



Національний університет
водного госпо,
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра будівельних, дорожніх, меліоративних,
сільськогосподарських машин і обладнання

02-01-325

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт
та розрахунково-графічної роботи
з дисципліни “Машини для прокладання підземних
комунікацій” для студентів спеціальності 7(8).05050308
“Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,
меліоративні машини і обладнання”
денної та заочної форм навчання

Затверджені
на засіданні методичної комісії
зі спеціальності 7(8).05050308
“Підйомно-транспортні,
дорожні, будівельні,
меліоративні машини і
обладнання”
Протокол № 3
від 30 грудня 2014р.

Рівне - 2015



Методичні вказівки для виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Машини для прокладання підземних комунікацій” для студентів спеціальності 7(8).05050308 “Підйомно-транспортні, дорожні, будівельних, меліоративні машини і обладнання” денної та заочної форм навчання / С.В. Кравець, А.А. Нечидюк, О.В. Косяк. - Рівне: НУВГП, 2015. - 35 с.

Упорядники: С.В. Кравець, д.т.н., професор,
А.А. Нечидюк, к.т.н., доцент,
О.В. Косяк, старший викладач.

Відповідальний за випуск – С.В. Кравець, д.т.н., професор,
завідувач кафедри будівельних, дорожніх,
меліоративних, сільськогосподарських машин і
обладнання.

Комп’ютерний набір, верстка: Змієвська О.Г.



Зміст

Вступ	3
1. Визначення форми і параметрів двох’ярусних безвідвальних робочих органів (Розрахунково-графічна робота).....	3
2. Визначення основних параметрів двох’ярусних ножів із плоскими різальними частинами (Практична робота №1).....	11
3. Визначення параметрів багатоярусних безвідвальних робочих органів, що працюють за принципом рівності об’ємних витрат ґрунту. (Практична робота №2).....	15
4. Визначення основних параметрів багатоярусних будівельних ЗРО, що працюють за принципом рівності масових витрат ґрунту (Практична робота №3).....	20
5. Визначення форми і параметрів багатоярусних робочих органів відвального типу (Практична робота №4).....	23
Список використаної літератури	34

© С.В. Кравець, 2015
© А.А. Нечидюк, 2015
© О.В. Косяк, 2015
© НУВГП, 2015



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 “Машини для прокладання підземних комунікацій” і набуттю практичних навичок до виконання інженерних розрахунків.

1. Визначення форми і параметрів двох’ярусних безвідвальних робочих органів

(Розрахунково-графічна робота)

Завдання. Визначити форму, параметри двох’ярусного безвідвального робочого органа. На основі цієї методики виконується розрахунково-графічна робота. (12 год.)

Варіанти завдань для розрахунків наведені в табл. 1.4.

Послідовність виконання роботи

1. Провести розрахунки форми, параметрів двох’ярусного безвідвального робочого органа (рис.1.1).
2. Викреслити в масштабі ескіз поздовжнього профілю двох’ярусного безвідвального робочого органа (рис.1.3).

Методика розрахунку

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

$$b_1 \geq b_2 = d + 2\delta_3 + 2t_{cm}, \text{ м} \quad (1.1)$$

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.

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

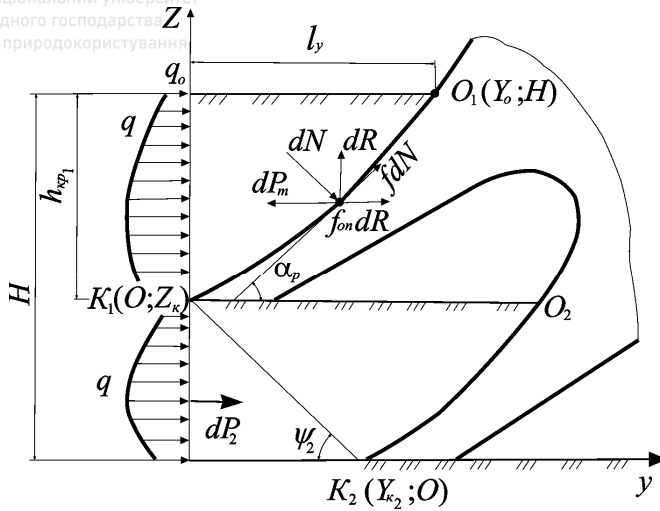


Рис. 1.1. Схема взаємодії двох'ярусного землерийного робочого органа з ґрунтом

$$h_{kp_{1,2}} = \frac{a_{1,2}}{(\operatorname{tg} \alpha_{p_{1,2}})^{n_{1,2}} k_{nep}} b, \text{ м} \quad (1.2)$$

де $a_{1,2}$ $n_{1,2}$ – коефіцієнти апроксимації, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту (табл. 1.1), k_{nep} – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання h_{kp} ($k_{nep} = 0,9 \dots 0,95$); $h_{kp} = h_c / k_{nep}$; α_p – кут різання.

Кути різання вибираються для верхнього ярусу: $\alpha_p = 25 \dots 50^\circ$; для нижнього: $\alpha_p = 20 \dots 30^\circ$.

