

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



02-01-592М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних, самостійної і розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія руйнування робочих середовищ» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Створення та експлуатація машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННМІ
Протокол № 4 від 31.12.2024 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних, самостійної і розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія руйнування робочих середовищ» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Створення та експлуатація машин і обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Кравець С. В., Степанюк Б. І. – Рівне : НУВГП, 2025. – 42 с.

Укладачі: Кравець С. В., д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин;
Степанюк Б. І., старший викладач 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.

Керівник групи забезпечення спеціальності Тхорук Є. І. к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Перевидання МВ 02-01-339

© С. В. Кравець,
Б. І. Степанюк, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

	ст.
1. Практична робота №1. Вибір та визначення вихідних даних ґрунтів для розрахунку машин.....	4
2. Практична робота №2. Визначення сили різання ґрунту за методикою А. М. Зеленіна.....	8
3. Практична робота №3. Визначення сили різання ґрунту за методикою Ю. О. Ветрова.....	13
4. Практична робота №4. Визначення сили різання ґрунту косим клином.....	28
5. Практична робота №4. Суть методу В. В.Соколовського	30
6. Розрахунково-графічна робота. Визначення критичної глибини різання ґрунту	33
Список використаної літератури	41

Практична робота №1

Тема: Вибір та визначення вихідних даних ґрунтів для розрахунку машин.

Мета роботи: по природній вологості ґрунту визначити тип ґрунту, його консистенцію і вибрати фізико-механічні показники ґрунту, які впливають на важкість його розробки, визначити несучу спроможність ґрунту коефіцієнт бокового тиску і кількість ударів щільноміра.

Якщо відомі показники консистенції, то вибирають для кожного типу ґрунту із таблиці числові значення коефіцієнта зчеплення (c), кутів внутрішнього (φ_0) і питому вагу ґрунту (γ_{zp}). Для глинистих ґрунтів значення цих показників приведені у (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристика глинистих ґрунтів відповідно до будівельних норм і правил

Консистенція ґрунту	Глина			Суглинок			Супісок		
	γ_{zp} , кН/м ³	φ_0 , град.	c , МПа	γ_{zp} , кН/м ³	φ_0 , град.	c , МПа	γ_{zp} , кН/м ³	φ_0 , град.	c , МПа
Тверда	21,5	22	0,1	21,5	25	0,06	20,5	28	0,02
Напів-тверда	21,0	20	0,06	21,0	23	0,04	20,0	26	0,015
Тугопластична	20,5	18	0,04	20,0	21	0,025	19,5	24	0,010
М'якопластична	19,5	14	0,02	19,0	17	0,015	19,0	20	0,005
Текучопластична	19,0	8	0,01	18,5	13	0,010	18,5	18	0,002
Текуча	18,0	6	0,005	18,0	10	0,005	18,0	14	0

Інша методика, яка розроблена у Національному університеті водного господарства та природокористування, дозволяє визначити необхідні показники, якщо відома тільки природна вологість ґрунту.

У цьому випадку тип ґрунту у першому наближенні можна визначити по найбільш ймовірній природній вологості ґрунту, яка знаходиться у межах: для пісків ($\omega = 7 \dots 10\%$); для супісків ($\omega = 10 \dots 15\%$); для суглинків ($\omega = 15 \dots 25\%$); для глин ($\omega = 25 \dots 35\%$).

Число пластичності, границі текучості і розкочування, а також показник консистенції необхідно визначити по кореляційних залежностях А. М. Зеленіна:

$$\omega_n = \omega - 8; \quad (1.1)$$

$$\omega_m = 14,8 + 1,2\omega_n = 1,2\omega + 5,2; \quad (1.2)$$

$$\omega_p = \omega_m - \omega_n = 0,2\omega + 13,2; \quad (1.3)$$

$$B'_k = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_m - \omega_p} = \frac{0,8\omega - 13,2}{\omega - 8}; \quad (1.4)$$

По числу пластичності ґрунти розділені наступним чином: пісок, супісок – ($\omega_n = 1 \dots 7$); суглинок – ($\omega_n = 7 \dots 17$); глина – ($\omega_n > 17$);

У залежності від показника консистенції ґрунти бувають твердої консистенції ($B'_k < 0$), напівтвердої ($0 \leq B'_k \leq 0,25$), тугопластичної ($0,25 \leq B'_k \leq 0,5$), м'якопластичної ($0,5 \leq B'_k \leq 0,75$), текучопластичної ($0,75 \leq B'_k \leq 1$), текучої ($B'_k > 1$).

Несуча спроможність ґрунту характеризується критичним тиском ґрунту на основу штамп (робочого органу) ($q_{кр}$), який руйнує ґрунт за рахунок зсуву і відділення ґрунту від масиву. Критичний тиск визначається по формулі Паукера:

$$q_{кр} = \gamma_{zp} \left(h_3 + \frac{c}{\gamma_{zp} \cdot \tan(\varphi_0)} \right) \cdot \text{tg}^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right); \quad (1.5)$$

де: h_3 – величина заглиблення штамп. (робочого органа).

Відношення приросту бокового тиску до приросту стискаючого (осьового) тиску характеризується коефіцієнтом

бокового тиску (ξ), який визначається по формулі Г. І. Покровського:

$$\xi = 1,0 - 0,74 \cdot \tan(\varphi_0) - \frac{1,52 \cdot c}{q_{кр}}; \quad (1.6)$$

Для пісків – ($\xi=0,4\dots0,45$); для суглинків – ($\xi=0,5\dots0,6$); для глини – ($\xi=0,6\dots0,7$).

Кореляційна залежність між числом ударів щільноміра ДорНДІ ($C_{y\theta}$) і вологістю ω має наступний вигляд:

$$C_{y\theta} = a \cdot e^{-b \cdot \omega}; \quad (1.7)$$

де: a і b – емпіричні коефіцієнти, які залежать від типу ґрунту; для глини ($a=118,6$ і $b=0,11$); для суглинку відповідно ($a=50,2$ і $b=0,12$); для супіску ($a=28,6$ і $b=0,13$).

Вихідні дані для найбільш ймовірних типів ґрунтів приведені у (табл. 1.2.)

Таблиця 1.2 – Характеристика найбільш ймовірних типів ґрунтів

Тип ґрунту	Природна вологість, ω , %	Коеф. констистенції, B'_k	Коеф. зчеплення, C , МПа	Кут внутр. тертя, φ_0 , град	Кут зовн. тертя, φ , град	Питома вага ґрунту, $\gamma_{сп}$, $\text{кН}/\text{м}^3$	Несуча спроможність ґрунту, $q_{кр}$, МПа	Кількість ударів щільноміра, $S_{уд}$ (кат.)
Твердий суцісок	10...14	$B'_k < 0$	0,02	28	25	20,5	0,37	5...8 (II)
Напівтв. суглинок	17...20	$0 < B'_k < 0,25$	0,04	23	21	21,0	0,55	5...8 (II)
Тугопл. глина	25...30	$0,25 < B'_k < 0,5$	0,04	18	22	20,5	0,48	5...8 (II)
Твердий суглинок	10...14	$B'_k < 0$	0,06	25	21	21,5	0,85	9...16 (III)
Напівтв. глина	17...20	$0 < B'_k < 0,25$	0,06	20	22	21,0	0,73	13...18 (III з переходом на IV)

Практична робота №2

Тема: Визначення сили різання ґрунту за методикою А. М. Зеленіна.

Мета роботи: навчитися визначати сили опору різанню згідно методики А. М. Зеленіна для елементарних профілів, для різання суцільними периметрами без зубів та для різання периметрами, які мають зуби.

Силу опору різання проф. А. М. Зеленін визначає через властивість ґрунту опиратися втисненню у ґрунт металічних штампів. Для оцінки опору ґрунту втисненню штампа використовують щільномір ДорНДІ, який називають ударником ДорНДІ (рис. 2.1.).

