ т/м}^3$  та навантаження НК-80 товщина еквівалентного шару ґрунту за розрахунками складе 1,63 м.

Тобто за різними методиками товщина еквівалентного шару ґрунту відрізняється більше ніж у 2 рази, що вказує на необхідність уточнення або розробки нової моделі задання зовнішнього нормативного навантаження.

Результати розрахунку тиску ґрунту на підпірну стінку з врахуванням еквівалентного шару ґрунту наведені у табл. 2.

Таблиця 2

$h$ , м	$i$	$\varepsilon_i$ , м	$tg \theta_i = \frac{h_i}{\varepsilon_i}$	$\theta_i$	$\frac{\sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$	$G_{гpi} = 1,2\gamma \xi_i \frac{h}{2}$ , т/м	$q_{1p} a$ , т/м	$G_i$ , т/м	$E_i = \frac{G_i \sin(\theta_i - \varphi)}{\cos(\varphi + \delta - \theta_i)}$ , т/м
Еквівалентний шар ґрунту за розрахунками згідно з []									
7,9	1	0,8	5,00	78°40'	0,770	6,89	-	6,89	5,31
7	2	1,4	2,85	70°40'	0,614	12,05	-	12,05	7,40
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Еквівалентний шар ґрунту за розрахунками за допомогою програми Откос									
5,6	1	0,8	5,00	78°40'	0,770	4,86	-	4,86	3,74
3	2	1,4	2,85	70°40'	0,614	5,24	-	5,24	3,22
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

### Висновок

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що за різними методиками величина товщини еквівалентного шару ґрунту при заміні зовнішнього навантаження відрізняється майже у 2 рази. Активний тиск ґрунту на підпірну стінку при безпосередньому врахуванні зовнішнього навантаження НК-80 і при його заміні еквівалентним шаром ґрунту знизився з 8,75 т/м до 5,31 т/т і 3,74 т/м тобто на 40 % і 57 %.

Така розбіжність у розрахунках може бути причиною руйнування споруд в період експлуатації, а також потребує розроблення нової моделі задання зовнішнього навантаження при розрахунках інженерних споруд на автомобільних дорогах і зокрема стійкості укосів насипів.

### Література

1. ДБН В.2.3–4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. ВСН 167–70. Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства. – М.: Минтрансстрой, 1970. – 30 с.
3. СНиП 2.09.03–85. Сооружения промышленных предприятий. – М.: Госстрой СССР. – 102 с.
4. ДБН В.1.2–15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
5. Справочник сельского дорожника. / Заворицкий В.И. и др. / Под ред. В.И.Заворицкого. – К: Урожай, 1991. – 368 с.