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 туго пластична	2,635	0,691	1,770	0,540
Супісок твердий	3,504	0,794	1,564	0,658

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



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

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 $Z_{яp}$ 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

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

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

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

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

$$\text{де } \varphi_\alpha = \pi - \alpha_{p2} - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_0}. \quad (1.8)$$

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

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

$$k_2 = \left[(1 - ff_{on}) + (f + f_{on}) ctg\alpha_{p2} \right] q_{сep} + \left(\frac{H_{max}}{b} \right) \frac{K_y}{k_{неp}}, \text{ МПа} \quad (1.9)$$

де f - коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f=tg\varphi$); f_{on} - коефіцієнт опору переміщенню ($f_{on}=0,1$); K_y – коефіцієнт по Вайнсону А.А. ($K_y=0,02\dots0,04$)



Таблиця 1.2.

Характеристика талих ґрунтів

Національний університет
цивільного інженерства
та архітектури України

Тип ґрунту	Коефіцієнт консистен- ції, B_k	Коефіці- єнт зчепле- ння, c , МПа	Кут внутріш- нього тертя, φ_0 , град.	Кут зовні- шнього тертя, φ , град.	Питома сила тяжіння ґрунту в природному стані, $\gamma_{pr} // \rho_{pr}$ МН/м ³ //т/м ³	Щільність ґрунту в зруйнова- ному стані, $\rho_{зр}$, т/м ³	Несуча спромож- ність ґрунту, $q_{кр}$, МПа	Кількість ударів щільномера, $c_{уд}$, (категорія)
Супісок твердий	$B_k < 0$	0,02	28	25	0,02//2,0	1,770	0,37	5...8 (II)
Суглинок напів- твердий	$0 < B_k < 0,25$	0,04	23	21	0,021//2,1	1,735	0,55	5...8 (II)
Глина тугоплас- тична	$0,25 < B_k < 0,5$	0,04	18	22	0,02//2,0	1,575	0,48	5...8 (II)
Суглинок твердий	$B_k < 0$	0,06	25	21	0,022//2,2	1,818	0,85	9...16 (III)
Глина напівтверда	$0 < B_k < 0,25$	0,06	20	22	0,021//2,1	1,628	0,73	13...18 (III з переходом на IV)
Глина тверда	$B_k < 0$	0,1	22	22	0,022//2,2	1,705	1,25	23...29 (IV)



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

$$\frac{(f + f_{on} - \varphi_{зч})n_1 + (1 + n_1)[1 + (\varphi_{зч} - f_{on})f]\dot{z}_k}{\dot{z}_k^{m_1 - (n_1 - 1)}} = \frac{\eta_1 a_1}{(q_{кр} - q_0)k_{пер}} [k_2 - q_0 (1 + (\varphi_{зч} - f_{on})f)] \quad (1.10)$$

де $\varphi_{зч}$ - коефіцієнт зчеплення рушія з опорною поверхнею (для розрахунків приймаємо $\varphi_{зч}=0$); $\dot{z}_k = \frac{dz}{dy} \Big|_{z=z_k}$.

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

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

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

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

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

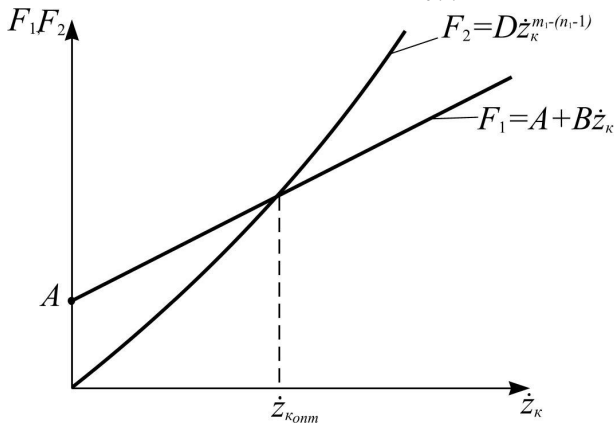


Рис. 1.2. Графічний спосіб вирішення рівняння (1.11)



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

$$h_{kp1} = \frac{a_1 b_1}{z_{конм}^{n_1} k_{неp}}, \text{ м} \quad (1.13)$$

8. Знайти глибину різання для нижньої ріжучої частини:

$$z_{к} = H - h_{kp1}, \text{ м} \quad (1.14)$$

9. Провести побудову профілю нижньої різальної частини за залежністю:

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

10. Визначити критичну глибину різання для нижньої різальної частини:

$$h_{kp2} = \frac{a_2 b_2}{(tg \alpha_{p2})^{n_2} k_{неp}} \text{ м} \quad (1.16)$$

Кут різання α_{p2} визначаємо із графіка поздовжнього профілю нижньої різальної частини.

11. Перевірити умову $z_{к} \leq h_{kp2}$.