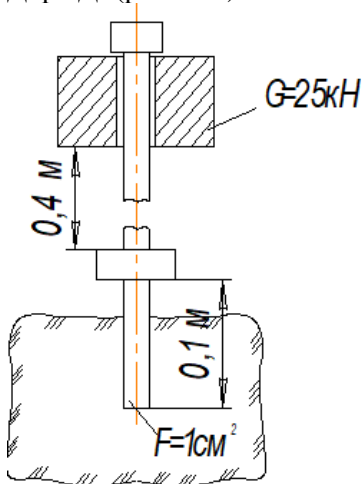


Рисунок 2.1 – Конструкція ударника

Принцип роботи щільно міра наступний. Вантаж вагою 25Н падає з висоти 0,4м на шайбу, яка приварена до стержня, виконує за кожний удар роботу (10 Н·м) Число ударів ($C_{y\partial}$), яке необхідно для посадки у ґрунт циліндричного наконечника з площею поперечного перерізу (1 см²) і з кутом загострення (180⁰) на глибину (0,1 м), характеризує несучу властивість ударника ДорНДІ ґрунтів. Досліди, які проведені А. М. Зеленіним, показали, що зусилля різання пропорціональні числу ударів

($C_{y\partial}$) ударника ДорНДІ. На основі своїх дослідів А. М. Зеленін запропонував наступні залежності для визначення сил різання:

– для елементарних профілів:

$$P = 10 \cdot C_{y\partial} \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 0,1 \cdot s) \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha_p}{180^\circ} \right) \cdot \beta_0, \text{ Н}; \quad (2.1)$$

де: $C_{y\partial}$ – число ударів динамічного щільноміра ДорНДІ ; h – глибина різання, см; s – товщина елементарного профілю, см; α_p – кут різання ножа, град; β_0 – коефіцієнт, який враховує вплив кута загострення елементарного профілю у плані.

Приведемо значення коефіцієнта (β_0) в залежності від кута загострення (β) у вигляді (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Значення коефіцієнта (β_0) в залежності від кута загострення (β)

Кут загострення профілю (β), град	180	120	90	60	50–15
Коефіцієнт (β_0)	1	0,96	0,90	0,83	0,81

Приведемо приклад по визначенню сили різання для елементарних профілів.

Задача 1. Визначте опір різанню за теорією А. М. Зеленіна для розпушувача талих ґрунтів. Дано: категорія ґрунту, ширина робочого органу, кут різання, кут загострення. Проаналізуйте вплив глибини різання на опір різанню.

Таблиця 2.2 – Таблиця варіантів вихідних даних до задачі №1

№	S	α_p	№	S	α_p	№	S	α_p
1	0,03	20	11	0,05	60	21	0,07	52
2	0,04	24	12	0,06	20	22	0,08	56
3	0,05	28	13	0,07	24	23	0,09	60
4	0,06	32	14	0,08	28	24	0,1	20
5	0,07	36	15	0,09	32	25	0,03	24
6	0,08	40	16	0,1	36	26	0,04	28
7	0,09	44	17	0,03	40	27	0,05	32

Продовження табл. 2.2

8	0,1	48	18	0,04	44	28	0,06	36
9	0,03	52	19	0,05	48	29	0,07	40
10	0,04	56	20	0,06	52	30	0,08	44

- для різання суцільними периметрами без зубів:

$$P = 10 \cdot C_{y\partial} \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,0075 \cdot \alpha_p) \cdot (1 + 0,03 \cdot s) \cdot \beta_0 \cdot \mu, \text{ Н}; \quad (2.2)$$

де: l – довжина горизонтальної різальної кромки робочого органу, м; μ – коефіцієнт, який враховує вид різання (для блокуваного різання ($\mu=10$); для напівблокуваного і вільного різання коефіцієнт μ вибирається із рис 2.2).

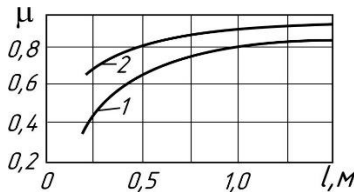


Рис. 2.2 – Залежність коефіцієнта (μ) від довжини горизонтальної різальної кромки ковша: 1 – для вільного різання; 2 – для напівблокуваного різання

Приведемо значення коефіцієнта (β_0) в залежності від кута загострення (β) у вигляді (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – значення коефіцієнта (β_0) в залежності від кута загострення (β)

Кут загострення профілю (β), град	45	60	90	180
Коефіцієнт (β_0)	1	1,01	1,03	1,05

Приведемо приклад по визначенню сили різання для різання суцільними периметрами без зубів.

Задача 2. Визначте опір різанню за теорією А. М. Зеленіна для ковша скрепера. Дано: категорія ґрунту, товщина стінок ковша (0,05), кут різання, кут загострення. Проаналізуйте вплив ширини ковша скрепера на опір різанню (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Таблиця варіантів вихідних даних до задачі №2

№	$l, \text{ м}$	α_p	β	№	$l, \text{ м}$	α_p	β	№	$l, \text{ м}$	α_p	β
1	0,5	20	45	11	2,5	25	45	21	1,5	30	45
2	1	25	60	12	3	30	60	22	2	35	60
3	1,5	30	90	13	0,5	35	90	23	2,5	40	90
4	2	35	120	14	1	40	120	24	3	45	120
5	2,5	40	180	15	1,5	45	180	25	0,5	50	180
6	3	45	45	16	2	50	45	26	1	55	45
7	0,5	50	60	17	2,5	55	60	27	1,5	60	60
8	1	55	90	18	3	60	90	28	2	20	90
9	1,5	60	120	19	0,5	20	120	29	2,5	25	120
10	2	20	180	20	1	25	180	30	3	30	180

Для різання периметрами, які мають зуби:

$$P = 10 \cdot C_{y\partial} \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,0075 \cdot \alpha_p) \cdot z, \text{ Н}; \quad (2.3)$$

де: z – коефіцієнт, який враховує вплив зубів.

Приведемо приклад по визначенню сили різання для різання периметрами, які мають зуби.

Задача 3. Визначте опір різанню за теорією А. М. Зеленіна для одноківшевого екскаватора та оптимальну кількість зубів ковша. Дано: категорія ґрунту, ширина ковша, кут різання, глибина різання, ширина зуба (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Таблиця варіантів вихідних даних до задачі №3

№	$l, \text{ м}$	α_p	№	$l, \text{ м}$	α_p	№	$l, \text{ м}$	α_p
1	0,25	20	11	1,25	25	21	0,75	30
2	0,5	25	12	1,5	30	22	1	35
3	0,75	30	13	0,25	35	23	1,25	40
4	1	35	14	0,5	40	24	1,5	45
5	1,25	40	15	0,75	45	25	0,25	50

Продовження табл. 2.5

6	1,5	45	16	1	50	26	0,5	55
7	0,25	50	17	1,25	55	27	0,75	60
8	0,5	55	18	1,5	60	28	1	20
9	0,75	60	19	0,25	20	29	1,25	25
10	1	20	20	0,5	25	30	1,5	30

Величина коефіцієнта (z) залежить від розмірів ковша (довжини різальної кромки (l)) і від співвідношення відстані між зубами (a_1) до ширини зуба (b_1). Значення коефіцієнта (z) в залежності від відношення (a_1/b_1) приведені нижче

a_1/b_1	1,0	2...3	4,0	5,0
z	1,2	1,0	1,1	1,25

Залежно від довжини різальної кромки значення z приведені на (рис. 2.3).

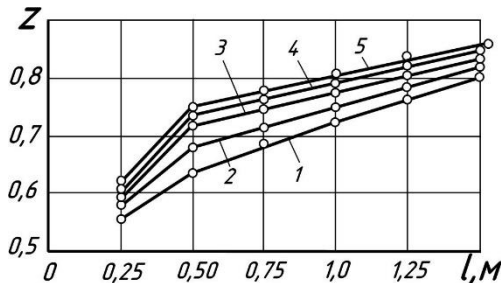


Рисунок 2.3. залежність коефіцієнта (z) від довжини горизонтальної кромки 1 – $h = 25$ см.; 2 – $h = 20$ см.; 3 – $h = 15$ см.; 4 – $h = 10$ см.; 5 – $h = 5$ см.

