

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Навчально-науковий механічний інститут
Кафедра будівельних, дорожніх та меліоративних машин

02-01-617М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт
та розрахунково-графічної роботи з дисципліни
«Наукові основи створення
землерийно-ярусних машин»
для здобувачів вищої освіти другого
(магістерського) рівня за освітньо-професійною
програмою «Інжиніринг машин та обладнання»
спеціальності G11 «Машинобудування»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості ННМІ
Протокол № 6 від 20.01.2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Наукові основи створення землерийно-ярусних машин» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин та обладнання» спеціальності G11 «Машинобудування» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Кравець С. В., Нечидюк А. А. – Рівне : НУВГП, 2026. – 46 с.

Укладачі: Кравець С. В., д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин; Нечидюк А. А., к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Відповідальний за випуск: Тхорук Є. І., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин, професор кафедри.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Нечидюк А. А., к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин

Попередня версія МВ 02-01-325

© С. В. Кравець,
А. А. Нечидюк, 2026
© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2026

Зміст

Вступ	4
1. Визначення оптимальної форми і параметрів двоярусних безвідвальних робочих органів (розрахунково-графічна робота)	4
2. Визначення основних параметрів двоярусних ножів із плоскими різальними частинами (практична робота № 1)	14
3. Визначення параметрів багатоярусних безвідвальних робочих органів, що працюють за принципом рівності об'ємних витрат ґрунту (практична робота № 2)	22
4. Визначення основних параметрів багатоярусних будівельних землерийних робочих органів, що працюють за принципом рівності масових витрат ґрунту (практична робота № 3).	27
5. Визначення форми і параметрів багатоярусних робочих органів відвального типу (практична робота № 4)	32
Список використаної літератури	45

Вступ

У методичних вказівках розглянуті методики розрахунків багатоярусних землерийних робочих органів (ЗРО) безтраншейних укладачів, які створені на основі досліджень авторів. Наведені варіанти індивідуальних завдань і довідкові дані.

Розрахункові вправи сприяють засвоєнню лекційного матеріалу дисципліни «Наукові основи створення землерийно-ярусних машин» і набуттю практичних навичок для виконання інженерних розрахунків.

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Визначення оптимальної форми і параметрів двоярусних безвідвальних робочих органів

Завдання. Визначити оптимальну форму, параметри двоярусного безвідвального робочого органа. На основі цієї методики виконується розрахунково-графічна робота.

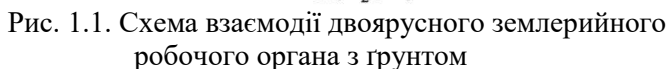
Варіанти завдань для розрахунків наведені в табл. 1.4.

Алгоритм розрахунку наведений у літературі [4, 5]

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки оптимальної форми, параметрів двоярусного безвідвального робочого органа (рис. 1.1).

2. Викреслити в масштабі ескіз поздовжнього профілю двоярусного безвідвального робочого органа (рис. 1.3).



1. Залежно від діаметра лінійно-протяжних об'єктів (ЛПО), що укладаються та умов міцності несучого стояка вибрати ширину (b) різальних частин:

де d – діаметр ЛПО, м; δ_3 – зазор між бічними стінками і ЛПО ($\delta_3 = 0,01$ м); t_{cm} – товщина бічних стінок ножа, м ($t_{cm} = 0,02 \dots 0,03$ м).

2. Визначити критичну глибину різання ґрунту для верхнього і наступного ярусів (індекс 1 відноситься до верхнього ярусу, 2 – наступного ярусу):

5

де a , n – коефіцієнти апроксимації, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту (табл. 1.1), $k_{пер}$ – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання $h_{кр}$ ($k_{пер} = 0,9...0,95$); $h_{кр} = h_c / k_{пер}$; α_p – кут різання.

Кути різання вибираються для верхнього ярусу: $\alpha_{p1} = 25...50^\circ$; для нижнього: $\alpha_{p2} = 20...30^\circ$.

Таблиця 1.1

Значення апроксимуючих коефіцієнтів критичної глибини різання

Тип ґрунту	a_1	n_1	a_2	n_2
Суглинок				
напівтвердий	2,921	0,711	1,654	0,593
Суглинок твердий	2,955	0,718	1,605	0,592
Глина напівтверда	2,614	0,702	1,659	0,581
Глина тверда	2,651	0,717	1,616	0,589
Глина				
тугопластична	2,635	0,691	1,770	0,540

3. Мінімальна кількість ґрунторозробних органів (ярусів) у землерийних робочих органах (ЗРО) визначається залежністю:

$$Z_{яр} \geq \frac{H_{\max} - h_{кр1}}{h_{кр2}} + 1, \quad (1.3)$$

де $H_{\max}$ – максимальна глибина укладання лінійно-протяжних об'єктів (ЛПО), м; $h_{кр1}$, $h_{кр2}$ – критична глибина відповідно для верхнього та наступного ярусів, м.

Числове значення $Z_{яр}$ округляється до цілого числа в більшу сторону.

Якщо кількість ярусів ($Z_{яp}$) за розрахунками по вихідних даних виходить більше двох, подумайте, що необхідно зробити для зменшення кількості ярусів до двох.

4. Визначається середній тиск ґрунту на лобову поверхню ножа за залежністю

$$q_{cp} = \frac{q_0 + q_{kp}}{2}, \text{ МПа} \quad (1.4)$$

$$q_0 = c(A_1 - 1) \operatorname{ctg} \varphi_0, \text{ МПа} \quad (1.5)$$

$$q_{kp} = \left(\gamma_{ep} h_{kp} + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right), \text{ МПа} \quad (1.6)$$

$$A_1 = \frac{\cos \varphi \left(\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \varphi} \right) \left(\sin \varphi_0 \cos \varphi_a \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_0 \sin^2 \varphi_a} \right)^2}{\cos^2 \varphi_0 (1 - \sin \varphi_0)} \quad (1.7)$$

$$\text{де } \varphi_a = \pi - \alpha_{p_2} - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} \quad (1.8)$$

де q_0 , q_{kp} – мінімальний і максимальний нормальний тиск на ніж по глибині другого ярусу; c , φ , φ_0 – відповідно коефіцієнт зчеплення, кут зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту; γ_{ep} – питома сила тяжіння ґрунту (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Характеристики талих ґрунтів

Тип ґрунту	Коефіцієнт консистенції, B_k	Коефіцієнт зчеплення, c , МПа	Кут внутрішнього тертя, φ_0 , град.	Кут зовнішнього тертя, φ , град.	Питома вага ґрунту у природному стані, γ_{gr} , МН/м ³	Несуча спроможність ґрунту, q_{gr} , МПа	Кількість ударів щільноміра, C_{ud} , (категорія)
Супісок твердий	$B_k < 0$	0,02	28	25	0,02	0,37	5...8 (II)
Суглинок напівтвердий	$0 < B_k < 0,25$	0,04	23	21	0,021	0,55	5...8 (II)
Глина тугоплатична	$0,25 < B_k < 0,5$	0,04	18	22	0,02	0,48	5...8 (II)
Суглинок твердий	$B_k < 0$	0,06	25	21	0,022	0,85	9...16 (III)
Глина напівтверда	$0 < B_k < 0,25$	0,06	20	22	0,021	0,73	13...18 (III з переходом на IV)
Глина тверда	$B_k < 0$	0,1	22	22	0,022	1,25	23...29 (IV)

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнтів апроксимації форми поздовжнього профілю двоярусних ЗРО

Тип ґрунту	η_1	m_1	η_2	m_2
Суглинок				
напівтвердий	1,258	1,982	1,462	2,215
Суглинок твердий	1,256	1,983	1,478	2,208
Глина напівтверда	1,214	2,012	1,189	2,307
Глина тверда	1,204	2,000	1,225	2,270
Глина тугопластична	1,176	2,030	0,871	2,604

5. Потім необхідно визначити питомий опір різанню ґрунту k_2 в нижньому ярусі:

$$k_2 = \left[(1 - f_{on}) + (f + f_{on}) \operatorname{ctg} \alpha_{p_2} \right] q_{cep} + \left(\frac{H_{max}}{b} \right) \frac{K_y}{k_{nep}}, \text{ МПа} \quad (1.9)$$

де f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = \operatorname{tg} \varphi$);
 f_{on} – коефіцієнт опору переміщенню ($f_{on} = 0,1$);
 K_y – коефіцієнт за А.А. Вайнсоном ($K_y = 0,02 \dots 0,04$ МПа).