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

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

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

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнтів апроксимації форми поздовжнього профілю
двох'ярусних 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



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

$$y_{\kappa_2} = (H - h_{кр1}) \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_{p_2} + \operatorname{ctg} \psi_2) \text{ м.} \quad (1.18)$$

14. Визначити загальний опір різанню для режиму заглиблення:

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

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

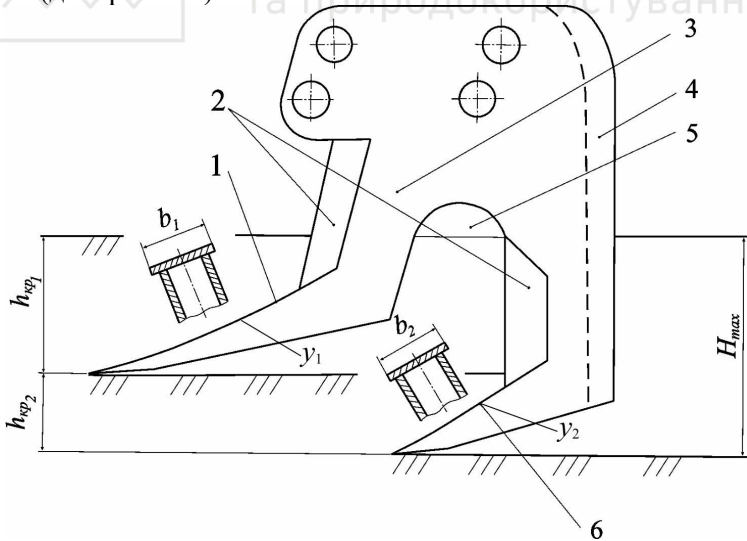


Рис. 1.2. Принципова схема двох'ярусного землерийного робочого органа з криволінійними різальними частинами: 1 - передня різальна частина; 2 - вертикальні клиновидні розтиначі; 3 - стояк; 4 - трубнопрямний тракт; 5 - прохідне вікно; 6 - задня різальна частина



Варіанти завдань до розрахунково-графічної роботи

Варіанти	Тип ґрунту	Глибина укладання, H_{\max} , м	Діаметр ЛПО, d , м	Товщина бічних стінок, t_{cm} , м	Кут поздовжнього зсуву ґрунту, ψ_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 тугоплас- тична	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	



(Варіанти завдань – табл. 2.1)

2. Визначення основних параметрів двох'ярусних ножів із плоскими різальними частинами

Таблиця 2.1

Варіанти завдань до практичної роботи №1

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

До основних параметрів двох'ярусних ножів належать: їх ширина, кути і глибина різання, питомий опір різанню наступним (нижнім) ножем, зміщення ножів по горизонталі (рис. 2.1).

1. Визначасмо ширину ножів.

$$b = d_{n,k} + 2 \cdot t + 2 \cdot \delta, \text{ м} \quad (2.1)$$

де $d_{n,k}$ – максимальний діаметр підземних комунікацій; t – товщина бокової стінки ножа ($t=0,02 - 0,025$, м); δ - зазор між підземним об'єктом, що укладається, та боковими стінками ножа ($\delta=0,01-0,02$, м).

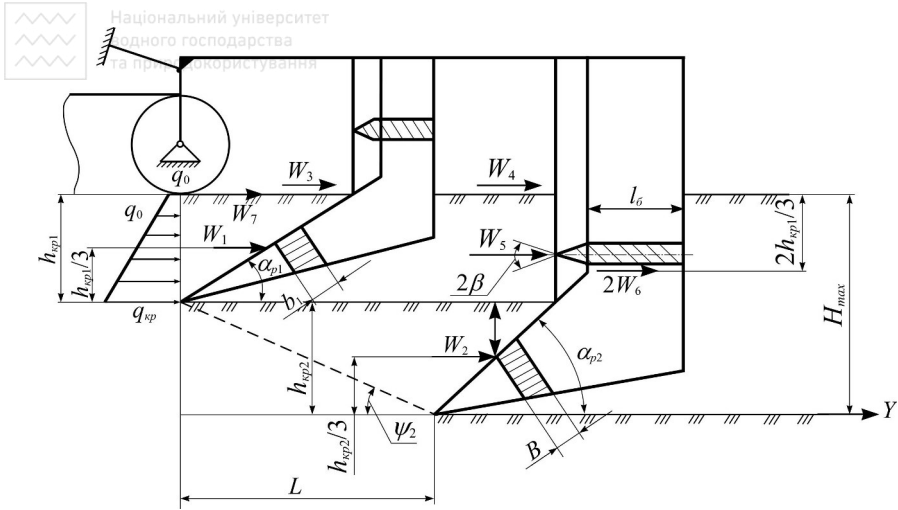


Рис. 2.1. Схема двох'ярусної розробки щілини

2. Кут різання $\alpha_{р2}$ визначається із умови різання з відділенням стружки ґрунту на максимальну проектну глибину укладання підземного об'єкта, тобто, маючи задане відношення $\frac{H_{max}}{b}$ і тип ґрунту із рис. 2.2, визначаємо $\alpha_{р2}$.