Залежності А. М. Зеленіна стали причиною наукових дискусій. Із них випливає, що сила різання є прискорено зростаючою функцією (F_g) товщини (глибини) зрізування. На цій основі зроблений невірний висновок про те, що енергоємність різання є зростаючою функцією товщини зрізу і повинна зменшуватися при ($h \rightarrow 0$). Іншими словами висновок полягає у тому, що раціонально розробляти ґрунт при заданій ширині

різання кількома тонкими стружками замість однієї товстої сумарної товщини.

Практична робота №3

Тема: Визначення сили різання ґрунту за методикою Ю. О. Вєтрова

Дослідження показали, що в процесі різання з відділенням стружки простим ножем ґрунт руйнується в межах прорізи трапецеїдального перерізу, причому характер і величина опорів різні в різних частинах прорізи. Тому силу різання (дотичну до траєкторії ножа) в розрахунках ділять на 4 частини, які відповідають відповідним опорам (рис. 3.1):

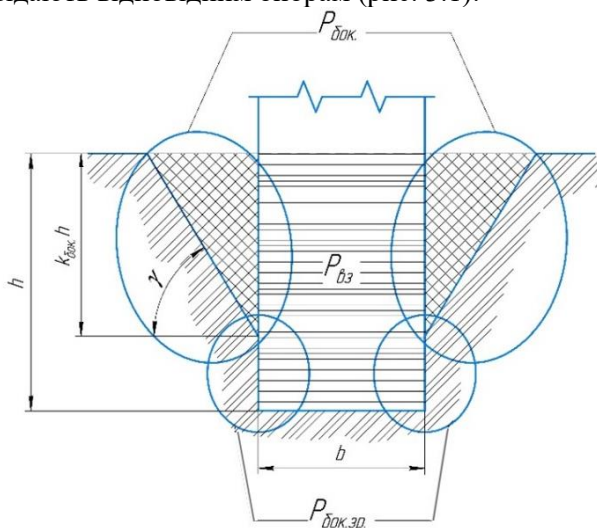


Рисунок 3.1 – Зони дії складових сили різання гострим ножем

а) силу для подолання лобових опорів ножа (так званого вільного зрізу) ($P_{вз}$), пропорційну площі середньої частини перерізу і ширині по дну (b) прорізи і залежить від кута різання (δ) і від міцності ґрунту;

б) силу руйнування ґрунту в бокових розширеннях прорізі ($P_{бок.}$), пропорційну площі їх перерізу. Ця сила залежить від міцності ґрунту і практично не залежить від кута різання і ширини зрізу;

в) силу бокового зрізу ($P_{бок.зр.}$), пропорційну товщині зрізу (h), залежить від міцності ґрунту і практично не залежить від ширини зрізу і кута різання;

г) силу $P_{пл.зн.(зат.)}$ для подолання опорів площадці зносу (чи затупленню ножа), пропорційну довжині ріжучої кромки, залежить від ширини а площадки зносу чи радіуса r затуплення, а також від товщини зрізу і не залежить від кута різання.

Сила блокованого різання простим ножем:

$$P = P_{вз.} + P_{бок.} + P_{бок.зр.} + P_{пл.зн.(зат.)}; \quad (3.1)$$

З врахуванням характеру сил, які складають силу різання, їх величину визначаємо за формулами:

$$\begin{cases} P_{вз.} = p_{вз.} \cdot F_{вз.}; \\ P_{бок.} = p_{бок.} \cdot F_{бок.}; \\ P_{бок.зр.} = p_{бок.зр.} \cdot L_{бок.зр.}; \\ P_{пл.зн.(зат.)} = p_{пл.зн.(зат.)} \cdot L_{пл.зн.(зат.)}. \end{cases} \quad (3.2)$$

де: $p_{вз.}$ і $p_{бок.}$ – питомі сили руйнування ґрунту відповідно в лобовій частині і в бокових розширеннях прорізі, даН/см² (кгс/см²); $F_{вз.}$ і $F_{бок.}$ – площі середньої (лобової) і бокових частин поперечного перерізу прорізі, см²; $p_{бок.зр.}$ – питома сила зрізу ґрунту боковими ребрами ножа у його ріжучої кромки, даН/см (кгс/см); $L_{бок.зр.}$ – загальна довжина ліній бокового зрізу ґрунту, см; $p_{пл.зн.(зат.)}$ – питома сила подолання опору ґрунту площадці зносу чи затупленню інструменту, яка приходить на одиницю довжини ріжучої кромки, даН/см (кгс/см); $L_{пл.зн.(зат.)}$ – довжина затупленої чи зношеної ріжучої кромки (при простому блокованому різанні вона рівна ширині зрізу (b), см.).

Тому сила блокованого різання затупленим або зношеним ножом дорівнює:

$$P = p_{\text{вз.}} \cdot F_{\text{вз.}} + p_{\text{бок.}} \cdot F_{\text{бок.}} + p_{\text{бок.зр.}} \cdot L_{\text{бок.зр.}} + p_{\text{пл.зн.(зат.)}} \cdot L_{\text{пл.зн.(зат.)}}; \quad (3.3)$$

Величини, що входять в цю формулу мають наступне значення.

Площа ($F_{\text{вз.}}$) рівна добутку ширини зрізу на його товщину:

$$F_{\text{вз.}} = b \cdot h; \quad (3.4)$$

Площу ($F_{\text{бок.}}$) визначаємо з врахуванням того, що розширення прорізі починається на глибині (h_1), яка менша товщини зрізу:

$$h_1 = k_{\text{бок.}} \cdot h; \quad (3.5)$$

де: $k_{\text{бок.}}$ – коефіцієнт глибини частини прорізі, що розширюється рівний для різних ґрунтів 0,80...0,95 (табл. 3.3).

Тоді, рахуючи бокові сторони частини прорізі, що розширюється приблизно прямолінійними і позначивши їхній кут нахилу через (γ), площу ($F_{\text{бок.}}$) можна визначити за формулою:

$$F_{\text{бок.}} = k_{\text{бок.}}^2 \cdot h^2 \cdot \cot(\gamma); \quad (3.6)$$

Довжину ($L_{\text{бок.зр.}}$) визначаємо із залежності:

$$L_{\text{бок.зр.}} = 2 \cdot h \cdot (1 - k_{\text{бок.}}); \quad (3.7)$$

Величину питомого опору ($p_{\text{вз.}}$) можна виразити множенням:

$$p_{\text{вз.}} = \varphi \cdot m_{\text{вз.}}; \quad (3.8)$$

де: φ – коефіцієнт впливу кута різання (табл. 3.4.); $m_{\text{вз.}}$ – питома сила різання в лобовій частині прорізі при куті різання 45° .

Множення ($p_{\text{бок.}} \cdot F_{\text{бок.}}$) виражаємо функцією другої степені товщини зрізу (h):

$$p_{\text{бок.}} \cdot F_{\text{бок.}} = p_{\text{бок.}} \cdot k_{\text{бок.}}^2 \cdot h^2 \cdot \cot(\gamma) = 2 \cdot m_{\text{бок.}} \cdot h^2; \quad (3.9)$$

де: $m_{\text{бок.}} = (1/2) \cdot p_{\text{бок.}} \cdot k_{\text{бок.}}^2 \cdot \cot(\gamma)$ – коефіцієнт, що характеризує силу руйнування ґрунту в бокових частинах прорізи.

Множення ($p_{\text{бок.зр.}} \cdot L_{\text{бок.зр.}}$) виражаємо функцією першої степені товщини зрізу (h):

$$\begin{aligned} p_{\text{бок.зр.}} \cdot L_{\text{бок.зр.}} &= p_{\text{бок.зр.}} \cdot 2 \cdot h \cdot (1 - k_{\text{бок.}}) = \\ &= 2 \cdot m_{\text{бок.зр.}} \cdot h; \end{aligned} \quad (3.10)$$

де: $m_{\text{бок.зр.}} = p_{\text{бок.зр.}} \cdot (1 - k_{\text{бок.}})$ – коефіцієнт, що характеризує питому силу зрізу ґрунту одним із бокових ребер ножа.