6. Для ріжучої частини в верхньому ярусі визначити оптимальне значення $\dot{z}_\kappa$ із рівняння:

$$\frac{(f + f_{on} - \varphi_{3\kappa})n_1 + (1 + n_1)[1 + (\varphi_{3\kappa} - f_{on})f]\dot{z}_\kappa}{\dot{z}_\kappa^{m_1 - (n_1 - 1)}} =, \quad (1.10)$$

$$= \frac{\eta_1 a_1}{(q_{kp} - q_o)k_{nep}} [k_2 - q_0 (1 + (\varphi_{3\kappa} - f_{on})f)]$$

де $\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення рушія з опорною поверхнею,
 $\varphi_{зч} = 0,6 \dots 0,9$, для причіпних ЗРО $\varphi_{зч} = 0$; $\dot{z}_\kappa = \left. \frac{dz}{dy} \right|_{z=z_\kappa}$;

m_1 – див. табл. 1.3.

Рівняння (1.10) найпростіше вирішити графічним способом. Для цього необхідно привести його до наступного вигляду:

$$A + B\dot{z}_\kappa = D\dot{z}_\kappa^{m_1 - (n_1 - 1)}; \quad (1.11)$$

де $A = (f + f_{on} - \varphi_{зч})n_1$; $B = (1 + n_1)[1 + (\varphi_{зч} - f_{on})f]$;

$$D = \frac{\eta_1 a_1}{(q_{\kappa p} - q_0)k_{nep}} [k_2 - q_0(1 + (\varphi_{зч} - f_{on})f)] \quad (1.12)$$

Після чого будують у масштабі графічні залежності лівої F_1 і правої F_2 частин рівняння (1.11). Точка перетину кривих визначає оптимальне значення похідної в точці $K(\dot{z}_{\kappa_{opt}})$ – рис. 1.2.

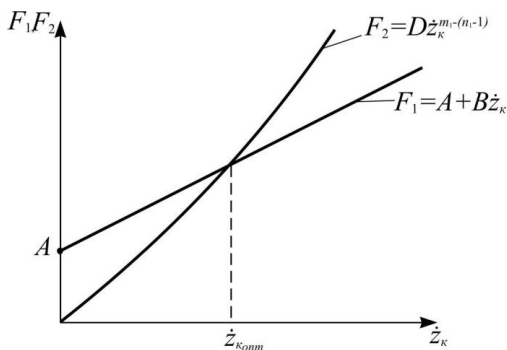


Рис. 1.2. Графічний спосіб вирішення рівняння (1.11)

7. Знайти значення критичної глибини різання для верхньої ріжучої частини:

$$h_{\kappa p_1} = \frac{a_1 b_1}{\dot{z}_{\kappa}^{n_1} k_{\text{неп}}}, \text{ м} \quad (1.13)$$

де b_1 – ширина верхньої ріжучої частини.

8. Знайти глибину різання для нижньої ріжучої частини:

$$z_{\kappa} = H - h_{\kappa p_1}, \text{ м} \quad (1.14)$$

9. Провести побудову профілю нижньої різальної частини за залежністю:

$$y_2 = \frac{m_2}{m_2 + 1} \left(\frac{\eta_2}{b_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \left[z_{\kappa}^{\frac{m_2 + 1}{m_2}} - (z_{\kappa} - z)^{\frac{m_2 + 1}{m_2}} \right], \quad (1.15)$$

де b_2 – ширина нижньої ріжучої частини.

10. Визначити критичну глибину різання для нижньої різальної частини:

$$h_{\kappa p_2} = \frac{a_2 b_2}{(\text{tg} \alpha_{p_2})^{n_2} k_{\text{неп}}}. \quad (1.16)$$

Кут різання α_{p_2} визначаємо із графіка поздовжнього профілю нижньої різальної частини нахилом дотичної до горизонту в точці K_2 .

11. Перевірити умову $z_{\kappa} \leq h_{\kappa p_2}$.

12. Аналогічно провести побудову профілю верхньої різальної частини, використовуючи залежність:

$$y_1 = \frac{m_1}{m_1 + 1} \left(\frac{\eta_1}{b_1} \right)^{\frac{1}{m_1}} \left[(H - z_{\kappa})^{\frac{m_1 + 1}{m_1}} - (H - z)^{\frac{m_1 + 1}{m_1}} \right], \quad (1.17)$$

де η_1, m_1, η_2, m_2 – коефіцієнти апроксимації форми поздовжнього профілю різальних частин (табл. 1.3).

13. Визначити зміщення по горизонталі нижньої різальної частини відносно верхньої:

$$y_{\kappa_2} = (H - h_{\kappa p_1}) (\operatorname{ctg} \alpha_{p_2} + \operatorname{ctg} \psi_2), \text{ м} \quad (1.18)$$

14. Визначити загальний опір різанню для режиму заглиблення, MH :

$$\begin{aligned} P = & q_o (1 - f_{on}) b_1 (H - z_{\kappa}) + \frac{m_1 q_o (f + f_{on})}{m_1 + 1} \left(\frac{\eta_1}{b_1} \right)^{\frac{1}{m_1}} \times \\ & \times b_1 (H - z_{\kappa})^{\frac{m_1 + 1}{m_1}} + \frac{m_1 (f + f_{on}) (q_{\kappa p} - q_o)}{(2m_1 + 1 - n_1) a_1} k_{nep} \left(\frac{\eta_1}{b_1} \right)^{\frac{1 - n_1}{m_1}} \times \quad (1.19) \\ & \times (H - z_{\kappa})^{\frac{2m_1 + 1 - n_1}{m_1}} + \frac{m_1 (1 - f_{on}) (q_{\kappa p} - q_o)}{2(m_1 - n_1) a_1} k_{nep} \left(\frac{b_1}{\eta_1} \right)^{\frac{n_1}{m_1}} \times \\ & \times (H - z_{\kappa})^{\frac{2m_1 - n_1}{m_1}} + k_2 b_2 z_{\kappa} \end{aligned}$$

15. Підібрати тягач, викреслити в масштабі ескіз поздовжнього профілю двоярусного землерийного робочого органа (див. рис. 1.3).

Таблиця 1.4

Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи

Варіант	Тип ґрунту	Глибина укладання, $H_{\max}$, м	Діаметр ЛПО, d , м	Товщина бічних стінок, t_{cm} , м	Кут поздовжнього зсуву ґрунту, $\varphi/2$
1	2	3	4	5	6
1	Суглинок твердий	1,00	0,04	0,020	48...51°
2		1,05	0,05	0,025	
3		1,10	0,06	0,020	
4		1,15	0,04	0,025	
5		1,20	0,05	0,020	
6		1,25	0,06	0,025	
7	Глина напів-тверда	1,00	0,04	0,020	51...53°
8		1,05	0,05	0,025	
9		1,10	0,06	0,020	
10		1,15	0,04	0,025	
11		1,20	0,05	0,020	
12		1,25	0,06	0,025	
13	Глина тверда	1,00	0,04	0,020	50...52°
14		1,05	0,05	0,025	
15		1,10	0,06	0,020	
16		1,15	0,04	0,025	
17		1,20	0,05	0,020	
18		1,25	0,06	0,025	
19	Суглинок напів-твердий	1,00	0,04	0,020	49...52°
20		1,05	0,05	0,025	
21		1,10	0,06	0,020	
22		1,15	0,04	0,025	
23		1,20	0,05	0,020	
24		1,25	0,06	0,025	
25	Глина тугоплатична	1,00	0,04	0,020	52...54°
26		1,05	0,05	0,025	
27		1,10	0,06	0,020	
28		1,15	0,04	0,025	
29		1,20	0,05	0,020	
30		1,25	0,06	0,025	

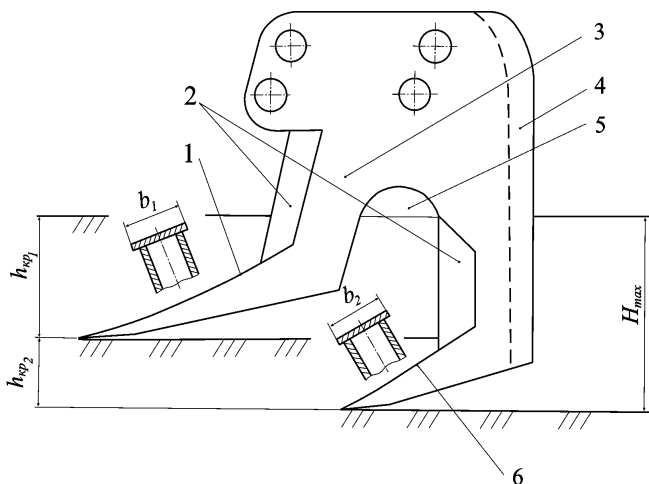


Рис. 1.3. Принципова схема двоярусного землерийного робочого органа з криволінійними різальними частинами:

1 – передня різальна частина; 2 – вертикальні клиновидні розтиначі; 3 – стояк; 4 – трубонапрямний тракт; 5 – прохідне вікно; 6 – задня різальна частина

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

Визначення основних параметрів двоярусних ножів із плоскими різальними частинами

Завдання. Визначити основні параметри двоярусного ножа із плоскими різальними частинами.

