



УДК 625.723

- © В.І. Каськів, канд. техн. наук., доцент,
- © С.В. Каськів, асистент,
- © І.О. Карпенко (НТУ)

МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКАХ КОЕФІЦІЄНТА СТІЙКОСТІ УКОСУ НАСИПУ АНАЛІТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Анотація. Виконані розрахунки величини коефіцієнта стійкості укосу насипу в залежності від виду ґрунту насипу і схеми зовнішнього навантаження за допомогою метода круглоциліндричних поверхонь ковзання. Встановлено, що традиційна схема заміни навантаження еквівалентним шаром ґрунту не дає найменший коефіцієнт стійкості укосу.

Ключові слова: автомобільна дорога, насип, укіс, коефіцієнт стійкості укосу, зовнішнє навантаження, метод круглоциліндричних поверхонь ковзання.

Аннотация. Выполнены расчеты величины коэффициента устойчивости откоса насыпи в зависимости от вида ґрунта насыпи и схемы внешней нагрузки с помощью метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Установлено, что традиционная схема замены нагрузки эквивалентным слоем ґрунта не дает наименьший коэффициент устойчивости откоса.

Ключевые слова: автомобильная дорога, насыпь, откос, коэффициент устойчивости откоса, внешняя нагрузка, метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Annotation. Calculations of coefficient stability of the embankment slope, depending on the type of soil mounds and external load circuit by the method roundcylindrical sliding surfaces. Found that replacing traditional circuit load equivalent to a layer of soil does not give the smallest factor of stability of a slope.

Key words: road, embankment, slope, slope stability factor, an external load, method roundcylindrical sliding surfaces.

Згідно з вимогами норм [1] для насипів висотою 12 м і вище та з індивідуальними рішеннями конструкції земляного полотна необхідно перевіряти стійкість їх укосів. У статті [2] були підняті питання, одне з яких стосувалось зовнішнього навантаження, що прикладають при розрахунках стійкості укосів насипів. Зокрема було зауважено, що одним із слабких місць у сучасних розрахунках стійкості укосів насипу, є заміна дії зосередженого зовнішнього навантаження дією еквівалентного шару ґрунту, причому [1] рекомендує враховувати максимально допустиму повну вагу автотранспортного засобу 44 т, а [3] – 80 т і 100 т.

У розвиток цих питань було виконано роботу, метою якої було дослідити стійкість укосів високих насипів залежно від виду ґрунту насипу і схеми зовнішнього навантаження. Акцент було зроблено на схемі зовнішнього навантаження, вид ґрунту і його фізичний стан (консистенція), для суглинистих ґрунтів, розглядали із ціллю відслідкувати характер і закономірність зміни коефіцієнта стійкості.

Розрахунки виконували з використанням аналітичних (метод круглоциліндричних поверхонь ковзання, метод Янбу, метод Маслова тощо) і числових (метод скінченних елементів) методів.

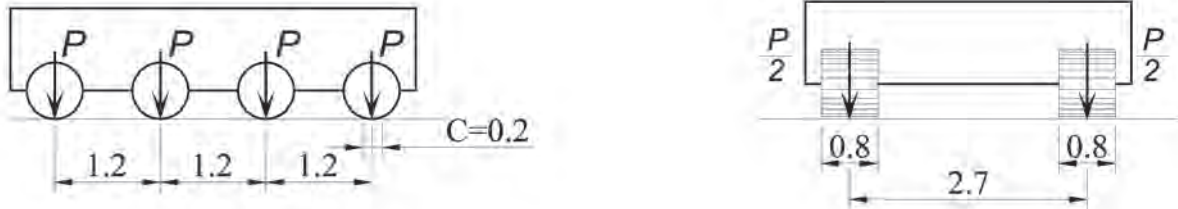


Рис. 1. Схема одиночного навантаженням НК

У статті наведені деякі результати розрахунків коефіцієнта стійкості укосу насипу за допомогою методу круглоциліндричних поверхонь ковзання.

Для розрахунків приймали насипи висотою від 10 м до 14 м. У цій статті наведені результати для насипу 14 м із закладанням укосів: в нижній частині насипу від 0 м до 2 м – 1:2, від 2 м до 6 м – 1:1,75, від 6 м до 12 м – 1:1,5. Як ґрунт насипу приймали: пісок (дрібнозернистий та крупнозернистий); супісок; суглинок (у тугопластичному, напівтвердому і твердому станах).