Питома сила ($p_{\text{пл.зн.}(зат.)}$) може бути виражена емпіричною формулою, яку виводять на основі експериментальних даних:

$$p_{\text{пл.зн.}(зат.)} = p_0 + p_{\text{усл}} \cdot \frac{h}{h + h_{\text{усл}}}; \quad (3.11)$$

де: p_0 , $p_{\text{усл}}$ і $h_{\text{усл}}$ – параметри, що характеризують опір ґрунтів пружно-пластичному стиску; величини цих параметрів для деяких із досліджених ґрунтів приведені в (табл. 3.5).

На основі приведених відомостей можна зробити висновок, що сила блокованого різання простим гострим ножом:

$$P = \varphi \cdot m_{\text{вз}} \cdot b \cdot h + 2 \cdot m_{\text{бок.}} \cdot h^2 + 2 \cdot m_{\text{бок.зр.}} \cdot h; \quad (3.12)$$

являється лінійною функцією ширини зрізу (b) і функцією другої степені товщини зрізу (глибини різання) (h).

Методика розрахунку

1. При вивченні відомостей про способи розрахунку сил різання звертаємо увагу на просторовий характер взаємодії ножа з ґрунтом і на великий вплив затуплення і зносу ножів на опір ґрунту. Потрібно чітко засвоїти суть і позначення величин, що входять в розрахункові формули.

2. Для розрахунків потрібно викреслити схеми (рис. 3.3.): а) положення відвала з позначенням розмірів зрізу; б) ґрунтового наросту на затупленні ножа з позначенням кута (δ_1) – нахилу його нижньої поверхні; в) прикладання середньомаксимальних сил різання. На схемах слід вказати розміри і величини згідно із завданням.

3. Вибираючи формулу для розрахунку, слід мати на увазі, що ріжуча частина бульдозера – простий ніж, відділяючий стружку. Тому розрахунок можна проводити за формулою (3.12). Однак в зв'язку з тим, що у завданні відомий тільки один параметр міцності ґрунту ($m_{\text{вз}}$), для розрахунку слід використати формулу орієнтовного визначення сили різання, яка для простого ножа набуде вигляду:

$$P = m_{\text{вз}} \cdot \left(\varphi \cdot F_{\text{вз}} + \eta_{\text{бок.}} \cdot F_{\text{бок.}} + \eta_{\text{бок.зр.}} \cdot L_{\text{бок.зр.}} + \eta_{\text{зат.}} \cdot h \cdot L_{\text{зат.}} \right); \quad (3.13)$$

В нашому випадку:

$$F_{\text{вз}} = b \cdot h; \quad (3.4)$$

$$F_{\text{бок.}} = k_{\text{бок.}}^2 \cdot h^2 \cdot \cot(\gamma); \quad (3.6)$$

$$L_{\text{бок.зр.}} = 2 \cdot h \cdot (1 - k_{\text{бок.}}); \quad (3.7)$$

Довжина затупленої чи зношеної ріжучої кромки ($L_{\text{зат.}}$) при простому блокованому різанні рівна ширині зрізу (b), см. ($L_{\text{зат.}} = b$).

4. Коефіцієнт впливу кута різання (φ) приймаємо по (табл. 3.4) у відповідності з величиною кута різання за завданням. Якщо в таблиці немає значення кута різання за завданням, шукану величину (φ) слід визначити інтерполяцією.

Для звичайних глинистих ґрунтів ($\eta_{\text{бок.}} = 0,36$); а ($\eta_{\text{бок.зр.}} = 13,7$); для піщаних ґрунтів (аргоніт, слабкий глинистий піщаник) ($\eta_{\text{бок.}} = 0,52$); а ($\eta_{\text{бок.зр.}} = 76$).

Величину ($\eta_{зат.}$) знаходимо по (табл. 3.6) у відповідності з радіусом затуплення ножа згідно із завданням.

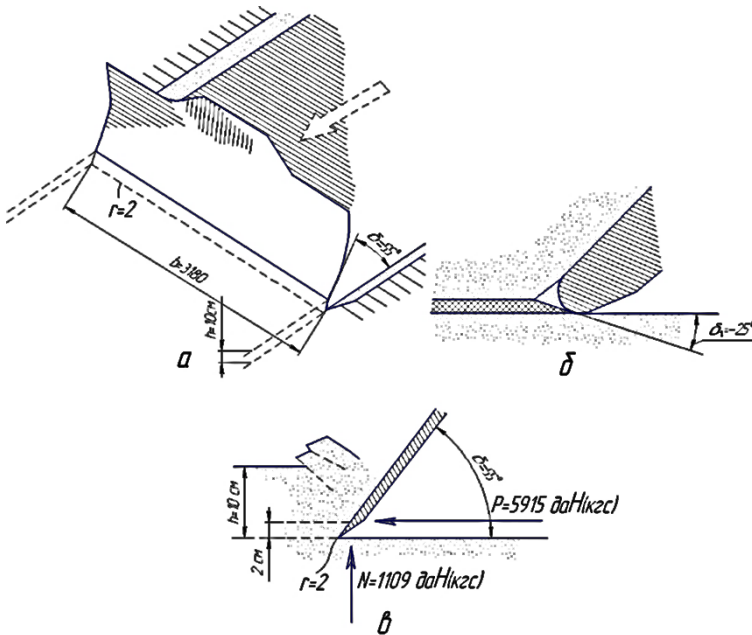


Рисунок 3.2 – Розрахункові схеми: а – положення відвала і розміри зрізу; б – ґрунтовий наріст на затупленні ножа і кут (δ_1); в – середньо-максимальні сили різання

Приклад. Обчислимо середньо максимальну силу різання ножем бульдозера Д-275 при відділенні стружки товщиною 10 см на суглинку, міцність якого ($m_{гз} = 1$ даН/см² (кгс/см²)). Ріжуча кромка ножа затуплена по радіусу ($r = 2$ мм).

Згідно технічної характеристики бульдозера (табл. 3.2.), ширина зрізу ($b = 3180$ мм); кут різання ($\delta = 55^\circ$). Значення коефіцієнта (φ) при куті різання ($\delta = 55^\circ$), згідно (табл. 3.4), рівне 1,7. Коефіцієнт ($\eta_{бок.}$) приймаємо рівним 0,36; коефіцієнт ($\eta_{бок.зр.} = 13,7$).

Значення коефіцієнта ($\eta_{зат.}$) (вплив затуплення ріжучої кромки) визначаємо по (табл. 3.6), із якої випливає, що при ($h = 10$ см. і $r = 2$ мм.):

$$\eta_{зат.} = 0,072 \cdot 2 = 0,144 \approx 0,14;$$

$$F_{вз.} = 10 \cdot 318 = 3180 \text{ см.}^2;$$

$$F_{бок.} = 0,8^2 \cdot 10^2 \cdot \cot(30^\circ) = 111 \text{ см.}^2;$$

$$L_{бок.зр.} = 2 \cdot 10(1 - 0,8) = 4 \text{ см.};$$

$$L_{зат.} = 318 \text{ см.}$$

Коефіцієнт ($k_{бок.}$) по даним (табл. 3.3) приймаємо рівним 0,8; кут ($\gamma = 30^\circ$).

Обчислимо значення параметрів із розрахункової формули (3.13).