Варіанти завдань для розрахунків наведені в табл. 2.1.

Алгоритм розрахунку наведений у літературі [4, 5]

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки основних параметрів двоярусного ножа із плоскими різальними частинами.

2. Підібрати тягач.

Таблиця 2.1

Варіанти завдань до практичної роботи № 1

Варіант	Тип ґрунту	Максимальний діаметр ЛПО $d_{\text{ЛПО}}$, м	Максимальна глибина укладання H_{max} , м
1	Твердий супісок	0,04	1,0
2		0,05	1,1
3		0,06	1,2
4		0,07	1,3
5		0,08	1,4
6		0,09	1,5
7		0,1	1,6
8		0,11	1,7
9		0,12	1,8
10		0,13	1,9
11	напівтвердий суглинок	0,08	0,8
12		0,09	0,9
13		0,10	1,0
14		0,11	1,1
15		0,12	1,2
16		0,13	1,3
17		0,14	1,4
18		0,15	1,5
19		0,16	1,6
20		0,17	1,7
21	Напівтверда глина	0,10	0,6
22		0,11	0,7
23		0,12	0,8
24		0,13	0,9
25		0,14	1,0
26		0,15	1,1
27		0,16	1,2
28		0,17	1,3
29		0,18	1,4
30		0,19	1,5

Методика розрахунку

До основних параметрів двоярусних ножів відносять: їх ширина, кути і глибина різання, питомий опір різанню нижнім ножом, зміщення ножів по горизонталі (рис. 2.1).

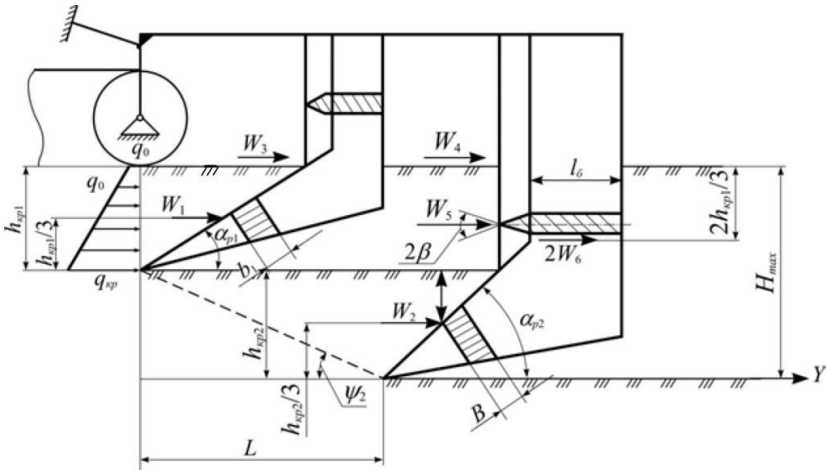


Рис. 2.1. Схема двоярусної розробки щілини

1. Визначаємо ширину ножів

$$b = d_{\text{ЛПО}} + 2t + 2\delta, \text{ м}$$

де $d_{\text{ЛПО}}$ – максимальний діаметр підземних комунікацій, м;
 t – товщина бічних стінок ножа ($t = 0,02 \dots 0,025$ м);
 δ – зазор між підземним об'єктом, що прокладається і бічними стінками ножа ($\delta = 0,01 \dots 0,02$ м).

2. Кут різання α_{p2} визначається із умови різання з відділенням стружки ґрунту на максимальну проєктну глибину укладання лінійно-протяжного об'єкта, тобто,

маючи задане відношення $\frac{H_{max}}{b}$ і тип ґрунту із рис. 2.2 визначаємо α_{p_2} .

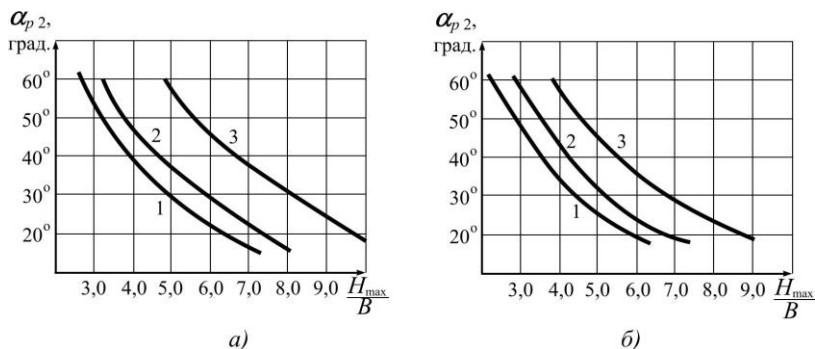


Рис. 2.2. Залежність кута різання нижнього ножа від відносної глибини щілини, що нарізується:

а) – робоче обладнання спирається на базу; б) – робоче обладнання спирається на лезу;

1 – напівтверда глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок

Для двоножових систем відношення $\frac{H_{max}}{b}$ не повинно перевищувати: для твердого супіску 8,8...10,0; для напівтвердого суглинка 6,8...7,2; для напівтвердої глини 6,0...6,4. Якщо умова не виконується при кутах різання $\alpha_{p_2} = 20...60^\circ$, потрібно збільшити ширину ножа b .

3. Числові значення питомого опору різання k_2 залежно від кута різання α_{p_2} під час розробки ґрунту на критичну глибину приведені в табл. 2.2. Для ґрунтів і кутів різання, які не представлені у таблиці, вираховуємо k_2 за залежністю 1.9.

Таблиця 2.2

Значення питомого опору різанню k_2 , МПа

Кут різання α_{p_2} , град	Питомий опір різанню k_2 , МПа		
	твердий супісок	напівтвердий суглинок	напівтверда глина
<i>робочий орган спирається на базу</i>			
20	0,846	0,959	1,06
30	0,692	0,778	0,861
40	0,608	0,680	0,756
50	0,552	0,615	0,685
60	0,509	0,565	0,632
<i>робочий орган спирається на лажу</i>			
20	1,03	1,19	1,33
30	0,797	0,911	0,994
40	0,655	0,761	0,815
50	0,573	0,662	0,697
60	0,520	0,587	0,609

4. Оптимальний кут різання верхнього ножа визначається

$$\alpha_{p_1}^{opt} = \arctg \left[\frac{1 + n_1}{n_1} \cdot \frac{f + f_{on}}{\frac{k_2}{q_{сеп}} - (1 - f \cdot f_{on})} \right], \text{ град} \quad (2.2)$$

де f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту (для супіску $f = 0,4$; для суглинка $f = 0,3$; для глинистих ґрунтів

$f = 0,25$; для інших $f = \operatorname{tg}\varphi$; f_{on} – коефіцієнт опору переміщенню ходового обладнання ($f_{on} = 0,1$); q_{cp} – середній нормальний тиск ґрунту на лобову площину ножа (див. залежності 1.4-1.8);

5. Критична глибина різання відповідно для верхнього (попереднього) h_{kp_1} та нижнього (наступного) h_{kp_2} ножів дорівнює:

$$h_{kp_{1,2}} = \frac{a_{1,2}}{(\operatorname{tg}\alpha_{p_{1,2}})^{n_{1,2}} k_{nep}} b, \quad (2.3)$$

де $a_{1,2}$, $n_{1,2}$ – коефіцієнти апроксимації, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту (табл. 2.3); $\alpha_{p_{1,2}}$ – кути різання верхнього та нижнього ножів, град; k_{nep} – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання h_{kp} ($k_{nep} = 0,90 \dots 0,95$).

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнтів апроксимації для різних типів ґрунту

Тип ґрунту	a_1	n_1	a_2	n_2
Твердий супісок	3,504	0,794	1,564	0,658
Напів-твердий суглинок	2,921	0,711	1,654	0,593
Напів-тверда глина	2,614	0,702	1,659	0,581

продовження табл. 2.3

Тип ґрунту	α_{ψ_1} , рад	k_{ψ_1}	α_{ψ_2} , рад	k_{ψ_2}
Твердий сугісок	0,986	-0,369	0,909	-0,302
Напів-твердий суглинок	1,175	-0,448	1,130	-0,396
Напів-тверда глина	1,107	-0,36	1,024	-0,295

6. Зміщення ножів по горизонталі вираховують із умови вільного сколювання ґрунту і переміщення його вгору

$$L \geq h_{kp_2} (ctg \alpha_{p_2} + ctg \psi_2), \text{ м} \quad (2.4)$$

де ψ_2 – кут сколювання ґрунту нижнім ножем.

$$\psi_2 = \alpha_{\psi_2} + k_{\psi_2} \cdot \alpha_{p_2}, \text{ рад} \quad (2.5)$$

де α_{ψ_2} , k_{ψ_2} – коефіцієнти інтерполяції (див. табл. 2.3).