У якості зовнішнього рухомого навантаження, згідно з рекомендаціями нормативних документів [3], до розрахунків приймали колісне чотиривісне зосереджене навантаження НК-100 та НК-80, яке більше ніж у 2 рази перевищує рекомендоване навантаження у [1].

Одиночне навантаженням НК – це чотиривісний колісний екіпаж (рис. 1):

- НК-100 з навантаженням на вісь $P = 245$ кН (25 тс);
- НК-80 з навантаженням на вісь $P = 196$ кН (20 тс).

Тип навантаження НК приймають в залежності від технічної класифікації автомобільних доріг і вулиць:

НК-100 – на автомобільних дорогах I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, а також на мостах завдовжки понад 200 м на дорогах IV і V категорій;

НК-80 – на всіх інших автомобільних дорогах та вулицях населених пунктів.

Раніше, для аналітичних розрахунків стійкості укосів насипів використовували в якості зовнішнього навантаження еквівалентний шар ґрунту від навантажень НГ-60 або НК-80. Програмні комплекси, які базуються на цих методах, також використовують аналогічну модель зовнішнього навантаження і не дозволяють її змінювати, наприклад як зосереджене навантаження.

Нами до розрахунків були прийняті наступні схеми зовнішнього навантаження:

- а) навантаження НК-80 у формі еквівалентного шару ґрунту по всій ширині насипу;
- б) навантаження НК-100 у формі еквівалентного шару ґрунту по всій ширині насипу (рис. 2);

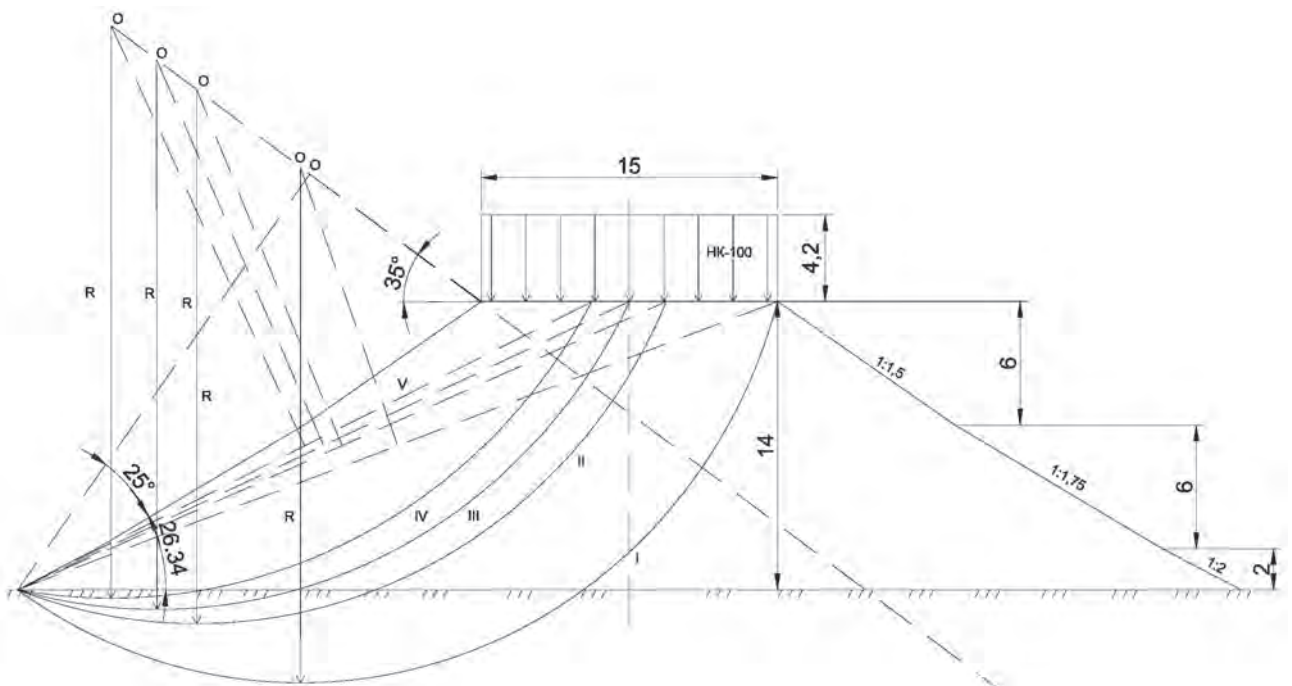


Рис. 2. Розрахункова схема із зовнішнім навантаженням у вигляді еквівалентного шару ґрунту