Підставивши значення всіх параметрів в розрахункову формулу (3.13), отримаємо:

$$P = 1 \cdot (1,70 \cdot 3180 + 0,36 \cdot 111 + 13,7 \cdot 4 + 318 \cdot 10 \cdot 0,14) = 5946 \text{ даН (кгс)}$$

Із розрахунку випливає, що при розмірах зрізу, які відповідають бульдозеру Д-275, основна частина опорів приходить на опори лобові і опори затупленню ножа.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань до вправи

Варі-ант	Буль-дозер	Тов-щина зрізу h , см	Коефіцієнт міцності ґрунту $m_{вз.}$, даН/см ² (кгс/см ²)	Радіус затуплення кромки ножа r , мм
1	Д-449	9	1,5	3
2		10	1,2	5
3		11	1	4
4		12	0,7	3
5		13	0,5	2

Продовження табл. 3.1

6	Д-535	10	1,2	5
7		12	1,1	4
8		13	1	4
9		14	0,7	3
10		15	0,5	2
11	Д-271	10	1,6	4
12		12	1,4	5
13		14	1,2	4
14		16	1	3
15		18	0,8	2
16	Д-494	9	1,5	5
17		11	1,3	4
18		13	1,1	3
19		15	0,9	3
20		17	0,7	2
21	Д-275	10	1,6	5
22		12	1,4	4
23		14	1,2	4
24		16	1	3
25		18	0,8	2
26	Д-459	8	1,4	5
27		9	1,1	3
28		10	1	4
29		11	0,8	3
30		12	0,6	2
31	Д-290	10	1,5	5
32		11	1,4	4
33		13	1,2	4
34		14	1	3
35		15	0,8	2

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики бульдозерів

Показники	Марка									
	неповоротні					універсальні				
	Д-449	Д-535	Д-271	Д-494	Д-275	Д-459	Д-290	Д-449	Д-535	Д-271
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ширина відвалу b, мм	2000	2560	3030	3030	3050	3500	4480	2000	2560	3030
Висота відвалу H _{вп} , мм	500	800	1100	1000	1385	800	1270	500	800	1100
Кут різання у ножів δ, град	60	55	52-62	55-65	50-60	60	51-57	60	55	52-62
Кут установки відвала в плані, град	90	90	90	90	90	90;50	90;62	90	90	90
Управління відвалом	Гідравлічне					Канатне				
Тип трактора-тягача і його марка	Колісний					Гусеничний				
Потужність двигуна, л.с.	МТЗ-5М	ДТ-75	Т-100М		Т-140	ДТ-54	Т-140	МТЗ-5М	ДТ-75	Т-140
	45	75	108	140	140	54	140	45	75	140
Вага обладнання бульдозера, даН (кгс)	540	835	1600	1530	2563	1040	3510	540	835	1600
Вага трактора з обладнанням бульдозера, даН (кгс)	3770	6485	13300	13530	17980	7240	18930	3770	6485	13300

Продовження табл. 3.2

Показники	Марка							
	неповоротні							
	Д-449	Д-535	Д-271	Д-494	Д-275	універсальні		
2	3	4	5	6	Д-459	7	Д-290	
1	3	4	5	6	7	8	8	
Швидкість на передачах, км/год.:								
I	6,32	5	2,36	2,38	2,38	3,59	2,38	
II	7,76	5,58	3,78	4,21	4,21	4,65	4,21	
III	9,9	6,21	4,51	5,8	5,8	5,43	5,8	
IV	16,2	6,9	6,45	7,87	7,87	6,28	7,87	
V	22,3	7,67	10,15	10,9	10,9	7,9	10,9	
Тягове зусилля на передачах, даН (кєс):								
I	18000	3000	1000	14400	14400	2850	14400	
II	-	2637	5200	7400	7400	2100	7400	
III	-	2341	4400	5400	5400	1750	5400	
IV	-	2048	2700	3600	3600	1450	3600	
V	300	1700	1500	2350	2350	1000	2350	

Таблиця 3.3 – Розмірна характеристика зони руйнування ґрунту при блокованому різанні, середній коефіцієнт варіації опору різанню і коефіцієнт енергоємності різання ґрунтів по даних досліджень

Ґрунт	Стан ґрунту		Розмірна х-ка зони руйнування		Середній коефіцієнт варіації	Коефіцієнт енергоємності k_e
	вологість, %	покази щільності $\rho_{\text{пн}}/\rho_{\text{пн}}$	$k_{\text{бок}} = \frac{h_1}{h}$	$\gamma, \text{град}$		
Пісок дрібнозернистий білий	14,2	0,5-1	0,73	46	0,14	0,92
Пісок середньозернистий	6,8	1-1,5	0,7	40	0,19	0,8
Суглинок	19-20	4-4,5	0,78	В середньому	0,11	0,87
Важкий суглинок	19	4	0,85	40	-	-
Важкий суглинок порушеної форми	19	4	0,7	45	-	-
Лісовидний суглинок	14,3	23	0,73	45	0,18	0,88
Сіро-зелена мергельна глина	36,4	10	0,83	35	0,23	0,82
Темно-сіра глина з вапняковими вклученнями	41	11	0,72	30	0,16	0,84
Ґлина	20,6	4-5	0,85	36	0,28	0,9
Ґлина яблучно-зелена клубкова	27,6	4	0,8	35	0,12	0,94

Продовження табл. 3.3

Аргіліт	13,4	60	0,9	30	-	-
Слабий піщаник на глинистому цементі, який переходить в алевроліт	16,4	15-16	0,9	30	-	-
Мергель	20	28	0,92	29	0,21	0,81
Замерзла глина	20	до 180	0,96	30	0,26	0,56
Крейда	5,2	-	0,9	Біля 30	0,23	0,74
Фосфорити: слабі	20,4	-	0,8	30-35	0,22	0,7
конгломерати	5,5	-	0,7	35	0,41	0,7
плитні	20,4	-	0,7	30	0,32	0,6

Таблиця 3.4 – Коефіцієнт (φ) по даних досліджень

Кут різання δ , град	Значення (φ) для ґрунтів		
	Пластичних глинистих	Шаруватих при різання вздовж шарів	піщано-глинистих, малопластичних
25	0,59	1,13	0,78
30	0,66	1	0,78
32,5	0,7	0,93	0,78
35	0,74	0,85	0,78
37,5	0,78	0,78	0,78
40	0,85	0,85	0,85
42,5	0,93	0,93	0,93
45	1	1	1
47,5	1,13	1,13	1,13
50	1,35	1,35	1,35
52,5	1,53	1,53	1,53
55	1,7	1,7	1,7
57,5	1,88	1,88	1,88
60	2,05	2,05	2,05

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнтів для обчислення додаткової сили різання, яка викликається зносом інструменту

Ґрунт	Розміри, мм		P_0 даН/см (кгс/см)	$P_{усл.}$ даН/см (кгс/см)	$h_{усл.}$, см
	Ширина площадки зносу a	Радіус затуплення r			
Замерзла коричнева глина	-	5	51,8	214,5	3,05
	40	-	131,6	165,9	1,3
Сіро-зелена мергельна глина	50	19	6,1	74,4	139,8
	-	-	11,3	61,9	63,9
Суглинок коричневий	40	15	5	24,2	55,5
	-	-	3	62,4	66

Таблиця 3.6 – Величини $\left(\frac{\eta_{зат.}}{r}\right)$ і $\left(\frac{\eta_{пл.зн}}{a}\right)$ при куті різання 45°

по даних досліджень

Глибина різання h , см	$\frac{\eta_{зат.}}{r}$	$\frac{\eta_{пл.зн}}{a}$	Глибина різання h , см	$\frac{\eta_{зат.}}{r}$	$\frac{\eta_{пл.зн}}{a}$
1	0,240	1,210	25	0,049	0,129
2	0,158	0,700	30	0,045	0,116
3	0,127	0,525	35	0,042	0,107
4	0,109	0,420	40	0,040	0,100
5	0,096	0,360	45	0,038	0,095
10	0,072	0,224	50	0,037	0,091
11	0,061	0,175	55	0,036	0,081
20	0,054	0,137	-	-	-

Таблиця 3.7 – Класифікація ґрунтів по параметру $m_{ср} = P_{вз}^{\delta=45^\circ}$
(середньо-максимальний опір вільному зрізу при куті різання
 45°)

Кате- горія	ґрунти	$m_{вз.}$ $\frac{даН}{см^2}$ ($\frac{кгс}{см^2}$)
I	<i>Досить слабкі</i> Піски, супіски, легкі суглинки без включень, а також сипучі і дрібно шматкові матеріали, які не володіють зчепленням (гравій і щебінь в штабелях і т. п.)	До 0,5
II	<i>Слабкі</i> Суглинки без включень в стані середньої вологості, легкі глини середньої і підвищеної вологості	0,5-1

