

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



**02-01-593М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт 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 31.12.2024р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт 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. – 46 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 02-01-312

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

## ЗМІСТ

	ст.
1. Лабораторна робота №1. Визначення фізичних властивостей ґрунтів .....	4
2. Лабораторна робота №2. Визначення механічних властивостей ґрунтів .....	10
3. Лабораторна робота №3. Визначення критичної глибини різання .....	15
4. Лабораторна робота №4. Вплив глибини різання ( $h$ ) і товщини ріжучих стінок ( $s$ ) на зусилля різання .....	23
5. Лабораторна робота №5. Визначення зусиль різання гострим ножом по методу Ю. А. Ветрова .....	35
6. Лабораторна робота №6. Визначення довжини лемеша .....	41
Список використаної літератури.....	45

## Лабораторна робота №1

**Тема:** Визначення фізичних властивостей ґрунтів.

**Мета роботи:** Вивчити методику визначення основних фізичних властивостей ґрунтів, що розробляються землерийними машинами.

**Задачі:** 1 – ознайомитись з предметом дослідження; 2 – засвоїти методику лабораторного визначення основних фізико-механічних властивостей ґрунтів; 3 – визначити в лабораторних умовах вологість наявного ґрунту та підібрати тип ґрунту.

### 1.1. Предмет дослідження.

Предметом дослідження є основні фізико-механічні властивості ґрунтів, що розробляються землерийними машинами.

**Пористість** – відношення об'єму пор до об'єму ґрунту, виражене у відсотках. Пористість характеризує щільність ґрунту і особливо важлива під час штучного ущільнення ґрунту.

Пористість прийнято оцінювати коефіцієнтом пористості

$$\varepsilon = \frac{V}{A}; \quad (1.1)$$

де:  $V$  – об'єм пор;  $A$  – об'єм, зайнятий частинками ґрунту.

Для піску ( $\varepsilon$ ) не перевищує одиниці, для глини значення ( $\varepsilon$ ) досягає 16.

**Об'ємна вага ґрунту** – це відношення маси ґрунту ( $m$ ) природної вологості до його об'єму ( $V$ ):

$$\gamma_{gp} = \frac{m}{V}; \quad (1.2)$$

Об'ємна маса ґрунтів, що розробляються землерийними машинами, зазвичай складає (1,5-2,0), т/м<sup>3</sup> в залежності від мінерального складу, пористості і вологості.

**Розпушення** – властивість ґрунту під час розробки збільшувати об'єм при постійній масі. Розрізняють об'єм ґрунту в масиві і об'єм, який займає ґрунт після розпушення. Коефіцієнт розпушення ( $K_p$ ), характеризує відношення цих двох об'ємів (

$K_p = 1,08-1,35$ ). Менше значення відповідає піщаним ґрунтам, більше – глинистим.

З часом розпушений ґрунт ущільнюється ( $K_p = 1,01-1,1$ ).

Коефіцієнт розпушення мерзлих ґрунтів, а також гірських, змінюється (від 1,5 до 1,8).

**Об'ємна маса скелета ґрунту** використовується для визначення степені ущільнення ґрунту і визначається за формулою

$$\Delta = \frac{\gamma_{zp}}{1 + (\omega/100\%)}; \quad (1.3)$$

**Липкість** – здатність ґрунту налипати до різних матеріалів. Липкість проявляється у глинистих ґрунтах при великій вологості.

Липкість являється причиною додаткового опору різанню ґрунту робочим органом і її необхідно визначати за формулою

$$P_l = p_l \cdot F; \quad (1.4)$$

де:  $P_l$  – сила налипання, Н;  $F$  – площа контакту ґрунту з робочим органом, м<sup>2</sup>;  $p_l$  – середнє питоме налипання, (7-8 кН/м<sup>2</sup>) – для глин, (5-7 кН/м<sup>2</sup>) – для суглинків.

Піщані ґрунти практично не проявляють схильність до налипання.

**Коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту і ґрунту по сталі.**

Величина коефіцієнта тертя має вагоме значення під час взаємодії робочих органів землерийних машин з ґрунтом. Так, під час занурення ковша екскаватора в забій, при русі ковша драглайна по ґрунту або при переміщенні ґрунту по відвалу бульдозера виникає опір, рівний ( $N \cdot \tan(\delta)$ ), де:  $N$  – сила, направлена по нормалі до площини тертя;  $\delta$  – кут тертя ґрунту по сталі.

Під час переміщення зруйнованого ґрунту (призми волочіння) перед відвалом бульдозерів, автогрейдерів або ковшів скреперів виникає опір ( $N \cdot \tan(\rho)$ ), де:  $N$  – вага призми волочіння;  $\rho$  – кут зовнішнього тертя ґрунту по ґрунту.

Кут внутрішнього тертя ( $\varphi$ ) являється параметром руйнування ґрунтів і входить до всіх аналітичних формул при визначенні сил різання ґрунтів.

Значення тангенсів кутів ( $\varphi$ ,  $\rho$ ,  $\delta$ ) при взаємодії робочих органів з різними ґрунтами приведені в (табл. 1.2).

**Вологість.** Одним із основних факторів, які впливають на опір ґрунтів деформації, є вологість. Вологість визначається кількістю води, яка утримується в порах. Один і той же ґрунт в залежності від кількості в ньому води суттєво змінює свої властивості. Із збільшенням вологості зв'язних ґрунтів знижується коефіцієнт тертя, зчеплення. При цьому ґрунт здійснює менший опір зовнішнім навантаженням.