7. Загальний опір переміщенню двоярусного безтраншейного укладача:

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7, \text{ МН} \quad (2.6)$$

де W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 , W_6 , W_7 – відповідно опори сколюванню ґрунту верхнім та нижнім ножами, переміщенню опор ножів, різанню ґрунту стояком

нижнього ножа, тертю ґрунту по бокових стінках ножа і переміщенню ходового обладнання.

Опір сколювання ґрунту верхнім ножем

$$W_1 = q_{cep} (1 + f \cdot ctg \alpha_{p_1}) b \cdot h_{kp_1}, \text{ МН} \quad (2.7)$$

Опір сколювання ґрунту нижнім ножем

$$W_2 = q_{cep} (1 + f \cdot ctg \alpha_{p_2}) b \cdot h_{kp_2}, \text{ МН} \quad (2.8)$$

Опір переміщенню опор верхнього ножа

$$W_3 = q_{cep} (ctg \alpha_{p_1} - f) f_{on} \cdot b \cdot h_{kp_1}, \text{ МН} \quad (2.9)$$

Опір переміщенню опор нижнього ножа

$$W_4 = q_{cep} (ctg \alpha_{p_2} - f) f_{on} \cdot b \cdot h_{kp_2}, \text{ МН} \quad (2.10)$$

Опір різанню ґрунту стояком нижнього ножа

$$W_5 = K_y (h_{kp_1} + h_{kp_2})^2, \text{ МН} \quad (2.11)$$

Опір тертю ґрунту по бокових стінках ножа

$$W_6 = f \cdot \gamma_{zp} \cdot l_{\sigma} \cdot h_{kp_1}^2 \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right), \text{ МН} \quad (2.12)$$

Опір переміщенню ходового обладнання

$$W_7 = G_m (f_{on} \pm i), \text{ МН} \quad (2.13)$$

де γ_{gp} – питома сила тяжіння ґрунту, МН/м³; l_6 – довжина бокової грані ножа з укладальником, м; G_m – сила тяжіння машини, яку підбираємо згідно суми перших шести опорів у формулі (2.6), МН; i – похил місцевості ($i = 0, 1 \dots 0,3$).

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

Визначення параметрів багатоярусних безвідвальних робочих органів, що працюють за принципом рівності об'ємних витрат ґрунту

Завдання. Визначити параметри триярусного безвідвального робочого органа.

Варіанти завдань для розрахунків наведені в табл. 3.1.

Алгоритм розрахунку наведений у літературі [4, 5].

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки основних параметрів триярусного безвідвального робочого органа.
2. Викреслити в масштабі принципову схему триярусного ЗРО (рис. 3.1).
3. Підібрати тягач.

Методика розрахунку

1. Визначити ширину B_3 самого нижнього ґрунторозробного органа:

$$B_3 = d + 2\delta_3 + 2t_{cm}, \text{ м} \quad (3.1)$$

де d – діаметр ЛПО, м; δ_3 – зазор між бічними стінками ЗРО і ЛПО, м; t_{cm} – товщина бічних стінок ЗРО, м.

Таблиця 3.1

Варіанти завдань до практичних робіт 2, 3

Варіант	Тип ґрунту	Глибина укладання 3-ярусного ЗРО, $H_{\max}$, м	Діаметр ЛПО, d , м	Товщина бічних стінок, $t_{ст}$, м	Глибина укладання 4-ярусного ЗРО, $H_{\max}$, м
1	2	3	4	5	6
1	Суглинок твердий	0,65	0,04	0,020	0,9
2		0,80	0,05	0,025	1,1
3		0,95	0,08	0,020	1,3
4		0,75	0,04	0,025	1,0
5		1,00	0,09	0,020	1,4
6		0,90	0,06	0,025	1,2
7	Глина напів-тверда	0,70	0,04	0,020	0,95
8		0,85	0,05	0,025	1,15
9		1,00	0,08	0,020	1,35
10		0,75	0,04	0,025	1,00
11		1,05	0,09	0,020	1,40
12		0,90	0,06	0,025	1,20
13	Глина тверда	0,70	0,04	0,020	0,95
14		0,80	0,05	0,025	1,10
15		0,90	0,08	0,020	1,30
16		0,75	0,04	0,025	1,00
17		1,05	0,09	0,020	1,40
18		0,90	0,06	0,025	1,20
19	Суглинок напів-твердий	0,70	0,04	0,020	0,95
20		0,85	0,05	0,025	1,15
21		1,00	0,08	0,020	1,35
22		0,80	0,04	0,025	1,05
23		1,05	0,09	0,020	1,40
24		0,90	0,06	0,025	1,20
25	Глина тугоплатична	0,75	0,04	0,020	1,0
26		0,90	0,05	0,025	1,2
27		1,05	0,08	0,020	1,4
28		0,80	0,04	0,025	1,1
29		1,10	0,09	0,020	1,5
30		0,90	0,06	0,025	1,3

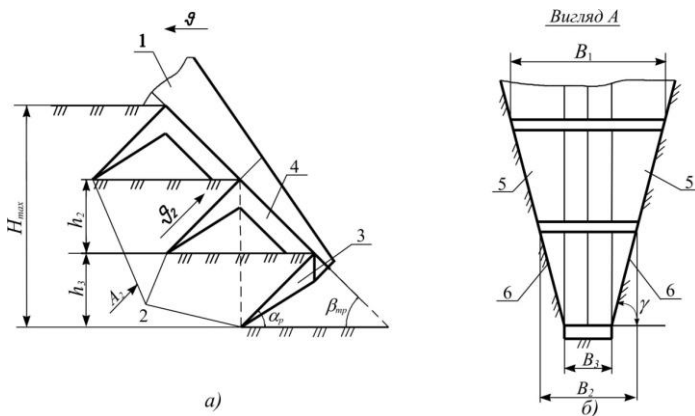


Рис. 3.1. Принципова схема триярусного ЗРО:

а) – у профільній площині; б) – у фронтальній площині;
 1 – рама трубоукладача; 2 – різальні кромки; 3 – ґрунторозробні органи; 4 – клиновидний ґрунторозтинач; 5 – ґрунтопрохідні вікна; 6 – бічні стінки

2. Кут різання ґрунторозробних органів вибирають в межах $25^\circ \dots 35^\circ$.

3. Визначити критичну глибину різання для самого нижнього ярусу:

$$h_3 = h_{kp} = \frac{a_2 B_3}{(tg \alpha_{p_2})^{n_2} k_{nep}}, \text{ м} \quad (3.2)$$

4. Вибирають рівномірне рознесення ґрунторозробних органів по вертикалі ($\beta_{mp} = \alpha_p$); β_{mp} – кут нахилу трубонапрямого тракту до горизонту; α_p – кут різання.

5. Визначити число ярусів при рівномірному рознесенні ґрунторозробних органів:

$$z_{яp} = \frac{H_{max}}{h_3} > 2. \quad (3.3)$$

Якщо нерівність (3.3) не виконується, то необхідно змінити кут α_p і кількість ярусів заокруглити до $z_{яp} = 3$.

6. Визначити ширину B_1 і B_2 ґрунторозробних органів з урахуванням принципів створення ЗРО:

- незалежності роботи попередніх ґрунторозробних органів (ГРО) від наступних (попередній ГРО створює найбільш сприятливі умови розробки ґрунту для кожного наступного);

- рівності об'ємних витрат ґрунту в суміжних ярусах (об'ємні витрати ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган у нижньому ярусі, не перевищували б об'ємних витрат ґрунту, який проходить через вікна в суміжному верхньому ярусі).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{B_3 + B_2}{2} \leq \left[\frac{(B_1 + h_3 \operatorname{ctg} \gamma - B_3) \times \sin \psi_2}{\sin(\alpha_p + \psi_2) \sin \beta_{mp}} - B_3 \right] \frac{\sin \psi_2}{\sin(\alpha_p + \psi_2) \sin \beta_{mp}}; \\ \frac{B_3 + B_2}{2} \leq (B_1 + h_3 \operatorname{ctg} \gamma - B_3) \frac{\sin \psi_2}{\sin(\alpha_p + \psi_2) \sin \beta_{mp}}; \end{array} \right. \quad (3.4)$$

де ψ_2 – кут сколювання ґрунту в нижньому ярусі, визначається за залежністю 2.5; γ – кут розвалу щілини ($\gamma = 70 \dots 80^\circ$), град.,

7. Рознесення по вертикалі ґрунторозробних органів. Якщо $\alpha_p = \beta_{mp}$, то $h_k = h_3$, де h_k – висота k -го ярусу; k – його порядковий номер зверху вниз.

Висота верхнього ярусу для триярусного ЗРО

$$h_1 = H_{\max} - 2 h_3. \quad (3.5)$$

8. Зобразити принципову схему триярусного ЗРО в масштабі.