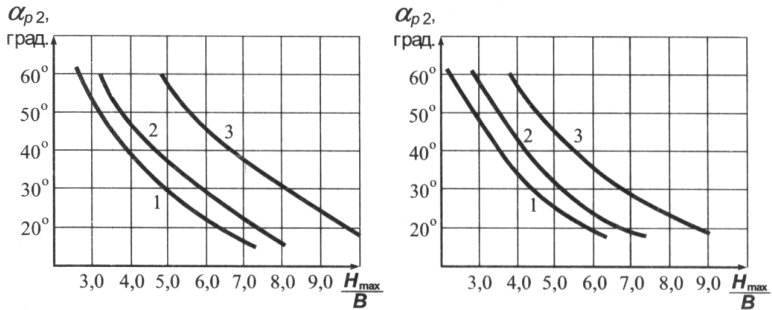


Рис 2.2. Залежність кута різання подальшого ножа від відносної глибини щілини, що нарізується:

а – при опорі на базу; б – при опорі на лижу;

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

Для двоножових систем відношення H_{max}/b не повинно перевищувати: для твердого супіску 8,8...10,0; для напівтвердого суглинку 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 різанню k_2 залежно від кута різання α_{p_2} під час розробки ґрунту на критичну глибину приведені в таблиці 2.2. Для ґрунтів і кутів різання, які не представлені в таблиці, вираховуємо k_2 за залежністю (1.9)

Таблиця 2.2
Значення питомого опору різанню k_2 , МПа

Кут різання, α_{p_2} , град.	При опорі робочого органа на базу			При опорі робочого органа на лижку		
	твердий супісок	напівтвердий суглинок	напівтверда глина	твердий супісок	напівтвердий суглинок	напівтверда глина
20	0,846	0,959	1,06	1,03	1,19	1,33
30	0,692	0,778	0,861	0,797	0,911	0,994
40	0,608	0,680	0,756	0,655	0,761	0,815
50	0,552	0,615	0,685	0,573	0,662	0,697
60	0,509	0,565	0,632	0,520	0,587	0,609

4. Оптимальний кут різання верхнього ножа визначається

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

де f - коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту (для супіску $f = 0,4$; для суглинку $f = 0,3$; для глинистих ґрунтів $f = 0,25$; для інших $f = \text{tg}\varphi$); f_{on} - коефіцієнт опору переміщенню ходового обладнання ($f_{on} = 0,1$); $q_{сеп}$ - 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

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

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; $k_{пер}$ - відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання $h_{кр}$ ($k_{пер} = 0,90 \dots 0,95$);

Таблиця 2.3
Значення коефіцієнтів апроксимації для різних типів ґрунту

Тип ґрунту	a_1	n_1	a_2	n_2	a_{ψ_1} , рад.	k_{ψ_1}	a_{ψ_2} , рад.	k_{ψ_2}
Твердий сугісок	3,504	0,794	1,564	0,658	0,986	-0,369	0,909	-0,302
Напівтвердий суглинок	2,921	0,711	1,654	0,593	1,175	-0,448	1,130	-0,396
Напівтверда глина	2,614	0,702	1,659	0,581	1,107	-0,360	1,024	-0,295

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

$$L \geq h_{кр2} \cdot (ctg \alpha_{p_2} + ctg \psi_2), \text{ м} \quad (2.4)$$

де ψ_2 - кут сколювання ґрунту наступним ножем.

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

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

7. Загальний опір переміщенню двох'ярусного безтраншейного укладача складається:

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

де W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 , W_6 , W_7 – опори, відповідно, сколюванню ґрунту першим та другим ножами, переміщенню опор ножів (W_3 , W_4), розрізанню ґрунту стояком другого ножа, тертю ґрунту по бокових стінках ножа і переміщенню ходового обладнання.

$$W_1 = q_{сеп} \cdot (1 + f \cdot ctg \alpha_{p_1}) \cdot b \cdot h_{кр1}, \text{ МН} \quad (2.7)$$



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

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

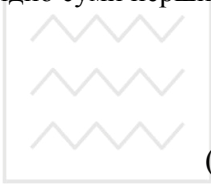
$$W_4 = q_{cep} \cdot (ctg \alpha_{p_2} - f) \cdot f_{on} \cdot b \cdot h_{kp_2}, \text{ МН} \quad (2.10)$$

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

$$W_6 = f \cdot \gamma_{ep} \cdot l_6 \cdot h_{kp_1}^2 \cdot tg^2(45^\circ - \frac{\varphi_0}{2}), \text{ МН} \quad (2.12)$$

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

де γ_{ep} - питома сила тяжіння ґрунту, МН; l_6 - довжина бокової грані ножа з укладальником; G_m - сила тяжіння машини, яку підбираємо згідно суми перших шести опорів; i - похил місцевості ($i=0,1-0,3$).



Практична робота №2

(Варіанти завдань – табл. 3.1)

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

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_{cm} , м	Глибина укладання H_{max} , м для пр. роб. №3
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



1	2	3	4	5	6
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	Супісок твердий	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 напівтвер- дий	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 тугоплас- тична	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

Завдання. Визначити основні, параметри триярусного безвідвального робочого органа (рис. 3.1.)

