



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра будівельних, дорожніх, меліоративних,  
сільськогосподарських машин і обладнання

**02-01-442**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни “Теорія руйнування робочих  
середовищ” для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за спеціальністю 133 «Галузеве  
машинобудування» спеціалізації «Підйомно-транспортні,  
дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання»  
всіх форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною комісією  
зі спеціальності  
133 «Галузеве  
машинобудування»  
Протокол № 2 від 02.10.2018 р.

Рівне – 2018



Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни “Теорія руйнування робочих середовищ” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» всіх форм навчання / Кравець С. В., Нечидюк А. А. – Рівне : НУВГП, 2018. – 10 с.

**Укладачі:** С. В. Кравець, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання; А. А. Нечидюк, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

Відповідальний за випуск – С. В.Кравець, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

© С. В. Кравець,  
А. А. Нечидюк, 2018  
© НУВГП, 2018





Дані для розрахунків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Варіанти завдань

Варіанти	Ґрунт	Ширина різання $b$ , м	Значення коефіцієнта $k_1$ для відповідних $\alpha_p$
1	2	3	4
1	Суглинок твердий	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,15$
2		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,32$
3		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,54$
4		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=1,82$
5		0,30	$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=2,15$
6	Глина напівтверда	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,11$
7		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,23$
8		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,40$
9		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=1,54$
10		0,30	$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=1,68$
11	Глина тверда	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,13$
12		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,27$
13		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,46$
14		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=1,65$
15		0,30	$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=1,82$
16	Суглинок напівтвердий	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,13$
17		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,28$
18		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,48$
19		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=1,71$
20		0,30	$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=1,90$
21	Глина тугопластична	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,09$
22		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,19$
23		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,32$
24		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=1,44$
25		0,30	



			$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=1,56$
--	--	--	----------------------------------

продовження табл. 1

1	2	3	4
26	Твердий супісок	0,1	$\alpha_p=20^\circ$ , $k_1=1,19$
27		0,15	$\alpha_p=30^\circ$ , $k_1=1,37$
28		0,20	$\alpha_p=40^\circ$ , $k_1=1,67$
29		0,25	$\alpha_p=50^\circ$ , $k_1=2,05$
30		0,30	$\alpha_p=60^\circ$ , $k_1=2,34$

### Послідовність виконання роботи

1. Вибрати числові значення фізико-механічних показників ґрунту (табл. 2).
2. Визначити точні значення відносної глибини сколювання для ножа з плоскою ріжучою гранню.
3. Визначити коефіцієнти апроксимації.
4. Визначити похибку апроксимації.

Таблиця 2

### Характеристики талих ґрунтів

Тип ґрунту	Коефіцієнт консистенції, $B_k$	Коефіцієнт зчеплення, $c$ , МПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi$ , град.	Кут зовнішнього тертя, $\varphi$ , град.	Питома вага ґрунту у природному стані, $\gamma_{sp}$ , МН/м <sup>3</sup>
Супісок твердий	$B_k < 0$	0,02	28	25	0,0205
Суглинок напівтвердий	$0 < B_k < 0,25$	0,04	23	21	0,021
Глина тугопластична	$0,25 < B_k < 0,5$	0,04	18	22	0,0205
Суглинок твердий	$B_k < 0$	0,06	25	21	0,0215



Глина напівтверда	$0 < B_k < 0,25$	0,06	20	22	0,021
Глина тверда	$B_k < 0$	0,1	22	22	0,022

*Методика розрахунку*

1. Для заданого типу ґрунту та його консистенції з табл. 2 вибирають числові значення:

- коефіцієнта зчеплення  $c$ , МПа;  
кута внутрішнього тертя  $\varphi_0$ , град.;  
кута зовнішнього тертя  $\varphi$ , град.;  
питому вагу ґрунту  $\gamma_{sp}$ , МН/м<sup>3</sup>.

2. Визначають мінімальний і максимальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа:

$$q_0 = c \cdot (k_1 - 1) ctg \varphi_0, \text{ МПа} \quad (1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, який залежить від кута різання та типу ґрунту (див. табл. 1).

$$q_{\varepsilon\delta} = \gamma_{\varepsilon\delta} \left( h_c + \frac{\bar{n}}{\gamma_{\varepsilon\delta} g \varphi_0} \right) tg^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right), \text{ МПа}, \quad (2)$$

де  $h_3$  – величина заглиблення ножа ( $h_3 \approx 3b_c$ ), м.