Продовження табл.3.7

III	<i>Середньої міцності</i> Щільні суглинки при малій вологості, тяжкі суглинки з включенням гравію і гальки, глини середньої щільності, слабкі аргіліти і алевроліти, слабкоцементована марганцева і фосфорна руди	1-2,5
IV	<i>Підвищеної міцності</i> Алевроліти і аргіліти середньої міцності, слабкі піщаники на глинистому цементі, слабкі мергелі і опоки, крейда при підвищеній вологості, щільна спондилова глина, кембрійська глина, слабке буре вугілля, марганцеві і фосфорні руди зниженої міцності	2,5-5
V	<i>Міцні</i> Щільні карбонові глини, малозволожена крейда, слабкі вапняки-черепашники, буре вугілля пониженої міцності, підірвана гірська порода, яка розроблюється однокішневим екскаватором при розмірах кусків до 0,3-0,4 ширини ковша, замерзлий вологий пісок, марганцеві і фосфорні руди середньої міцності	5-10
VI	<i>Досить міцні</i> Вапняки-черепашники середньої міцності, досить щільні карбонові глини, слабкі піщаники, крейда з включеннями більш твердих порід, мергель, буре вугілля середньої міцності, марганцева руда підвищеної міцності, замерзлий мокрий пісок, суглинок чи легка глина при температурі до -3°C	10-15

Практична робота №4

Тема: Визначення сили різання ґрунту косим клином

Мета роботи: вивчити суть теорії косо́го клина та граничної рівноваги сипучого середовища (метода В. В. Соколовського) і на цій основі визначити три складові (горизонтальну, вертикальну і бокову) сили різання ґрунту косим клином. Вихідні дані для розрахунку необхідно взяти відповідно до варіанту з практичної роботи №3 та (табл. 4.1).

Суть теорії косо́го клина. Косий клин утворюється при повороті прямого клина у плані на деякий кут (γ_{zx}) (кут захвату) відносно напрямку руху (рис. 4.1). Теорія косо́го клина розроблена на кафедрі будівельних, дорожніх, меліоративних машин та обладнання НУВГП.

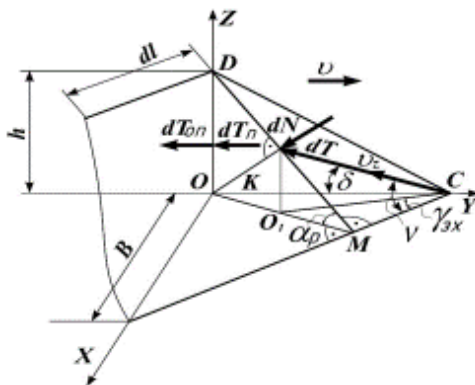


Рисунок 4.1 – Схема дії сил на косий клин

По висоті пласта (h) на елементарну ділянку (dF) поверхні клина довжиною (dl) діють елементарна нормальна сила тиску ґрунту (dN) і сила тертя (dT). Перераховані сили визивають силу тертя на польовій дошці клина (dT_n) і додатковий опір переміщенню (dT_{on}) від привантаження ходового обладнання вертикальною складовою повної сили різання.

У результаті проектування всіх сил на осі OX, OY і OZ отримаємо:

$$\begin{cases} dP_y = dN \cdot \sin(\alpha_p) \cdot \sin(\gamma_{zx}) + dT \cdot \cos(\delta) + dT_n + dT_{on}; \\ dP_x = dN \cdot \sin(\alpha_p) \cdot \cos(\gamma_{zx}) - dT \cdot \cos(\nu) \cdot \sin(\gamma_{zx}); \\ dP_z = dN \cdot \cos(\alpha_p) - dT \cdot \sin(\nu) \cdot \sin(\alpha_p). \end{cases} \quad (4.1)$$

де: α_p – кут між лобовою гранню клина і площиною XOY у нормальному до різальної кромки перерізі (кут різання); δ , ν – кути між напрямком руху ґрунту по клину (відносною швидкістю $\mathcal{G}r$) і відповідно віссю OY та різальною кромкою; γ_{zx} – кут нахилу різальної кромки клина до напрямку руху в горизонтальній площині (кут захвату).

Після визначення елементарних сил і площ, кутів (δ) і (ν), а також інтегрування виразів (4.1), отримаємо залежності для визначення складових сил різання:

- бокової:

$$P_x = h \left(1 - \frac{\tan(\varphi)}{\sin(\alpha_p) \cdot \sqrt{\cos^2(\alpha_p) + \cot^2(\gamma_{zx})}} \right) \cdot \cot(\gamma_{zx}) \int_0^B q(x) dx; \quad (4.2)$$

- вертикальної:

$$P_z = \frac{h}{\sin(\gamma_{zx})} \left(\frac{\cot(\alpha_p) - \tan(\varphi) \cdot \cos(\alpha_p)}{\sqrt{\cos^2(\alpha_p) + \cot^2(\gamma_{zx})}} \right) \int_0^B q(x) dx; \quad (4.3)$$

- горизонтальної:

$$P_y = h \cdot \left[\left(1 + \frac{\tan(\varphi) \cdot \sqrt{\cos^2(\alpha_p) + \cot^2(\gamma_{3x})}}{\sin(\alpha_p)} \right) + \tan(\varphi) \cdot \right. \\ \left. \left(1 - \frac{\tan(\varphi)}{\sin(\alpha_p) \cdot \sqrt{\cos^2(\alpha_p) + \cot^2(\gamma_{3x})}} \right) \cdot \cot(\gamma_{3x}) + \int_0^B q(x) dx \right. \\ \left. + \frac{f_{on}}{\sin(\gamma_{3x})} \left(\cot(\alpha_p) - \frac{\tan(\varphi) \cdot \cos(\alpha_p)}{\sqrt{\cos^2(\alpha_p) + \cot^2(\gamma_{3x})}} \right) \right] \quad (4.4)$$

де: B – ширина захвату (різання) клина; $q(x)$ – закон розподілу нормального тиску ґрунту по довжині лемеша; φ – кут зовнішнього тертя ґрунту; f_{on} – коефіцієнт опору переміщенню клина, ($f_{on} = 0,05 \dots 0,25$) – для колісної і гусеничної опори, для опори на лижу ($f_{on} \approx \tan(\varphi)$).

Для широких ножів, якщо ($h/B \leq 0,3$) впливом бокових сколів на закон розподілу тиску ґрунту по довжині лемеша можна знехтувати. Тоді середній тиск ґрунту на косий клин визначається на основі теорії граничної рівноваги сипучого середовища (метод В. В. Соколовського).

Суть методу В. В. Соколовського. Ґрунт розглядається як середовище, у якому опір зсуву по даній площадці – лінійна функція нормального напруження, тобто відповідає закону Мора-Кулона.

Загальні результати рішення задачі про знаходження тиску ґрунту на підпірну стінку коротко можна сформулювати наступним чином. Граничний напружений стан середовища у залежності від кута нахилу; стінки до горизонту (α_p), кутів зовнішнього (φ) і внутрішнього (φ_0) тертя ґрунту, причому ($\varphi > \varphi_0$) розглядається для трьох випадків (рис. 4.2):

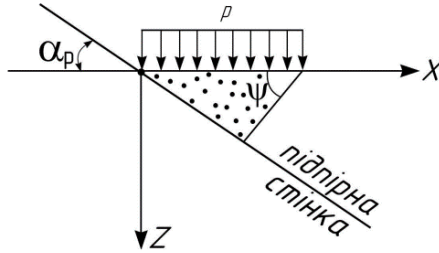


Рисунок 4.2 Схема взаємодії підпірної стінки з ґрунтом

Перший випадок. Для пологих підпірних стінок, якщо величина кута нахилу до горизонту визначається нерівністю:

$$\alpha_p \leq \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) - \frac{\varphi}{2} \approx 20^\circ; \quad (4.5)$$

Для визначення нормального тиску на стінку пропонується залежність:

$$q = (\gamma_{zp} \cdot z + p + c \cdot \cot(\varphi_0)) \cdot \frac{1 - \sin(\varphi_0) \cos(2 \cdot \alpha_p)}{1 - \sin(\varphi_0)} - c \cdot \cot(\varphi_0); \quad (4.6)$$

де: p – привантаження ґрунту на денній поверхні; γ_{zp} – об’ємна маса ґрунту; c – коефіцієнт зчеплення ґрунту.