Послідовність виконання роботи

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

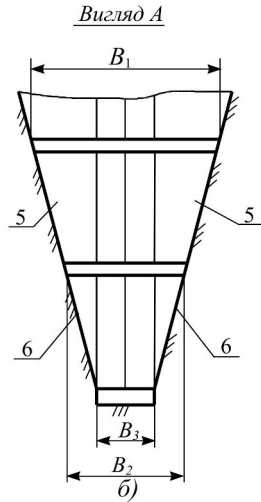
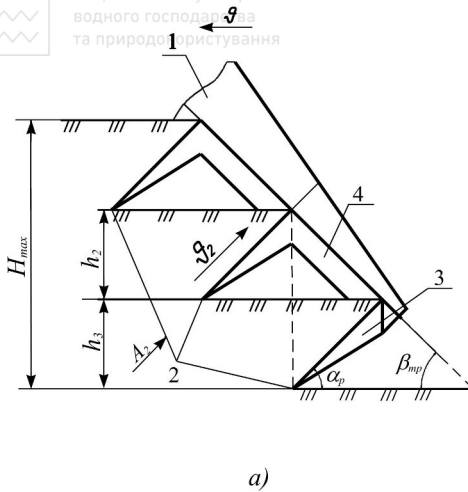


Рис. 3.1. Принципова схема триярусного ЗРО: а) – у профільній площині; б) – у фронтальній площині; 1 – рама-трубоукладач; 2 – різальні кромки; 3 – ґрунторозробні органи; 4 – клиновидний ґрунторозтинач; 5 – ґрунтопрхідні вікна; 6 – бічні стінки щілини.

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.

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

3. Визначити критичну глибину різання для самого нижнього ярусу:

$$h_3 = h_{кр} = \left(\frac{a_2 B_3}{\text{tg } \alpha_p} \right)^{n_2} k_{неp}, \text{ м} \quad (3.2)$$

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

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 ширини 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).

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

де ψ_2 – кут сколювання ґрунту в нижньому ярусі, визначається за залежністю (2.5); γ – кут розвалу щілини ($\gamma=80\dots90^\circ$), 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

$$h_1 = H_{max} - 2h_3, \text{ м} \quad (3.5)$$

8. Зобразити принципову схему триярусного ЗРО в масштабі.

9. Розрахувати опір ґрунту руйнуванню:

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3, \text{ МН} \quad (3.6)$$

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

$$P_3 = 0,5(q_0 + q_{kp})B_3 h_{kp_3} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ МН} \quad (3.7)$$



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

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

$$P_1 = q_{cp1} B_1 h_1 (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ МН} \quad (3.10)$$

$$q_{cp1} = q_o + 0,5 (q_{kp} - q_o) \frac{h_1}{h_{kp1}}, \text{ МН} \quad (3.11)$$

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

10. Знаючи опір ґрунту руйнуванню підібрати тягач.

11. Визначити ширину ярусів чотириярусного ЗРО для кутів різання $\alpha_p = 20 \dots 40^\circ$ по інтерпольованій залежності

$$B_k = A_k \alpha_p + D_k, \text{ м} \quad (3.12)$$

де A_k і D_k – коефіцієнти інтерполяції, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту (табл. 3.2.)

Таблиця 3.2

Значення коефіцієнтів інтерполяції для визначення ширини захвату чотириярусного ЗРО

Тип ґрунту	A_1 , м/рад	D_1 , м	A_2 , м/рад	D_2 , м	A_3 , м/рад	D_3 , м
Твердий суглинок	+1,246	-0,164	+0,601	+0,071	+0,606	+0,016
Твердий супісок	+1,343	-0,195	+0,533	+0,061	+0,608	+0,057
Напівтверда глина	+0,978	-0,084	+0,532	+0,085	+0,481	+0,077
Помилка інтерполяції %	тверд. сугл $\leq 11\%$		тверд. сугл $\leq 6,7\%$		тверд. сугл $\leq 4,7\%$	
	тверд. суп. $\leq 10\%$		тверд. суп. $\leq 10,9\%$		тверд. суп. $\leq 11,5\%$	
	напів. тверда $\leq 12\%$ глина		напів. тверда $\leq 2,7\%$ глина		напів. тверда $\leq 5,0\%$ глина	



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

Завдання: Визначити основні параметри багатоярусного безвідвального ЗРО, що працюють за принципом рівності масових витрат ґрунту в суміжних ярусах відповідно до вихідних даних за варіантом (див. табл. 3.1.)