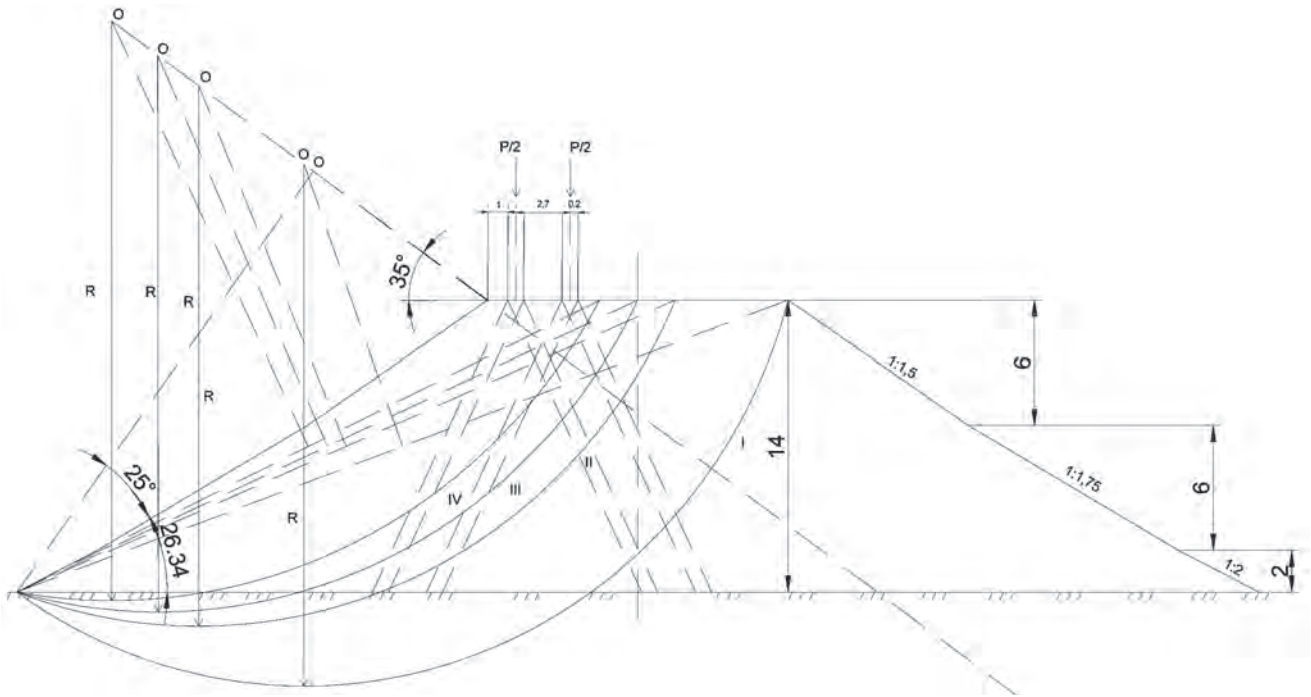


Рис. 3. Розрахункова схема із зовнішнім навантаженням у вигляді тиску від дії коліс, що розподілений по ширині колеса з урахуванням його поширення в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$

в) навантаження НК-80 на відстані 1,0 м від краю колеса до брівки земляного полотна (зупинка на узбіччі) з розподілом тиску від дії коліс:

- як зосереджених сил;
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі 90° (як варіант);
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$;

г) навантаження НК-100 на відстані 1,0 м від краю колеса до брівки земляного полотна з розподілом тиску від дії коліс:

- як зосереджених сил;
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі 90° (як варіант);
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$ (рис. 3);

д) навантаження НК-80 на відстані 3,75 м від краю колеса до брівки земляного полотна (рух по крайній сузі) з розподілом тиску від дії коліс:

- як зосереджених сил;
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі 90° (як варіант);
- по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$;

е) навантаження НК-100 на відстані 3,75 м від краю колеса до брівки земляного полотна з розподілом тиску від дії коліс:

- як зосереджених сил;

• по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі 90° (як варіант);

• по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$.

Для знаходження тиску від дії коліс як зосереджених сил використовували загальновідомі залежності, що отримані Буссінеском, які, наприклад, наведені у [4].