Другий випадок. Для проміжних підпірних стінок, якщо кут нахилу стінки до горизонту знаходиться у межах:

$$20^\circ \approx \frac{1}{2} \cdot \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) - \frac{\varphi}{2} < \alpha_p < \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \cdot \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) \approx 45^\circ; \quad (4.7)$$

Тоді:

$$q = (p + c \cdot \cot(\varphi_0)) \cdot \left[\frac{\cos(\varphi) \left(\cos(\varphi) + \sqrt{\sin^2(\varphi_0) - \sin^2(\varphi)} \right)}{\cos^2(\varphi_0)(1 - \sin(\varphi_0))} \cdot \frac{\left(\sin(\varphi_0) \cos(\Theta) + \sqrt{1 - \sin^2(\varphi_0) \sin^2(\Theta)} \right)^2}{\cos^2(\varphi_0)(1 - \sin(\varphi_0))} \right] - (4.8)$$

$$- c \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0;$$

$$\text{де: } \Theta = \frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot \pi - 2 \cdot \alpha_p - \varphi - \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) \right); \quad (4.9)$$

Третій випадок. Для крутих підпірних стінок, якщо:

$$\alpha_p \geq \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \cdot \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) \approx 45^\circ; \quad (4.10)$$

$$q = (p + c \cdot \cot(\varphi_0)) \cdot \frac{\cos(\varphi) \cdot \left(\cos(\varphi) + \sqrt{\sin^2(\varphi_0) - \sin^2(\varphi)} \right)}{1 - \sin(\varphi_0)} \cdot \exp \left[\left(2\alpha_p - \pi + \varphi + \arcsin \left(\frac{\sin(\varphi)}{\sin(\varphi_0)} \right) \right) \tan \varphi_0 \right] - (4.11)$$

$$- c \cdot \cot(\varphi_0);$$

Таблиця 4.1 – Таблиця варіантів для кута (γ_{zx})

№	γ_{zx}	№	γ_{zx}	№	γ_{zx}
1	40	11	60	21	80
2	42	12	62	22	82
3	44	13	64	23	84
4	46	14	66	24	40

5	48	15	68	25	42
6	50	16	70	26	44
7	52	17	72	27	46
8	54	18	74	28	48
9	56	19	76	29	50
10	58	20	78	30	52

Розрахунково-графічна робота

Завдання. Провести розрахунки критичної глибини різання, коефіцієнтів апроксимації для верхнього ярусу (рис. 5.1)

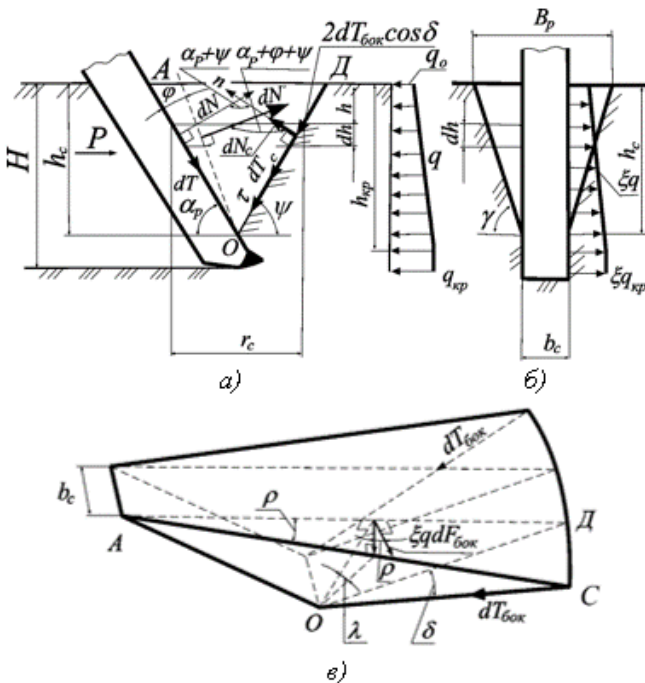


Рисунок 5.1 Схема взаємодії ножа з ґрунтовим середовищем: а – у поздовжній площині; б – у поперечній площині; в – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа

Дані для розрахунків наведені в (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Варіанти завдань

Варі- ант	Ґрунт	Ширина різання (b), м	Значення коефіцієнта (k_1) для відповідних (α_p)
1	Суглинок твердий	0,1	$\alpha_p=20^\circ, k_1=1,15$
2		0,15	$\alpha_p=30^\circ, k_1=1,32$
3		0,20	$\alpha_p=40^\circ, k_1=1,54$
4		0,25	$\alpha_p=50^\circ, k_1=1,82$
5		0,30	$\alpha_p=60^\circ, k_1=2,15$
6	Глина напівтверда	0,1	$\alpha_p=20^\circ, k_1=1,11$
7		0,15	$\alpha_p=30^\circ, k_1=1,23$
8		0,20	$\alpha_p=40^\circ, k_1=1,40$
9		0,25	$\alpha_p=50^\circ, k_1 = 1,54$
10		0,30	$\alpha_p=60^\circ, k_1=1,68$
11	Глина тверда	0,1	$\alpha_p=20^\circ, k_1=1,13$
12		0,15	$\alpha_p=30^\circ, k_1=1,27$
13		0,20	$\alpha_p=40^\circ, k_1=1,46$
14		0,25	$\alpha_p=50^\circ, k_1=1,65$
15		0,30	$\alpha_p=60^\circ, k_1=1,82$
16	Суглинок напівтверди й	0,1	$\alpha_p=20^\circ, k_1=1,13$
17		0,15	$\alpha_p=30^\circ, k_1=1,28$
18		0,20	$\alpha_p=40^\circ, k_1=1,48$
19		0,25	$\alpha_p=50^\circ, k_1=1,71$
20		0,30	$\alpha_p=60^\circ, k_1=1,90$
21	Глина тугопла- стична	0,1	$\alpha_p=20^\circ, k_1=1,09$
22		0,15	$\alpha_p=30^\circ, k_1=1,19$
23		0,20	$\alpha_p=40^\circ, k_1=1,32$
24		0,25	$\alpha_p=50^\circ, k_1=1,44$
25		0,30	$\alpha_p=60^\circ, k_1=1,56$

Продовження табл.5.1

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

Послідовність виконання роботи

1. Вибрати числові значення фізико-механічних показників ґрунту (табл. 5.2).
2. Визначити точні значення відносної глибини сколу для ножа з плоскою ріжучою гранню.
3. Визначити коефіцієнти апроксимації.
4. Визначити похибку апроксимації.

Методика розрахунку

1. Для заданого типу ґрунту та його консистенції з (табл. 5.2) вибирають числові значення:
 коефіцієнта зчеплення c , МПа;
 кута внутрішнього тертя φ_0 , град.;
 кута зовнішнього тертя φ , град.;
 питому вагу ґрунту γ_{zp} , МН/м³.