Послідовність виконання роботи відповідно до методики розрахунку

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

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

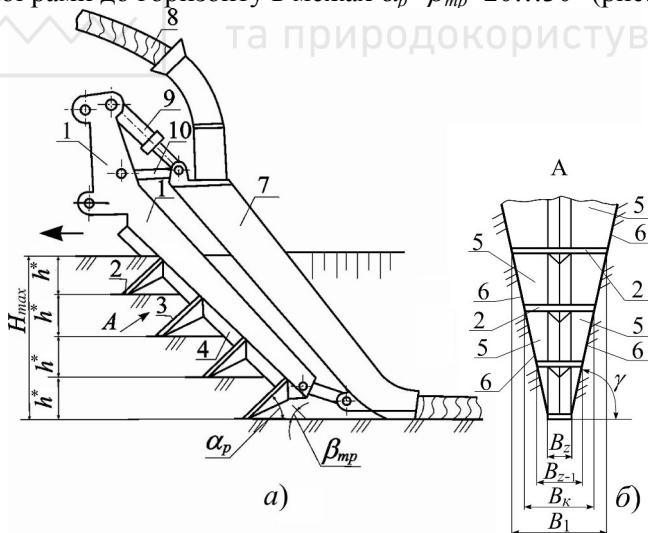


Рис. 4.1. Принципова схема чотириярусного безвідвального ЗРО: а) у профільній площині; б) у фронтальній площині: 1 – несуча рама; 2 – різальні кромки; 3 – ґрунтонаправляючі; 4 – клиновидний розтинач; 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини; 7 – укладач; 8 – ЛПО; 9 – гідроциліндр; 10 – тяга.



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

4. Визначають безрозмірний параметр

$$\theta = \frac{\rho_{зр} \sin \psi}{\rho_{нр} \sin \beta_{нр} \sin(\alpha_p + \psi)}, \quad (4.1)$$

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

5. Визначають оптимальну висоту ярусів $h_{яр}^*$, при якій сумарний опір переміщенню буде мінімальний із рівняння (4.2). Із збільшенням висоти ярусів (зменшенням їх кількості) зменшується ширина ярусів, а отже 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.

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

де B_z – ширина нижнього ґрунторозробного органа (3.1); δ_{zm} – величина затуплення різальних кромek ($\delta_{zm}=0,005\dots0,01$ 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 в межах $h^*=0.25\dots0,4$ м, а для $\alpha_p=30^\circ$ $h^*=0,3\dots0,6$ м.

6. Визначають кількість і ширини ґрунторозробних органів

$$z \geq \frac{H}{h_{яр}^*}; \quad B_\kappa = \left[1 + \frac{2(z - \kappa)}{3\Theta - 1} \right] B_z, \quad (4.3)$$

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-грунторозтинач із кутом загострення $2\beta \leq 36^\circ$.

8. Визначають нахил бокових стінок щілини до горизонту

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

9. Визначають ширину руйнування ґрунту на денній поверхні

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

10. Вираховують питомий опір багатоярусному різанню

$$K_1 = \left\{ (1 + \text{fctg} \alpha_p) \left[q_0 h_{яp}^* + \frac{q_{кр} - q_0}{2a_1 B_1} (\text{tg} \alpha_p)^{n_1} k_{неp} \frac{h_{яp}^{*2}}{2} \right] B_1 + \right. \\ \left. + (1 + \text{fctg} \alpha_p) \times \left[q_0 h_{яp}^* + \frac{q_{кр} - q_0}{2a_2 B_k} (\text{tg} \alpha_p)^{n_2} k_{неp} \frac{h_{яp}^{*2}}{2} \right] \sum_{\kappa=2}^{z_{яp}} B_\kappa + \right. \\ \left. + \delta_{3m} q_{кр} \sum_{\kappa=1}^z B_\kappa \right\} / \frac{B_z + B_0}{2} H_{max}, \text{ МПа} \quad (4.6)$$

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

$$K_2 = a_{k1} + b_{k2} \frac{\rho_{вих}}{\rho_{нр}}, \text{ МПа} \quad (4.7)$$

де a_{k1} , b_{k2} – коефіцієнти інтерполяції, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунтів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Коефіцієнти інтерполяції для визначення питомого зусилля деформування ґрунтів багатоярусними ЗРО

Тип ґрунту / Коефіцієнти	Тверд. супісок	Напівтв. суглинок	Тугопласт глина	Тверд. суглинок	Напівтв. глина
a_{k2} , МПа	-1,297	-0,715	-0,554	-1,274	-0,723
b_{k2} , МПа	1,768	0,968	0,748	1,720	0,980
Максимальна помилка інтерполяції	6,1%	8,6%	9,1%	9,7%	7,6%



12. Вираховують сумарний тяговий опір багатоярусного ЗРО за залежністю

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

13. По сумарному тяговому опору підбирають тягач.

Практична робота №4

(Варіанти завдань – табл. 5.1.)

5. Визначення форми і параметрів багатоярусних робочих органів відвального типу

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

Послідовність виконання роботи

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

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	2	3	4	5	6	7
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		1,00	0,04	0,020	0,003	0,040
8	Глина напів- тверда	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 напів- твердий	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 тугоплас- тична	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	

Методика розрахунку

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

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

3. Визначити кут захвату ґрунторозробних органів за залежністю

$$\gamma_{zx} = 80^\circ - 0,5(\alpha_s - 10^\circ), \text{ град} \quad (5.1)$$

4. Вибирають з таблиць 5.1...5.8 для найбільш важких умов експлуатації безтраншейних укладачів ($\varphi_{3ч}=0,6$) числові значення коефіцієнтів A_p, A_s, A_n .