Для знаходження тиску, що розподілений по ширині колеса, від дії коліс НК-80 (НК-100), використовували наступну схему (рис. 4). Розподілене навантаження представляли як суму великої кількості зосереджених навантажень $qd\xi$. Для цього випадку низкою авторів отримані аналітичні залежності. У роботі була використана залежність для вертикального напруження, що отримана М.О. Цитовичем [4]:

$$\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \int_{-a}^{+a} \frac{(x-\xi)^2 z^2}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} d\xi \quad (1)$$

Розв'язок інтеграла (2.12) має вигляд:

$$\sigma_z = \frac{2qz}{\pi} \left[\frac{a}{a^2 + z^2} + \frac{1}{z} \arctg \left(\frac{a}{z} \right) \right], \quad (2)$$

де a – половина ширини площадки навантаження від дії НК-80 (НК-100), тобто 0,4 м.

Результати розрахунку від навантаження НК-100 у вигляді еквівалентного шару ґрунту по всій ширині насипу для піску наведені у табл. 1.

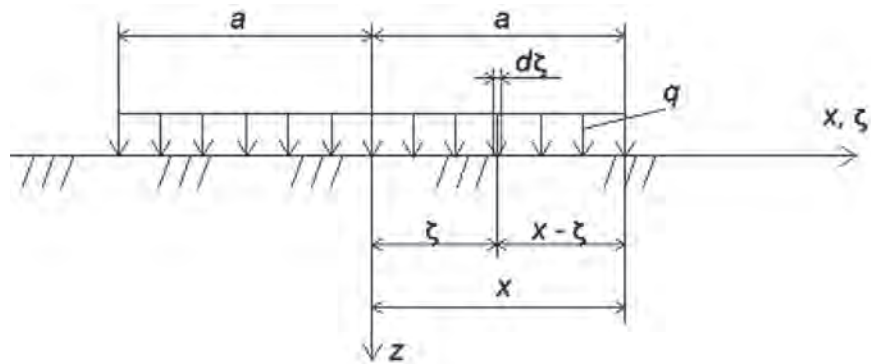


Рис. 4. Схема для розрахунку дії зовнішнього навантаження

Таблиця 1

Результати розрахунку зусиль від навантаження НК-100 у вигляді еквівалентного шару ґрунту

№ блока	$\sin \delta$	δ	$\cos \delta$	Ω	Q	N	T	L	
Крива I									
1	0,86	59°19'	0,51	51,47	103,98	53,03	89,42	47,80	
2	0,66	41°18'	0,75	94,35	190,60	142,95	125,79		
3	0,46	27°23'	0,89	116,91	236,15	210,17	108,63		
4	0,26	15°04'	0,97	97,60	197,16	191,25	51,26		
5	0,06	3°26'	1,00	82,50	166,65	166,65	10,00		
6	-0,14	-8°03'	0,99	63,14	127,55	126,27	-17,86		
7	-0,34	-19°52'	0,84	39,45	79,68	66,93	-27,09		
8	-0,51	-33°39'	0,93	9,14	18,46	17,16	-9,41		
Σ						974,42	330,74		
Крива II									
1	0,83	56°06'	0,56	33,74	68,16	38,17	56,58	42,00	
2	0,61	37°35'	0,75	71,33	144,08	108,06	87,89		
3	0,53	32°	0,85	82,75	167,16	142,09	88,60		
4	0,24	13°53'	0,97	56,90	114,93	111,48	27,58		
5	-0,05	-2°52'	1,00	38,63	78,04	78,04	-3,90		
6	-0,22	-12°42'	0,98	24,24	48,96	47,98	-10,77		
7	-0,41	-24°12'	0,91	6,67	13,48	12,27	-5,53		
Σ						538,09	240,45		
Крива III									
1	0,81	54°05'	0,59	38,13	77,02	45,44	62,39	36,40	
2	0,63	39°03'	0,78	87,50	176,75	137,86	111,35		
3	0,43	25°28'	0,90	58,33	117,83	106,05	50,67		
4	0,25	14°29'	0,97	51,12	103,25	100,16	25,81		
5	0,06	3°26'	1,00	29,35	59,29	59,29	3,56		
6	-0,13	-7°28'	0,99	15,64	31,58	31,27	-4,11		
Σ						480,06	249,67		
Крива IV									
1	0,76	48°35'	0,66	35,15	71,00	46,86	53,96	32,00	
2	0,61	37°35'	0,79	33,07	66,81	52,78	40,75		
3	0,44	26°06'	0,90	31,51	63,66	57,29	28,01		
4	0,25	14°11'	0,97	25,01	50,53	49,01	12,38		
5	0,07	4°01'	1,00	13,47	27,21	27,21	1,90		
Σ						233,16	137,01		