9. Розрахувати опір ґрунту руйнуванню:

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3, \quad (3.6)$$

де P_1, P_2, P_3 – горизонтальні складові повного опору ґрунту сколюванню відповідно в першому, другому, третьому ярусах

$$P_3 = 0,5(q_o + q_{kp}) B_3 h_{kp3} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ кН} \quad (3.7)$$

$$P_2 = q_{cp2} B_2 h_{kp3} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ кН} \quad (3.8)$$

де

$$q_{cp2} = q_o + 0,5(q_{kp} - q_o) \frac{B_3}{B_2}, \text{ кПа} \quad (3.9)$$

$$P_1 = q_{cp1} B_1 h_{p1} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ кН} \quad (3.10)$$

де

$$q_{cp1} = q_o + 0,5(q_{kp} - q_o) \frac{h_{p1}}{h_{kp1}}, \text{ кПа} \quad (3.11)$$

де h_{kp1} – критична глибина різання у верхньому ярусі (див. залежність 1.2).

10. Знаючи опір ґрунту руйнуванню, підібрати тягач.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

Визначення основних параметрів багатоярусних безвідвальних ЗРО, що працюють за принципом рівності масових витрат ґрунту

Завдання. Визначити основні параметри багатоярусного безвідвального ЗРО, що працює за принципом рівності масових витрат ґрунту в суміжних ярусах.

Варіанти завдань для розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Алгоритм розрахунків наведений у літературі [4, 5].

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки основних параметрів багатоярусного безвідвального ЗРО, що працює за принципом рівності масових витрат ґрунту в суміжних ярусах.
2. Викреслити в масштабі принципову схему ЗРО.
3. Підібрати тягач.

Методика розрахунку

1. Залежно від діаметра підземних комунікацій d та умов міцності несучого стояка визначається за залежністю 3.1 ширина нижнього ґрунторозробного органа $B_z = B_4$ багатоярусного ЗРО.

2. Вибирають кути різання ґрунторозробних органів і нахилу несучої рами до горизонту у межах $\alpha_p = \beta_{mp} = 20^\circ \dots 30^\circ$ (рис. 4.1).

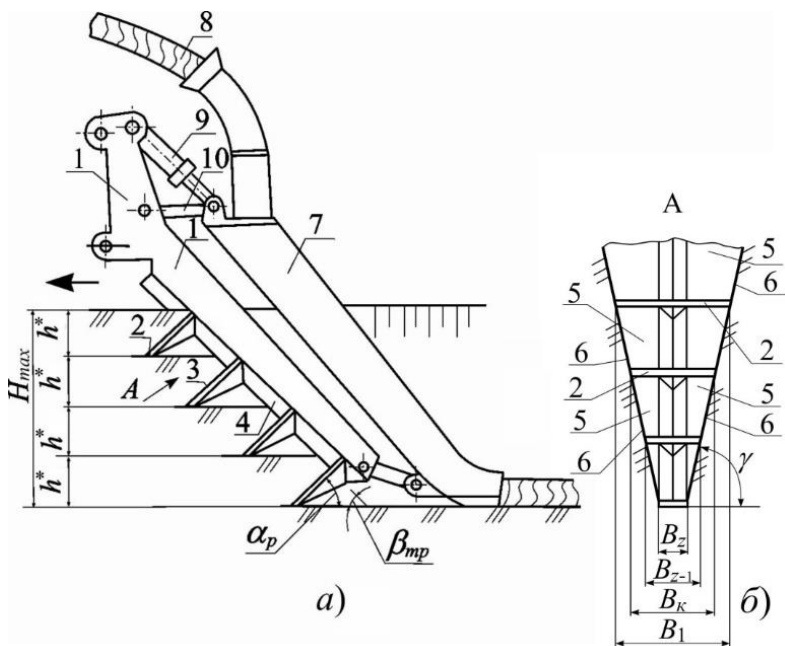


Рис. 4.1. Принципова схема чотириступінчастого безвідвального ЗРО: а) у профільній площині; б) у фронтальній площині: 1 – несуча рама; 2 – різальні кромки; 3 – ґрунтонаправляючі; 4 – клиновидний розтинач; 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини; 7 – укладач; 8 – ЛПО; 9 – гідроциліндр; 10 – тяга

3. Визначити кут зсуву ґрунту ψ в поздовжній площині за залежністю (2.5).

4. Визначають безрозмірний параметр

$$\theta = \frac{\rho_{зр} \sin \psi}{\rho_{нр} \sin \beta_{mp} \sin(\alpha_p + \psi)},$$

де ρ_{np} , $\rho_{зр}$ – відповідно щільність ґрунту в природному і зруйнованому станах (див. табл. 1.2).

5. Визначають оптимальну висоту ярусів $h_{яp}^*$, при якій сумарний опір переміщенню буде мінімальний із рівняння 4.2. Із збільшенням висоти ярусів (зменшення їх кількості) зменшується ширина ярусів, а також зменшується лобова площа контакту робочого органа з масивом ґрунту. З іншої сторони, із збільшенням висоти ярусів і зменшенням їх ширини збільшується тиск ґрунту на ґрунторозробні органи.

$$\begin{aligned} & \frac{q_{кр} - q_0}{2a_1} (tg \alpha_p)^{n_1} k_{неp} h^* + \frac{q_{кр} - q_0}{2a_2} (tg \alpha_p)^{n_2} k_{неp} \left(\frac{H_{max}}{2} - h^* \right) + \\ & + \sum_{\kappa=2}^{H/h^*} q_0 \left(1 - \frac{2\kappa}{3\Theta - 1} \right) B_z = \\ & = \frac{2\delta_{3m} q_{кр}}{(1 + fctg \alpha_p)(3\Theta - 1)} \cdot \frac{B_z H_{max}^2}{(h^*)^3} - q_0 \left(1 - \frac{2}{3\Theta - 1} \right) B_z. \quad (4.2) \end{aligned}$$

де B_z – ширина нижнього ґрунторозробного органа (3.1); δ_{3m} – величина затуплення різальних кромek ($\delta_{3m} = 0,005 \dots 0,01$ м). Розшифрування і визначення всіх інших параметрів формули (4.2) приведені в практичних роботах № 1 і № 2.

Оптимальна висота ярусів збільшується із збільшенням глибини розробки ґрунтів і кута різання ґрунторозробних органів. Для $\alpha_p = 20^\circ$ оптимальне значення знаходиться у межах $h^* = 0,25 \dots 0,4$ м, а для $\alpha_p = 30^\circ$ – $h^* = 0,3 \dots 0,6$ м

6. Визначають кількість і ширини ґрунторозробних органів

$$z \geq \frac{H}{h_{яp}^*}, B_{\kappa} = \left[1 + \frac{2(z - \kappa)}{3\theta - 1} \right] B_z,$$

де z, κ – кількість і порядковий номер ярусів, рахуючи зверху вниз. Кількість ярусів z необхідно заокруглити у більшу сторону до цілого числа.

7. Вибирають відносно тонкий клиновидний деформатор-ґрунторозтинач із кутом загострення $2\beta \leq 36^\circ$.

8. Визначають нахил бокових стінок щілини до горизонту

$$\gamma = \arccotg \frac{B_{z-1} - B_z}{2h^*}. \quad (4.4)$$

9. Визначають ширину руйнування ґрунту на денній поверхні

$$B_0 = B_z + 2H_{max} \cotg \gamma. \quad (4.5)$$

10. Вираховують питомий опір багатоярусному різанню

$$K_1 = \left\{ \left(1 + f \cotg \alpha_p \right) \left[q_0 h_{яp}^* + \frac{q_{kp} - q_0}{2a_1 B_1} (tg \alpha_p)^{n_1} k_{nep} \frac{h_{яp}^{*2}}{2} \right] B_1 + \right. \\ \left. (1 + f \cotg \alpha_p) \times \left[q_0 h_{яp}^* + \frac{q_{kp} - q_0}{2a_2 B_{\kappa}} (tg \alpha_p)^{n_2} k_{nep} \frac{h_{яp}^{*2}}{2} \right] \sum_{\kappa=2}^{z_{яp}} B_{\kappa} + \right.$$

$$+ \delta_{3m} q_{кр} \sum_{\kappa=1}^z B_{\kappa} \left. \right\} / \frac{B_z + B_0}{2} H_{max}, \text{ МПа} \quad (4.6)$$

11. Визначають питомий опір деформування ґрунту в деформуючих камерах за залежністю

$$K_2 = a_{k_2} + b_{k_2} \frac{\rho_{вих}}{\rho_{нр}}, \text{ МПа} \quad (4.7)$$

де a_{k_2} , b_{k_2} – коефіцієнти інтерполяції, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунтів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Коефіцієнти інтерполяції для визначення питомого зусилля деформування ґрунтів багатоярусних ЗРО

Тип ґрунту / коефіцієнти	Твер- дий супі- сок	Напів- твердий суглинок	Туго- пластич- на глина	Твердий сугли- нок	Напів- тверда глина
a_{k_2} , МПа	-1,297	-0,715	-0,554	-1,274	-0,723
b_{k_2} , МПа	1,768	0,968	0,748	1,72	0,98
Максимальна помилка інтерполяції, %	6,1	8,6	9,1	9,7	7,6

12. Вираховують сумарний тяговий опір багатоярусного ЗРО за залежністю:

$$P_{\Sigma} = K_1 \frac{B_z + B_0}{2} H_{max} + K_2 \frac{B_z + B_1}{2} (H_{max} - h_{яp}^*), \text{ МН} \quad (4.8)$$

13. За сумарним тяговим опором підбирають тягач.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

Визначення форми і параметрів багатоярусних робочих органів відвального типу

Завдання. Визначити форму, параметри багатоярусних робочих органів відвального типу.