3. Визначають кут нахилу бокових площин зсуву тіла випору до горизонту (див. рис. 1, б):

$$\gamma = 45^\circ + \frac{\varphi_0}{2}, \text{ град.} \quad (3)$$

4. Визначити відносну глибину сколювання для ножа з плоскою ріжучою гранню ( $2\beta = \pi$ , де  $2\beta$  – кут загострення ножа) для верхнього ярусу різання:

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{\left( q_0 + \frac{q_{\varepsilon\delta} - q_0}{2} k_{r\varepsilon\delta} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \psi + \varphi + \varphi_0)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{(ctg \alpha_p + ctg \psi) c \left( \frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right)}, \quad (4)$$

в залежності від кута сколювання ґрунту ( $\psi = 30 \dots 60^\circ$ ) для різних кутів різання ( $\alpha_p = 20 \dots 50^\circ$ ).



У формулі (4):  $h_c$  – глибина сколювання ґрунту, м;  $b_c$  – ширина різання, м;  $q_{кр}$  – максимальний нормальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа, МПа;  $k_{нер}$  – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту  $h_c$  до критичної глибини різання  $h_{кр}$  ( $k_{нер}=0,9\dots0,95$ );  $h_{кр}=h_c k_{нер}$ ;  $\alpha_p$  – кут різання, град.;  $\psi$  – кут сколювання ґрунту, град.;  $\rho$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$  – кути, які утворюються боковою площиною сколювання з вертикальною площиною (див. рис. 1).

$$\cos \rho = \sqrt{1 - \left( \frac{ctg \gamma}{ctg \alpha_p + ctg \psi} \right)^2}; \quad (5)$$

$$\cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{ctg \alpha_p ctg \gamma}{ctg \alpha_p + ctg \psi} \right)^2}}; \quad (6)$$

$$\cos \delta = 1 - 2 \cdot (ctg \alpha_p + ctg \psi)^2 \sin^2 \psi \sin^2 \left( \frac{\rho}{2} \right). \quad (7)$$

5. Побудувати криві залежності відносної глибини сколювання ґрунту від кута сколювання ( $\psi$ ) для різних кутів різання ножа (рис. 2).

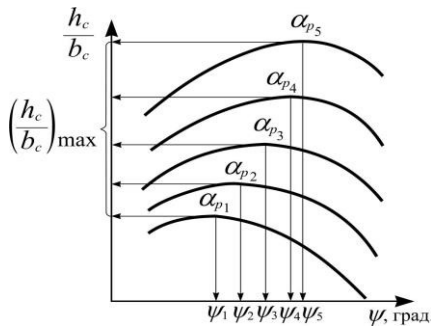


Рис. 2. Залежність  $h_c/b_c=f(\psi)$ :



6. За побудованими кривими визначити максимальну відносну глибину сколювання ( $h_c/b_c$ ) і відповідний їй кут сколювання ґрунту для кожного кута різання ножа та побудувати залежність  $(h_c/b_c)_{\max} = f(\alpha_p)$  (рис. 3).

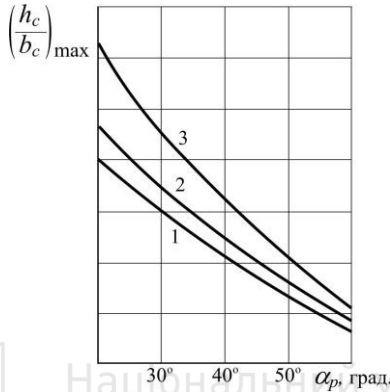


Рис. 3. Залежність відносної глибини сколювання ґрунтів від кута різання ножа у верхньому ярусі: 1 – тугопластична і напівтверда глина; 2 – твердий і напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок

7. Провести лінеаризацію функції  $(h_c/b_c)_{\max} = f(\alpha_p)$  в координатах  $\ln(\operatorname{tg} \alpha_p)$  і  $\ln(h_c/b_c)$  (рис. 4). Рівняння прямої в логарифмічних координатах має вигляд:

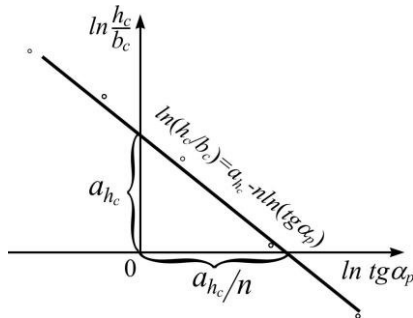


Рис. 4. Залежність відносної глибини сколювання ґрунту від тангенса кута різання ножа в логарифмічних координатах





$$\ln \frac{h_c}{b_c} = a_{h_c} - n \ln (tg \alpha_p). \quad (8)$$

Провівши потенціювання залежності (8), отримаємо:

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{e^{a_{h_c}}}{(tg \alpha_p)^n} = \frac{a}{(tg \alpha_p)^n}, \quad (9)$$

де  $a$ ,  $n$  – коефіцієнти апроксимації, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту.

8. Визначити за методом найменших квадратів коефіцієнти апроксимації  $a$ ,  $n$  та похибку апроксимації:

$$a = e^{a_{h_c}}; n = -k_{h_c}. \quad (10)$$

Розрахунки зручно провести в табличній формі (табл. 3).

Таблиця 3

$\alpha_p$	$tg \alpha_p$	$\ln(tg \alpha_p)$	$\ln(h_c/b_c)$	$(\ln tg \alpha_p)^2$	$\ln(tg \alpha_p) \ln(h_c/b_c)$	$(h_c/b_c)_{анп}$	$\Pi_{анп}$
20°	0,3639	-1,011		1,021			
30°	0,5774	-0,549		0,301			
40°	0,8391	-0,175		0,031			
50°	1,1918	0,175		0,031			
$\Sigma$	2,9722	-1,560		1,384			

$$a_{h_c} = \frac{\sum \ln \frac{h_c}{b_c} \sum (\ln tg \alpha_p)^2 - \sum \ln (tg \alpha_p) \sum \left( \ln tg \alpha_p \cdot \ln \frac{h_c}{b_c} \right)}{N \sum (\ln tg \alpha_p)^2 \left( \sum \ln tg \alpha_p \right)^2}, \quad (11)$$

де  $N$  – кількість розрахункових точок ( $N=4$ )



$$k_{h_c} = \frac{N \sum \left( \ln(tg \alpha_p) \cdot \ln \frac{h_c}{b_c} \right) - \sum \ln(tg \alpha_p) \sum \ln \frac{h_c}{b_c}}{N \sum (\ln tg \alpha_p)^2 - (\sum \ln tg \alpha_p)^2}, \quad (12)$$

Похибка апроксимації визначається за формулою:

$$\checkmark_{\check{a}i\check{\delta}} = \frac{\left( \frac{h_c}{b_c} \right)_{\check{a}i\check{\delta}} - \frac{h_c}{b_c}}{\frac{h_c}{b_c}} \cdot 100, \%, \quad (13)$$

де

$$\left( \frac{h_c}{b_c} \right)_{\check{a}i\check{\delta}} = \frac{\check{a}}{(tg \alpha_p)^n}. \quad (14)$$

9. Критична глибина різання для практичних розрахунків з достатньою точністю визначається за формулою:

$$h_{e\check{\delta}} = \frac{\check{a}}{(tg \alpha_p)^n k_{i\check{a}\check{\delta}}} \cdot b. \quad (15)$$



## Список використаної літератури

1. Хмара, Л. А. та ін. *Машини для земляних робіт : підручник / за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця.* Харків : ХНАДУ, 2014. 548 с.
2. Кравець С. В. *Теорія руйнування робочих середовищ: навч. посіб.* Рівне : НУВГП, 2008. 124 с.
3. Кравець С. В., Нечидюк А. А., Косяк О. В. *Машини для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення): підручник.* Рівне: НУВГП, 2018. 270 с.
4. Ткачук В. Ф., Кравец С. В., Кравец Л. Б. *Определение критической глубины резания грунта ножом. Горн., строит., дор. и мелиорат. машины: Респ. межвед. научн.-техн. сб.* К. : Техніка, 1987. Вып. 40. С. 22-28.