Результати розрахунку від навантаження НК-100 на відстані 1,0 м від краю колеса до брівки земляного полотна при розподілі тиску від дії коліс, що

розподілений по ширині колеса з урахуванням поширення тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$ (ґрунт – пісок) наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку зусиль від навантаження НК-100 у вигляді тиску від дії коліс, що розподілений по ширині колеса з урахуванням його поширення в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$

№ блока	$\sin \delta$	δ	$\cos \delta$	Ω	Q	N	T	L
Крива I								
1	0,86	59°19'	0,51	53,07	103,49	52,78	89,00	47,80
2	0,66	41°18'	0,75	55,00	169,43	127,07	111,83	
3	0,46	27°23'	0,89	72,21	217,32	193,42	99,97	
4	0,26	15°04'	0,97	75,20	223,12	216,43	58,01	
5	0,06	3°26'	1,00	63,70	150,58	150,58	9,03	
6	-0,14	-8°03'	0,99	65,10	126,95	125,68	-17,77	
7	-0,34	-19°52'	0,84	40,67	79,31	66,62	-26,96	
8	-0,51	-33°39'	0,93	9,42	18,37	17,08	-9,37	
Σ						949,66	313,73	
Крива II								
1	0,83	56°06'	0,56	20,35	50,23	28,13	41,69	42,00
2	0,61	37°35'	0,75	47,98	169,95	127,46	103,67	
3	0,53	32°	0,85	53,06	165,61	140,77	87,77	
4	0,24	13°53'	0,97	49,67	114,94	111,49	27,58	
5	-0,05	-2°52'	1,00	59,83	116,67	116,67	-5,83	
6	-0,22	-12°42'	0,98	37,63	73,38	71,91	-16,14	
7	-0,41	-24°12'	0,91	12,15	23,69	21,56	-9,71	
Σ						617,99	229,03	
Крива III								
1	0,81	54°05'	0,59	17,49	73,36	43,28	59,42	36,40
2	0,63	39°03'	0,78	42,94	153,99	120,11	97,01	
3	0,43	25°28'	0,90	39,98	95,36	85,83	41,01	
4	0,25	14°29'	0,97	52,70	102,77	99,68	25,69	
5	0,06	3°26'	1,00	30,26	59,01	59,01	3,54	
6	-0,13	-7°28'	0,99	16,12	31,43	31,12	-4,09	
Σ						439,03	222,59	
Крива IV								
1	0,76	48°35'	0,66	39,18	108,35	71,51	82,35	32,00
2	0,61	37°35'	0,79	34,10	66,50	52,53	40,56	
3	0,44	26°06'	0,90	32,49	63,36	57,02	27,88	
4	0,25	14°11'	0,97	25,79	50,29	48,78	12,32	
5	0,07	4°01'	1,00	13,89	27,09	27,09	1,90	
Σ						256,93	165,00	

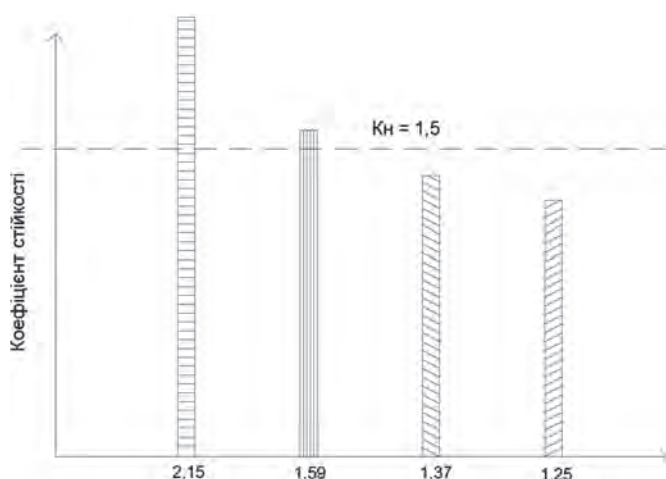


Рис. 5. Результати розрахунку коефіцієнта стійкості укосу насипу від навантаження НК-100 у вигляді еквівалентного шару ґрунту