Варіанти завдань для розрахунків наведені в табл. 5.1.

Алгоритм розрахунку наведений у літературі [4, 5]

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки форми, параметрів багатоярусного робочого органа відвального типу.
2. Підібрати тягач.

Методика розрахунку

1. Визначити за формулою (1.1) ширину трубопровідного тракту.

2. Вибрати кути різання ($\alpha_p = 30...35^\circ$), задній кут ґрунторозробних органів ($\alpha_z = 15...20^\circ$), а також кут нахилу робочого органа до горизонту ($\beta_{mp} = 24...26^\circ$).

3. Визначити кут захвату ґрунторозробних органів за залежністю:

$$\gamma_{zx} = 80^\circ - 0,5(\alpha_z - 10^\circ). \quad (5.1)$$

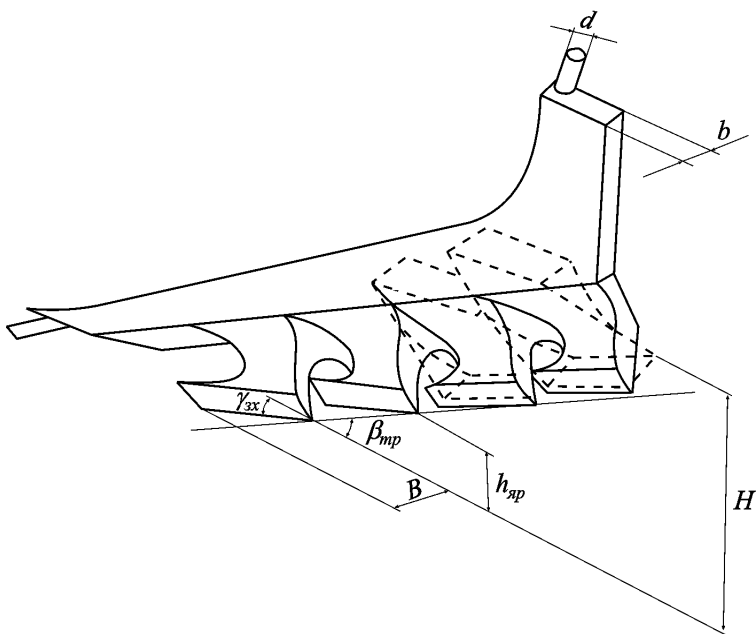


Рис. 5.1. Схема багатоярусного робочого органа відвального типу і його основні параметри

4. Вибирають з таблиць 5.1-5.8 для найбільш важких умов експлуатації безтраншейних укладачів ($\varphi_{зч} = 0,6$) числові значення коефіцієнтів A_p , A_z , A_y .

5. Для заданих значень висоти ділянки затуплення $h_{зт}$ різальних кромek та вертикального переміщення робочого органа у процесі витримування похилу дренажного ножа визначається висота ярусів:

$$h_{яp}^* = \sqrt{\frac{(A_{я} h_{зт} - A_{з} h_{в}) q_{кp} b}{A_p k_1 \left[q_o + \frac{(q_{кp} - q_o)(tg \alpha_p)^{n_2}}{2 a_2} \frac{k_{неp}}{k_1} \right]}}, \quad (5.2)$$

де $h_{зт}$, $h_{в}$ – висота затуплення різальних кромek і вертикальне переміщення ЗРО, м; k_1 – коефіцієнт збільшення висоти ґрунтового пласта у процесі відокремлення його від масиву, $k_1 = 1,35 \dots 1,40$.

Згідно агротехнічних вимог приймається $h_{яp}^* > 0,2$ м. У протилежному випадку слід зменшити кут захвату лемешів з одночасним збільшенням їх задніх кутів до 20° . При цьому величина кута $\gamma_{зх}$ вибирається такою, щоб вона суттєво не вплинула на зміну тягового опору.

6. Ширина захвату землерийного робочого органа дорівнює:

$$B = h_{яp}^* k_1 + b, \text{ м} \quad (5.3)$$

7. Визначити кількість ґрунторозробних органів (ярусів) багатоярусного плуга:

$$Z_{яp} = \frac{H_{\max}}{h_{яp}^*}, \text{ м} \quad (5.4)$$

8. Вибирають кути μ_0 і μ_k направляючої кривої і висоту транспортування ґрунту:

$$\mu_0 = 35 \dots 50^\circ; \quad \mu_k = 60 \dots 65^\circ; \quad h_{mp} \approx B, \quad (5.5)$$

де μ_0, μ_κ – значення кутів між дотичною до направляючої кривої та горизонтальною віссю (у проекції на профільну площину) у початковій та кінцевій точках кривої.

9. Будують у профільній площині направляючу криву згідно рівняння:

$$Z = \frac{tg^2 \mu_\kappa - tg^2 \mu_0}{4 h_{mp}} y^2 + tg^2 \mu_0 \cdot y, \quad (5.6)$$

де h_{mp} – висота транспортування ґрунту, м; ($h_{mp} \approx h_{яp}^*$).

10. По профільній проєкції направляючої твірних методом сферичного відображення відвальної поверхні будують лобовий контур відвалів і проєкції контуру поверхні на координатні площини.

11. Вибирають вертикальну конструкцію розрізаючих ножів з кутом загострення $2\beta = 45...50^\circ$.

12. Визначають сумарний опір переміщенню багатоярусного плуга:

$$\begin{aligned} P_\Sigma = & A_p H_{\max} (h_{яp}^* k_1 + b) \left[q_o + \frac{(q_{kp} - q_o) h_{яp}^* k_{nep} (tg \alpha_p)^{n_2}}{2 a_2 (h_{яp}^* k_1 + b)} \right] + \\ & + (A_{я} h_{zm} - A_3 h_v) \frac{H_{\max}}{h_{яp}^*} (h_{яp}^* k_1 + b) q_{kp} + \\ & + t_u H_{\max} (1 + tg \varphi ctg \beta) \left(\frac{q_{kp}}{1 + tg \varphi ctg \beta} \right) + \\ & + \frac{\gamma_{zp} (h_{яp}^* k_1 + b) h_{mp}}{1 - f f_0} \left[f \frac{g_r^2}{g h_{mp}} (\mu_\kappa - \mu_0) + 1 + \frac{2 f}{tg \mu_0 + tg \mu_\kappa} \right] \cos \mu_0, \end{aligned} \quad (5.7)$$

де t_n – товщина вертикального розрізаючого ножа, м ($t_n = 0,02$ м); 2β – кут загострення ножів, град.; h_{mp} – висота транспортування ґрунту, м; f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = tg\varphi$); $\mathcal{G}_r$ – відносна швидкість руху укладача, м/с

$$\mathcal{G}_r = \frac{\mathcal{G} \sin \psi}{\sin(\alpha_p + \psi)}, \quad (5.8)$$

де $\mathcal{G}$ – переносна швидкість руху укладача, м/с. Приймаємо $\mathcal{G} = 3,07$ км/год; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту, МН/м³.

13. Підібрати тягач, знаючи сумарний опір переміщенню багатоярусного плуга.