5. Для заданих значень висоти ділянки затуплення h_{zm} різальних кромки та вертикального переміщення робочого органу у процесі витримування похилу дренажного ножа визначається висота ярусів:



$$h_{яр}^* = \sqrt{\frac{(A_я h_{зм} - A_з h_v) q_{кр} b}{A_p k_1 \left[q_o + \frac{(q_{кр} - q_o) (\operatorname{tg} \alpha_p)^{n_2} k_{пер}}{2 a_2} \right]}}, \text{ м} \quad (5.2)$$

де $h_{зм}$, h_v - висота затуплення різальних кромek і вертикальне переміщення ЗРО, м; k_1 - коефіцієнт збільшення висоти ґрунтового пласта у процесі відокремлення його від масиву, $k_1=1,2...1,3$.

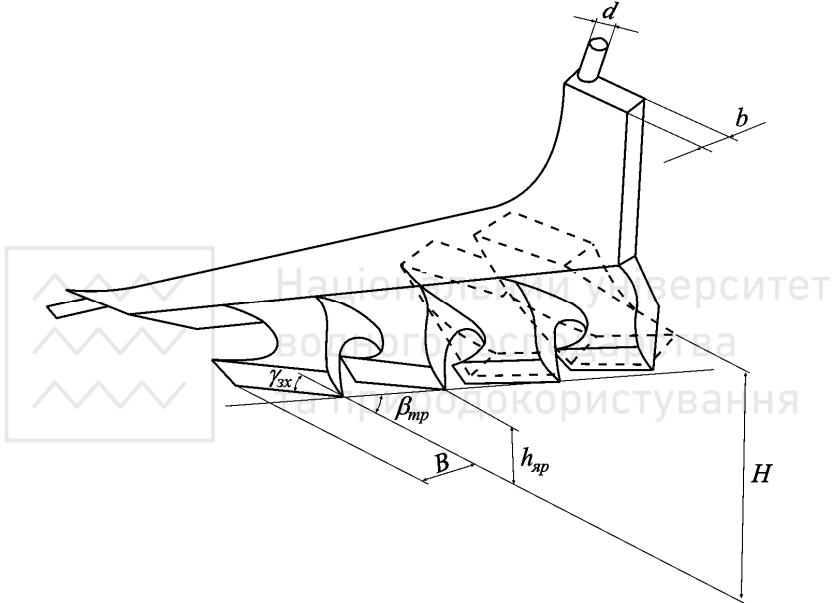


Рис. 5.1. Схема багаторусного робочого органа відвального типу і його основні параметри.

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

6. Ширина захвату землерийного робочого органа дорівнює:

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

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



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

Число ярусів необхідно заокруглити в більшу сторону до цілого числа.

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

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

де μ_0, μ_k - значення кутів між дотичною до направляючої кривої та горизонтальною віссю (y проєкції на профільну площину) у початковій та кінцевій точках кривої.

9. Будують у профільній площині направляючу криву згідно рівняння (рис. 5.2):

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

де $h_{мп}$ - висота транспортування ґрунту, м.

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

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

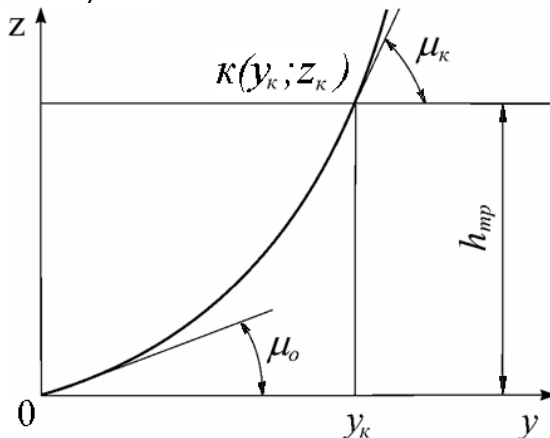


Рис. 5.2. Направляюча крива профілю відвала ЗРО.



12. Визначають сумарний опір переміщенню багаторусного плуга:

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma} = & A_p H_{max} \left(h_{яp}^* k_1 + b \right) \left[q_0 + \frac{(q_{кр} - q_0) h_{яp}^* k_{неp} (tg \alpha_p)^{n_2}}{2 a_2 (h_{яp}^* k_1 + b)} \right] + \\
 & + (A_{я} h_{зм} - A_3 h_v) \frac{H_{max}}{h_{яp}^*} (h_{яp}^* k_1 + b) q_{кр} + \\
 & + t_n H_{max} (1 + tg \varphi ctg \beta) \left(\frac{q_{кр}}{1 + tg \varphi ctg \beta} \right) + \\
 & + \frac{\gamma_{2p} (h_{яp}^* k_1 + b) h_{mp}}{1 - f f_0} \left[f \frac{g_r^2}{g h_{mp}} (\mu_k - \mu_0) + 1 + \frac{2 f}{tg \mu_0 + tg \mu_k} \right] \cos \mu_0, MH
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

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 ($f=tg \varphi$); g_r - відносна швидкість руху ґрунту по відвалу, м/с

$$g_r = \frac{g \sin \psi}{\sin (\alpha_p + \psi)},
 \tag{5.8}$$

де g - переносна швидкість руху укладача, м/с. Приймаємо $g=3,07$ км/год; g - прискорення вільного падіння, $g=9,81$ м/с²; γ_{2p} - питома сила тяжіння ґрунту, МН/м³.