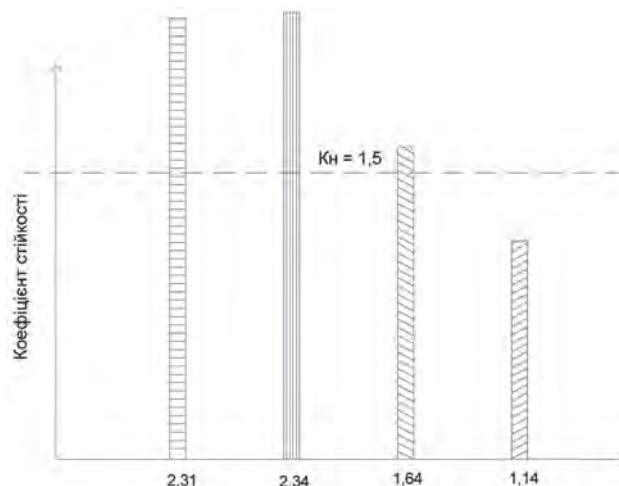


Рис. 6. Результати розрахунку коефіцієнта стійкості укосу насипу від навантаження НК-100 у вигляді тиску від дії коліс, що розподілений по ширині колеса з урахуванням його поширення в ґрунті під кутом до вертикалі 90°

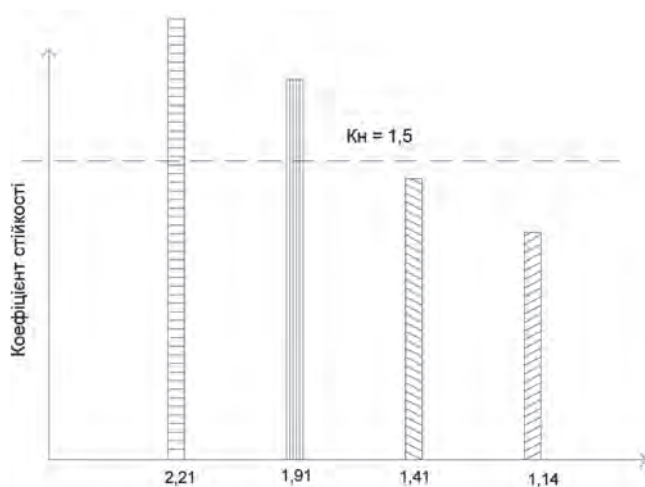


Рис. 7. Результати розрахунку коефіцієнта стійкості укосу насипу від навантаження НК-100 у вигляді тиску від дії коліс, що розподілений по ширині колеса з урахуванням його поширення в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$

Результати розрахунку коефіцієнта стійкості укосу насипу для піску і різних схем зовнішнього навантаження наведені на рис. 5–7.

Висновки

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що традиційна схема розрахунку (із заміною зовнішнього навантаження еквівалентним шаром ґрунту) для різних видів ґрунту не дає найменший коефіцієнт стійкості укосу порівняно із зосередженим зовнішнім навантаженням, проте не для всіх кривих ковзання.

Найменший коефіцієнт стійкості укосу насипу отримано для зовнішнього навантаження НК-100 з розподілом тиску від дії коліс по ширині колеса

з урахуванням поширення цього тиску в ґрунті під кутом до вертикалі $\arctg \frac{1}{2}$.

Встановлено, що розбіжність в результатах отриманого найменшого коефіцієнта стійкості укосу насипу коливається в межах від 5 % до 15 % залежно від виду ґрунту для різних розрахункових схем, це дає право стверджувати, що для аналітичних методів розрахунку стійкості укосів насипу є правомірним заміна зовнішнього навантаження еквівалентним шаром ґрунту, яку використовують на сучасному етапі проектування. Проте при числовому моделюванні отримані результати значно відрізняються між цими схемами навантаження, що потребує подальшого дослідження піднятого питання.

Отримані результати для різних видів ґрунту також підтверджують тезу, що для спорудження насипів найбільш придатними є пісок крупний і супіщані та суглинні ґрунти у твердому стані [5].

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. Каськів В.І., Каськів С.В. До питання нормування коефіцієнта стійкості укосу насипу // Автошляховик України. – 2011. – № 4. – С. 28–32.
3. ДБН В.1.2–15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
4. Цытович Н.А. Механика ґрунтів / Цытович Н.А. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.
5. Литвиненко А.С. Про фізичний зміст необхідної і достатньої величини густини сухого ґрунту зв'язних ґрунтів при спорудженні земляного полотна автомобільних доріг // Автошляховик України. – 2011. – № 4. – С. 21–27. ✓