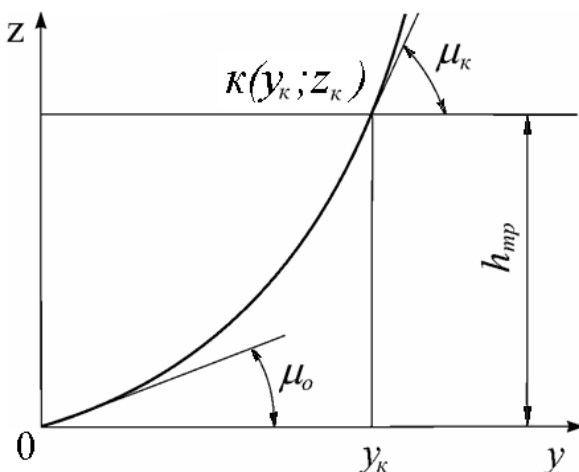


Рис. 5.2. Направляюча крива профілю відвала ЗРО

Таблиця 5.1

Варіанти завдань до практичної роботи № 4

Варіанти	Тип ґрунту	Глибина укладання ЛПО, $H_{\max}$, м	Діаметр ЛПО, d , м	Товщина бічних стінок, t_{cm} , м	Висота ділянки затуплення ріжучої кромки, h_{zm} , м	Величина вертикального переміщення ЗРО, h_v , м
1	Суглинок твердий	1,00	0,04	0,020	0,003	0,035
2		1,05	0,05	0,025	0,004	0,040
3		1,10	0,06	0,020	0,005	0,045
4		1,15	0,04	0,025	0,006	0,050
5		1,20	0,05	0,020	0,007	0,055
6		1,25	0,06	0,025	0,008	0,060
7	Глина напівтверда	1,00	0,04	0,020	0,003	0,040
8		1,05	0,05	0,025	0,004	0,045
9		1,10	0,06	0,020	0,005	0,050
10		1,15	0,04	0,025	0,006	0,055
11		1,20	0,05	0,020	0,007	0,060
12		1,25	0,06	0,025	0,008	0,065
13	Супісок твердий	1,00	0,04	0,020	0,003	0,035
14		1,05	0,05	0,025	0,004	0,040
15		1,10	0,06	0,020	0,005	0,045
16		1,15	0,04	0,025	0,006	0,050
17		1,20	0,05	0,020	0,007	0,055
18		1,25	0,06	0,025	0,008	0,060
19	Суглинок напівтвердий	1,00	0,04	0,020	0,003	0,040
20		1,05	0,05	0,025	0,004	0,045
21		1,10	0,06	0,020	0,005	0,050
22		1,15	0,04	0,025	0,006	0,055
23		1,20	0,05	0,020	0,007	0,060
24		1,25	0,06	0,025	0,008	0,065
25	Глина тугоплатична	1,00	0,04	0,020	0,003	0,035
26		1,05	0,05	0,025	0,004	0,040
27		1,10	0,06	0,020	0,005	0,045
28		1,15	0,04	0,025	0,006	0,050
29		1,20	0,05	0,020	0,007	0,055
30		1,25	0,06	0,025	0,008	0,060

Таблиця 5.2

Значення коефіцієнта A_p для твердого супіску

Кут захвату γ_{zx} , град.	Кут різання α_{ps} , град.		
	20°	30°	40°
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	2,518 2,463 2,370 2,320 2,327 2,391 2,509	$\varphi_{pi} = 0$	1,742 1,717 1,644 1,588 1,565 1,579 1,628
		2,001	
		1,969	
		1,893	
		1,843	
		1,832	
		1,863	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,800 0,852 0,884 0,927 0,985 1,057 1,141	$\varphi_{pi} = 0,6$	1,060 1,101 1,101 1,102 1,118 1,149 1,193
		0,965	
		1,014	
		1,028	
		1,046	
		1,077	
		1,121	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,513 0,583 0,637 0,695 0,761 0,835 0,912	$\varphi_{pi} = 0,7$	0,946 0,998 1,010 1,022 1,043 1,078 1,120
		0,792	
		0,854	
		0,884	
		0,913	
		0,951	
		0,997	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,227 0,315 0,389 0,462 0,537 0,613 0,684	$\varphi_{pi} = 0,8$	0,832 0,896 0,920 0,941 0,969 1,006 1,048
		0,619	
		0,695	
		0,740	
		0,781	
		0,825	
		0,873	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	-0,059 0,046 0,142 0,230 0,314 0,391 0,456	$\varphi_{pi} = 0,9$	0,718 0,793 0,829 0,860 0,894 0,935 0,9
		0,446	
		0,536	
		0,596	
		0,648	
		0,699	
		0,749	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,456	0,795	0,9

Таблиця 5.3

Значення коефіцієнта A_p для твердого та
напівтвердого суглинку

Кут захвату $\gamma_{\text{зх}}$, град.	Кут різання α_p , град.		
	20°	30°	40°
		$\varphi_{\text{зч}} = 0$	
30°	2,274	1,814	1,584
40°	2,256	1,814	1,589
50°	2,189	1,765	1,543
60°	2,151	1,729	1,505
70°	2,154	1,721	1,489
80°	2,201	1,745	1,500
90°	2,291	1,800	1,538
		$\varphi_{\text{зч}} = 0,6$	
30°	0,529	0,753	0,879
40°	0,611	0,827	0,944
50°	0,666	0,863	0,966
60°	0,716	0,891	0,980
70°	0,767	0,921	0,998
80°	0,820	0,955	0,023
90°	0,873	0,991	0,054
		$\varphi_{\text{зч}} = 0,7$	
30°	0,238	0,576	0,761
40°	0,337	0,663	0,837
50°	0,412	0,713	0,870
60°	0,477	0,752	0,893
70°	0,536	0,788	0,917
80°	0,590	0,823	0,944
90°	0,636	0,856	0,973
		$\varphi_{\text{зч}} = 0,8$	
30°	-0,052	0,399	0,644
40°	0,063	0,498	0,729
50°	0,158	0,563	0,772
60°	0,237	0,612	0,805
70°	0,305	0,655	0,835
80°	0,360	0,692	0,865
90°	0,400	0,721	0,892
		$\varphi_{\text{зч}} = 0,9$	
30°	-0,343	0,222	0,526
40°	-0,211	0,334	0,622
50°	-0,096	0,412	0,677
60°	-0,002	0,473	0,718
70°	0,073	0,521	0,753
80°	0,130	0,560	0,785
90°	0,164	0,586	0,811

Таблиця 5.4

Значення коефіцієнта A_p для напівтвердої та
тугопластичної глини

Кут захвату $\gamma_{\text{зх}}$, град.	Кут різання α_p , град.		
	20°	30°	40°
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	2,335 2,308 2,235 2,194 2,197 2,248 2,344	$\varphi_{\text{зи}} = 0$	1,624 1,622 1,569 1,526 1,508 1,519 1,560
		1,861	
		1,854	
		1,797	
		1,758	
		1,749	
		1,774	
		1,833	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,597 0,672 0,721 0,769 0,821 0,879 0,938	$\varphi_{\text{зи}} = 0,6$	0,924 0,984 1,000 1,011 1,028 1,055 1,088
		0,806	
		0,874	
		0,905	
		0,930	
		0,960	
		0,996	
		1,036	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,307 0,399 0,469 0,532 0,592 0,651 0,704	$\varphi_{\text{зи}} = 0,7$	0,807 0,878 0,905 0,925 0,948 0,977 1,009
		0,630	
		0,711	
		0,756	
		0,792	
		0,829	
		0,866	
		0,903	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	0,018 0,126 0,217 0,294 0,363 0,423 0,470	$\varphi_{\text{зи}} = 0,8$	0,691 0,771 0,810 0,839 0,868 0,900 0,930
		0,454	
		0,548	
		0,607	
		0,655	
		0,697	
		0,737	
		0,770	
30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°	-0,272 -0,146 -0,036 -0,057 0,133 0,194 0,235	$\varphi_{\text{зи}} = 0,9$	0,574 0,655 0,716 0,753 0,788 0,822 0,851
		0,278	
		0,385	
		0,459	
		0,517	
		0,566	
		0,607	
		0,637	

Таблиця 5.5

Значення коефіцієнта A_z для твердого супіску

Кут захвату γ_{xz} , град.	Задній кут α_z , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{yz} = 0$		
30°	-2,361	-0,970	-0,277	0,138	0,414
40°	-1,666	-0,578	-0,034	0,294	0,515
50°	-1,295	-0,378	0,083	0,363	0,553
60°	-1,094	-0,279	0,132	0,383	0,554
70°	-0,999	-0,246	0,136	0,370	0,529
80°	-0,982	-0,261	0,105	0,329	0,482
90°	-1,031	-0,320	0,040	0,261	0,412
			$\varphi_{yz} = 0,6$		
30°	-9,449	-5,735	-3,867	-2,736	-1,975
40°	-7,242	-4,347	-2,888	-2,003	-1,404
50°	-6,019	-3,585	-2,355	-1,607	-1,099
60°	-5,304	-3,147	-2,055	-1,389	-0,935
70°	-4,901	-2,909	-1,900	-1,282	-0,861
80°	-4,717	-2,815	-1,850	-1,259	-0,854
90°	-4,713	-2,839	-1,888	-1,305	-0,907
			$\varphi_{yz} = 0,7$		
30°	-10,631	-6,529	-4,465	-3,216	-2,373
40°	-8,171	-4,976	-3,364	-2,386	-1,724
50°	-6,806	-4,119	-2,762	-1,936	-1,374
60°	-6,006	-3,625	-2,420	-1,684	-1,183
70°	-5,551	-3,353	-2,239	-1,558	-1,093
80°	-5,340	-3,241	-2,175	-1,523	-1,077
90°	-5,327	-3,259	-2,209	-1,566	-1,127
			$\varphi_{yz} = 0,8$		
30°	-11,812	-7,324	-5,063	-3,695	-2,771
40°	-9,101	-5,604	-3,840	-2,769	-2,044
50°	-7,593	-4,654	-3,168	-2,264	-1,650
60°	-6,708	-4,103	-2,784	-1,979	-1,431
70°	-6,201	-3,797	-2,578	-1,833	-1,324
80°	-5,962	-3,666	-2,501	-1,788	-1,300
90°	-5,941	-3,679	-2,531	-1,828	-1,347
			$\varphi_{yz} = 0,9$		
30°	-12,994	-8,818	-5,662	-4,174	-3,170
40°	-10,030	-6,232	-4,316	-3,152	-2,364
50°	-8,381	-5,188	-3,575	-2,592	-1,925
60°	-7,409	-4,581	-2,149	-2,275	-1,679
70°	-6,851	-4,241	-2,918	-2,108	-1,556
80°	-6,585	-4,092	-2,827	-2,052	-1,522
90°	-6,555	-4,099	-2,852	-2,089	-1,566