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



Значення коефіцієнта A_p для твердого супіску

Кут захвату $\gamma_{зх}$, град.	Кут різання α_p , град.		
	20°	30°	40°
		$\varphi_{зч} = 0$	
30°	2,518	2,001	1,742
40°	2,463	1,969	1,717
50°	2,370	1,893	1,644
60°	2,320	1,843	1,588
70°	2,327	1,832	1,565
80°	2,391	1,863	1,579
90°	2,509	1,934	1,628
		$\varphi_{зч} = 0,6$	
30°	0,800	0,965	1,060
40°	0,852	1,014	1,101
50°	0,884	1,028	1,101
60°	0,927	1,046	1,102
70°	0,985	1,077	1,118
80°	1,057	1,121	1,149
90°	1,141	1,175	1,193
		$\varphi_{зч} = 0,7$	
30°	0,513	0,792	0,946
40°	0,583	0,854	0,998
50°	0,637	0,884	1,010
60°	0,695	0,913	1,022
70°	0,761	0,951	1,043
80°	0,835	0,997	1,078
90°	0,912	1,048	1,120
		$\varphi_{зч} = 0,8$	
30°	0,227	0,619	0,832
40°	0,315	0,695	0,896
50°	0,389	0,740	0,920
60°	0,462	0,781	0,941
70°	0,537	0,825	0,969
80°	0,613	0,873	1,006
90°	0,684	0,922	1,048
		$\varphi_{зч} = 0,9$	
30°	-0,059	0,446	0,718
40°	0,046	0,536	0,793
50°	0,142	0,596	0,829
60°	0,230	0,648	0,860
70°	0,314	0,699	0,894
80°	0,391	0,749	0,935
90°	0,456	0,795	0,9



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



Значення коефіцієнта A_p для напівтвердої та тугопластичної глини

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



Значення коефіцієнта A_z для твердого супіску

Кут захвату γ_{zx} , град.	Задній кут α_z , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{zu} = 0$		
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
			$\varphi_{zu} = 0,6$		
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
			$\varphi_{zu} = 0,7$		
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
			$\varphi_{zu} = 0,8$		
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
			$\varphi_{zu} = 0,9$		
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



Значення коефіцієнта A_z для твердого та напівтвердого суглинку

Кут захвату $\gamma_{зх}$, град.	Задній кут α_z , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{зч} = 0$		
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
			$\varphi_{зч} = 0,6$		
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
			$\varphi_{зч} = 0,7$		
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
			$\varphi_{зч} = 0,8$		
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
			$\varphi_{зч} = 0,9$		
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_3 для напівтвердої та тугопластичної глини

Кут захвату $\gamma_{3н}$, град.	Задній кут α_3 , град.				
	10°	15°	20°	25°	30°
			$\varphi_{3н} = 0$		
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
			$\varphi_{3н} = 0,6$		
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
			$\varphi_{3н} = 0,7$		
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
			$\varphi_{3н} = 0,8$		
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
			$\varphi_{3н} = 0,9$		
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



Значення коефіцієнта A_d

Тип ґрунту	Кут захвату $\gamma_{\text{зх}}$, град.						
	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Напівтверда глина	1,268	1,264	0,836	0,859	0,896	0,953	1,038
Тугопластична 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
Напівтвердий 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. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. - Рівне: Видавництво РДТУ, 1999. - 277 с.
2. Кравець С.В., Нечидюк А.А. Аналитический метод определения продольного профиля режущей части двухступенчатого ґрунторазрабатывающего органа /Горн., строит., дор. и мелиор. машины: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - К.: Техника, 1991, вып. 44, с. 39-45.
3. Ткачук В.Ф., Кравець С.В., Кравець Л.Б. Определение критической глубины резания ґрунта ножом // Горн., строит., дор. и мелиорат. машины: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - К.: Техніка, 1987, вып. 40, с. 22-28.
4. Кравець С.В., Романовський О.Л. Визначення параметрів багатоярусних ґрунтозахисних робочих органів безтраншейних укладачів // Гірн., буд., дор. та меліор. машини. - К., 1996, вип. 50. - с. 35...41.
5. Кравець С.В., Карнаухов М.М. Безвідвальний багатоярусний робочий орган для укладання трубопроводів // Гірн., буд., дор. і меліор. машини: Респ. міжвід. наук.-техн. зб. - К.: КДТУБА, 1993, вип. 48. - с. 104...108.



6. Кравець С.В., Каслин Н.Д., Руднев В.К., Супонев В.Н. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций/ Под ред. Руднева В.К.-Харьков: ООО «Фавор», 2008.-256 с.
7. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 124 с.
8. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Косяк О.В. Удосконалення принципу створення землерійно-ярусних машин. // Вест. Харьк. нац. ун-та: Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2012, с. 30...36.