Таблиця 5.2 – 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 у стані, γ_{zp} , МН/м ³
Супісок твердий	$B_k < 0$	0,02	28	25	0,0205

Продовження табл. 5.2

Суглинок напівтвердий	$0 < B_k < 0,25$	0,04	23	21	0,021
Глина тугопластична	$0,25 < B_k < 0,5$	0,04	18	22	0,0205
Суглинок твердий	$B_k < 0$	0,06	25	21	0,0215
Глина напівтверда	$0 < B_k < 0,25$	0,06	20	22	0,021
Глина тверда	$B_k < 0$	0,1	22	22	0,022

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

$$q_0 = c \cdot (k_1 - 1) \cdot \cot(\varphi_0), \text{ МПа}; \quad (5.1)$$

де: k_1 – коефіцієнт, який залежить від кута різання та типу ґрунту (див. табл. 5.1).

$$q_{кр} = \gamma_{зр} \cdot \left(h_3 + \frac{c}{\gamma_{зр} \cdot \tan(\varphi_0)} \right) \cdot \tan^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right), \text{ МПа}; \quad (5.2)$$

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

3. Визначають кут нахилу бокових площин зсуву тіла випору до горизонту (див. рис. 5.1, б):

$$\gamma = 45^\circ + \frac{\varphi_0}{2}, \text{ град}; \quad (5.3)$$

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

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{\left(\left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2} k_{неп} \right) \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \psi + \varphi + \varphi_0)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\varphi_0) \cdot \sin(\alpha_p)} - \frac{c}{\sin(\psi)} \right)}{\left(\cot(\alpha_p) + \cot(\psi) \right) \cdot c \cdot \left(\frac{\rho}{\sin(\psi)} + \frac{\cos(\delta)}{\cos(\lambda)} \right)}; \quad (5.4)$$

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

У формулі (5.4): h_c – глибина сколу ґрунту, м; b_c – ширина різання, м; $q_{кр}$ – максимальний нормальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа, МПа; $k_{неп}$ – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту (h_c) до критичної глибини різання ($h_{кр}$) ($k_{неп} = 0,9 \dots 0,95$); ($h_{кр} = h_c / k_{неп}$); α_p – кут різання, град.; ψ – кут сколу ґрунту, град.; ρ , δ , λ – кути, які утворюються боковою площиною сколювання з вертикальною площиною (див. рис. 5.1).

$$\cos(\rho) = \sqrt{1 - \left(\frac{\cot(\gamma)}{\cot(\alpha_p) + \cot(\psi)} \right)^2}; \quad (5.5)$$

$$\cos(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cot(\alpha_p) \cdot \cot(\gamma)}{\cot(\alpha_p) + \cot(\psi)} \right)^2}}; \quad (5.6)$$

$$\cos(\delta) = 1 - 2 \cdot \left(\cot(\alpha_p) + \cot(\psi) \right)^2 \sin^2(\psi) \sin^2\left(\frac{\rho}{2}\right); \quad (5.7)$$

5. Побудувати криві залежності відносної глибини сколювання ґрунту від кута сколу (ψ) для різних кутів різання ножа (рис. 5.2).

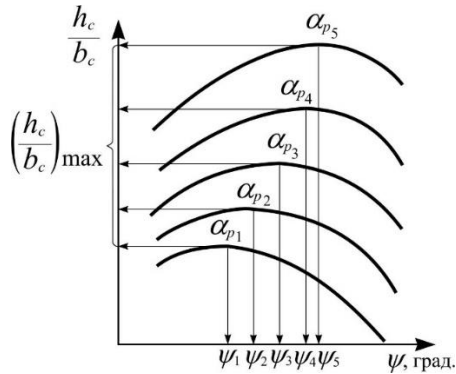


Рисунок 5.2 – Залежність $h_c/b_c = f(\psi)$:

6. Визначити по побудованим кривим максимальну відносну глибину сколу (h_c/b_c) і відповідний їй кут сколу ґрунту для кожного кута різання ножа та побудувати залежність $(h_c/b_c)_{\max} = f(\alpha_p)$ (рис. 5.3).

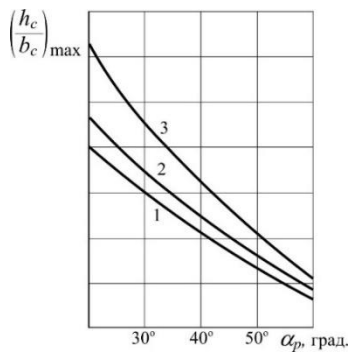


Рис. 5.3 – Залежність відносної глибини сколювання ґрунтів від кута різання ножа у верхньому ярусі: 1 – тугопластична і

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

7. Провести лінеаризацію функції $(h_c/b_c)_{\max} = f(\alpha_p)$ в координатах $(\ln(\tan(\alpha_p)))$ і $(\ln(h_c/b_c))$ (рис. 5.4). Рівняння прямої в логарифмічних координатах має вигляд:

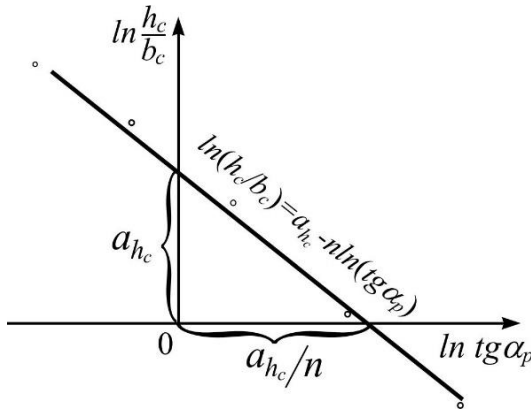


Рисунок 5.4 – Залежність відносної глибини сколювання ґрунту від тангенса кута різання ножа в логарифмічних координатах

$$\ln\left(\frac{h_c}{b_c}\right) = a_{hc} - n \cdot \ln(\tan(\alpha_p)); \quad (5.8)$$

Провівши потенціювання залежності (5.8), отримаємо:

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{e^{a_{hc}}}{(\tan(\alpha_p))^n} = \frac{a}{(\tan(\alpha_p))^n}; \quad (5.9)$$

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

8. Визначити за методом найменших квадратів коефіцієнти апроксимації (a , n) та похибку апроксимації

$$a = e^{a_{h_c}}; n = -k_{h_c} \quad (5.10)$$

Розрахунки зручно провести в табличній формі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 Таблиця для розрахунків

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

$$a_{h_c} = \frac{\sum \ln\left(\frac{h_c}{b_c}\right) \sum (\ln(\tan(\alpha_p)))^2}{N \sum (\ln(\tan(\alpha_p)))^2 \left(\sum \ln(\tan(\alpha_p))\right)^2} - \frac{\sum \ln(\tan(\alpha_p)) \sum \left(\ln(\tan(\alpha_p)) \cdot \ln\left(\frac{h_c}{b_c}\right)\right)}{N \sum (\ln(\tan(\alpha_p)))^2 \left(\sum \ln(\tan(\alpha_p))\right)^2}; \quad (5.11)$$

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

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

$$\frac{\sum \ln(\tan(\alpha_p)) \sum \ln\left(\frac{h_c}{b_c}\right)}{N \sum \left(\ln(\tan(\alpha_p)) \right)^2 - \left(\sum \ln(\tan(\alpha_p)) \right)^2}; \quad (5.12)$$

Похибка апроксимації визначається за формулою:

$$П_{анп} = \frac{\left(\frac{h_c}{b_c}\right)_{анп} - \frac{h_c}{b_c}}{\frac{h_c}{b_c}} \cdot 100, \%; \quad (5.13)$$

де:

$$\left(\frac{h_c}{b_c}\right)_{анп} = \frac{a}{\left(\tan(\alpha_p)\right)^n}; \quad (5.14)$$

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

$$h_{кр} = \frac{a}{\left(\tan(\alpha_p)\right)^n} \cdot b; \quad (5.15)$$

Список використаної літератури

1. Машини для земляних робіт: навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке та ін.; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. Рівне; Дніпропетровськ; Харків, 2010. 560 с.
2. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 124 с.

3. Кравець С. В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладання підземних комунікацій. Рівне : Вид-во РДТУ, 1999. 277 с.

4. Ткачук В. Ф., Кравець С. В., Кравець Л. Б. Визначення критичної глибини різання ґрунту ножем. *Гірни., буд., дор. і меліорат. машини: Респ. міжвідом. наук.-техн. зб.* К. : Техніка, 1987. Вип. 40. С. 22–28.

5. Кравець С. В., Косяк О. В. Методичні вказівки 02-01-339 до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Теорія руйнування робочих середовищ» для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навчання. Рівне, 2015.

URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/1782/1/02-01-339.pdf>

6. Кравець С. В., Нечидюк А. А. Методичні вказівки 031-245 для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія руйнування робочих середовищ» для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» всіх форм навчання. Рівне, 2010.

URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/595/1/031-245.pdf>