Таблиця 5.6

Значення коефіцієнта A_z для твердого та
напівтвердого суглинку

Кут захвату γ_{zx} , град.	Задній кут α_z , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{zu} = 0$		
30°	-1,566	-0,489	0,046	0,366	0,579
40°	-1,039	-0,197	0,225	0,478	0,649
50°	-0,759	-0,048	0,309	0,525	0,672
60°	-0,608	0,023	0,342	0,536	0,668
70°	-0,539	0,045	0,341	0,521	0,645
80°	-0,530	0,029	0,312	0,486	0,604
90°	-0,571	-0,021	0,258	0,430	0,546
			$\varphi_{zu} = 0,6$		
30°	-8,605	-5,204	-3,492	-2,455	-1,755
40°	-5,565	-3,915	-2,579	-1,767	-1,217
50°	-5,432	-3,205	-2,079	-1,394	-0,928
60°	-4,769	-2,795	-1,795	-1,185	-0,770
70°	-4,391	-2,569	-1,646	-1,081	-0,695
80°	-4,215	-2,475	-1,592	-1,052	-0,682
90°	-4,205	-2,491	-1,620	-1,087	-0,723
			$\varphi_{zu} = 0,7$		
30°	-9,778	-5,990	-4,082	-2,925	-2,144
40°	-7,486	-4,535	-3,046	-2,141	-1,528
50°	-6,211	-3,731	-2,477	-1,713	-1,194
60°	-5,462	-3,265	-2,152	-1,472	-1,009
70°	-5,033	-3,005	-1,977	-1,348	-0,918
80°	-4,830	-2,893	-1,910	-1,308	-0,896
90°	-4,810	-2,902	-1,933	-1,340	-0,934
			$\varphi_{zu} = 0,8$		
30°	-10,951	-6,776	-4,671	-3,395	-2,533
40°	-8,407	-5,155	-3,513	-2,515	-1,839
50°	-6,990	-4,257	-2,875	-2,033	-1,461
60°	-6,155	-3,734	-2,508	-1,759	-1,249
70°	-5,675	-3,441	-2,308	-1,615	-1,141
80°	-5,444	-3,310	-2,227	-1,564	-1,111
90°	-4,416	-3,314	-2,247	-1,593	-1,146
			$\varphi_{zu} = 0,9$		
30°	-12,124	-7,562	-5,261	-3,865	-2,922
40°	-9,328	-5,775	-3,980	-2,890	-2,150
50°	-7,769	-4,783	-3,273	-2,353	-1,728
60°	-6,849	-4,204	-2,864	-2,046	-1,488
70°	-6,317	-3,876	-2,639	-1,882	-1,365
80°	-6,058	-3,728	-2,545	-1,820	-1,325
90°	-6,021	-3,725	-2,560	-1,846	-1,358

Таблиця 5.7

Значення коефіцієнта A_z для напівтвердої та
тугопластичної глини

Кут захвату γ_{zs} , град.	Задній кут α_z , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{зи} = 0$		
30°	-1,761	-0,607	-0,033	0,310	0,538
40°	-1,192	-0,290	0,161	0,433	0,616
50°	-0,890	-0,129	0,254	0,486	0,643
60°	-0,727	-0,051	0,291	0,499	0,640
70°	-0,652	-0,026	0,291	0,484	0,617
80°	-0,640	-0,042	0,262	0,447	0,574
90°	-0,684	-0,094	0,205	0,388	0,514
			$\varphi_{зи} = 0,6$		
30°	-8,811	-5,334	-3,584	-2,524	-1,809
40°	-6,731	-4,021	-2,654	-1,825	-1,263
50°	-5,576	-3,298	-2,147	-1,446	-0,970
60°	-4,900	-2,881	-1,859	-1,235	-0,810
70°	-4,516	-2,653	-1,708	-1,130	-0,735
80°	-4,338	-2,559	-1,655	-1,102	-0,724
90°	-4,329	-2,576	-1,686	-1,141	-0,768
			$\varphi_{зи} = 0,7$		
30°	-9,986	-6,122	-4,175	-2,996	-2,200
40°	-7,654	-4,643	-3,124	-2,201	-1,576
50°	-6,357	-3,826	-2,547	-1,768	-1,238
60°	-5,595	-3,353	-2,217	-1,524	-1,052
70°	-5,160	-3,090	-2,041	-1,399	-0,961
80°	-4,954	-2,978	-1,975	-1,361	-0,941
90°	-4,937	-2,989	-2,001	-1,396	-0,981
			$\varphi_{зи} = 0,8$		
30°	-11,161	-6,910	-4,767	-3,468	-2,592
40°	-8,577	-5,265	-3,593	-2,577	-1,889
50°	-7,138	-4,354	-2,947	-2,070	-1,507
60°	-6,291	-3,824	-2,576	-1,813	-1,293
70°	-5,804	-3,528	-2,374	-1,668	-1,186
80°	-5,571	-3,397	-2,294	-1,619	-1,157
90°	-5,544	-3,403	-2,316	-1,650	-1,195
			$\varphi_{зи} = 0,9$		
30°	-12,337	-7,698	-5,359	-3,741	-2,983
40°	-9,499	-5,886	-4,062	-2,954	-2,203
50°	-7,919	-4,882	-3,347	-2,412	-1,776
60°	-6,986	-4,296	-2,934	-2,102	-1,535
70°	-6,448	-3,966	-2,707	-1,937	-1,411
80°	-6,187	-3,817	-2,614	-1,877	-1,374
90°	-6,152	-3,817	-2,631	-1,905	-1,409

Таблиця 5.8

Значення коефіцієнта A_{γ}

Тип ґрунту	Кут захвату γ_{zx} , град.						
	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Напів-тверда глина	1,268	1,264	0,836	0,859	0,896	0,953	1,038
Туго-пластична глина	1,268	1,264	0,845	0,867	0,902	0,956	1,037
Твердий суглинок	1,237	1,241	0,795	0,825	0,871	0,941	1,045
Напів-твердий суглинок	1,237	1,241	0,807	0,835	0,878	0,945	1,043
Твердий супісок	1,360	1,330	0,785	0,811	0,858	0,934	1,048

Список використаної літератури

1. Кравець С. В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій : монографія. Рівне : Видавництво РДТУ, 1999. 277 с.

2. Кравець С. В., Нечидюк А. А., Косяк О. В. Машини для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення): підручник / за заг. ред. С. В. Кравця. Рівне : НУВГП, 2018. 270 с.

3. Кравець С. В., Кованько В. В., Лук'янчук О. П. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин та підземно рухомих пристроїв : монографія. Рівне : НУВГП, 2015. 322 с.

4. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Нечидюк А. А. Грунтозахисні та енергозберігаючі робочі процеси землерийно-ярусних машин : монографія / за заг. ред. С. В. Кравця. Рівне : НУВГП, 2024. 121 с.

5. 02-01-547М. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Розробка нових алгоритмів для розрахунків та конструювання машин і обладнання» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Кравець С. В. Рівне : НУВГП, 2023. 38 с.

6. Кравець С. В., Романовський О. Л. Визначення параметрів багатоярусних грунтозахисних робочих органів безтраншейних укладачів. *Гірн., буд., дор. та меліор. машини*. Київ, 1996. Вип. 50. С. 35–41.

7. Кравець С. В., Карнаухов М. М. Безвідвальний багатоярусний робочий орган для укладання трубопроводів. *Гірн., буд., дор. і меліор. машини: Респ.*

міжвід. наук.-техн. зб. Київ : КДТУБА, 1993. Вип. 48. С. 104–108.

8. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 124 с.

9. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Косяк О. В. Удосконалення принципу створення землерийно-ярусних машин. *Вісн. Харк. нац. авт.-дор. ун-ту: зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2012. С. 30–36.