Таблиця 1.1 – Значення тангенсів кутів тертя для різних ґрунтів

Ґрунт	$\tan(\rho)$	$\tan(\delta)$	$\tan(\varphi)$
Пісок, супісок	0,60–0,75	0,45–0,50	0,80–0,50
Суглинок	0,75–0,85	0,50–0,60	0,55–0,40
Глина	0,85–0,95	0,60–0,70	0,42–0,25

**Природна вологість** – вологість ґрунту в умовах природного залягання.

**Вагова вологість ґрунту** – відношення маси води, вилученої із зразка висушуванням його при (100–105 °С), до маси зразка ґрунту в сухому стані, виражене в часткових одиницях або відсотках.

**Об'ємна вологість ґрунту** – відношення обсягу води, що втримується в ґрунті до обсягу всього ґрунту, виражене в частках одиниці або відсотках.

**Відносна вологість ґрунту** – відношення маси води в ґрунті до обсягу пор, виражене в часткових одиницях або відсотках.

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100\% ; \quad (1.5)$$

де:  $m_0$  – маса порожньої посудини із кришкою, г;  $m_1$  – маса посудини із щойно взятим ґрунтом, г;  $m_2$  – маса посудини із сухим ґрунтом, г.

**Пластичністю** називають здатність матеріалу змінювати форму без зміни об'єму. Пластичністю володіють всі зв'язні ґрунти в певних межах вологості. Чим більше в ґрунті дисперсних глинистих частинок, тим пластичність ґрунту більша. Зв'язні ґрунти знаходяться в пластичному стані, коли границя вологості відповідає границям розкочування і текучості.

*Границею розкочування* ( $\omega_p$ ) називають масову вологість, яка виражена у відсотках, при якій тісто, виготовлене із ґрунту і води і розкочується до діаметра 3 мм, починає кришитися, тобто перестає бути пластичним.

*Границею текучості* ( $\omega_m$ ) називають масову вологість тіста, що виготовлене із ґрунту і води, при якому стандартний прилад, який називається «балансирним конусом» масою 76 г. вільно занурюється в це тісто на 10 мм. за 5 с.

Якщо вологість незначно перевищує границю текучості, то ґрунт переходить в текучий стан, а при вологості меншій границі розкочування, ґрунт переходить у напівтвердий стан.

*Числом пластичності* ( $\omega_n$ ) називають різницю між границею текучості і границею розкочування:

$$\omega_n = \omega_m - \omega_p ; \quad (1.6)$$

У польових умовах число пластичності, границю текучості і розкочування визначають за кореляційними залежностями:

$$\omega_n = \omega - 8 ; \quad (1.7)$$

$$\omega_m = 14,8 + 1,2 \cdot \omega_n ; \quad (1.8)$$

$$\omega_p = \omega_m - \omega_n ; \quad (1.9)$$

**Консистенція** визначається ступенем рухливості частинок ґрунту при різній вологості в результаті механічної взаємодії на ґрунт.

Якщо порівняти природну вологість ґрунту із границями текучості і пластичності, то можливо розрізнити наступні стани ґрунтів:

- 1) при ( $\omega > \omega_m$ ) ґрунт має в'язко-текучу консистенцію і володіє властивостями в'язкої рідини;
- 2) при ( $\omega_p < \omega < \omega_m$ ) ґрунт знаходиться в пластичному стані, деформується пластично без розривів суцільності;
- 3) при ( $\omega < \omega_p$ ) ґрунт знаходиться у твердому стані.

Консистенція зв'язних ґрунтів визначається *показником консистенції* ( $B_k$ ), який за міжнародним стандартом називається *індексом текучості*:

$$B_k = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_n} = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_m - \omega_p} = \frac{0,8 \cdot \omega - 13,2}{\omega - 8}; \quad (1.10)$$

У залежності від показника консистенції глинисті ґрунти бувають твердої ( $B_k < 0$ ), 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 ( $0,75 \leq B_k \leq 1$ ) і текучої ( $B_k > 1$ ) консистенції.

В залежності від значень консистенції ( $B_k$ ), вологості ( $\omega$ ), згідно (табл. 1.2), визначають тип ґрунту, числові значення коефіцієнта зчеплення, кутів внутрішнього і зовнішнього тертя.

Таблиця 1.2 – Характеристика найбільш ймовірних типів талих ґрунтів (II, III категорії)

Тип ґрунту	Природна вологість, $\omega$ , %	Коефіцієнт консистенції, $B_k$	Коефіцієнт зчеплення, $c$ , МПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi_0$ , град	Кут зовнішнього тертя, $\varphi$ , град
1	2	3	4	5	6
Твердий супісок	10...14	$B_k < 0$	0,02	28	25



Продовження табл.1.2

Напів-твердий суглинок	17...20	$0 < B_k < 0,25$	0,04	23	21
Туго-пластична глина	25...30	$0,25 < B_k < 0,5$	0,04	18	22
Твердий суглинок	10...14	$B_k < 0$	0,06	25	21
Напівтверда глина	17...20	$0 < B_k < 0,25$	0,06	20	22

## 1.2. Обладнання та прилади:

1. СПОА – 2,5/гм..... 1 шт.
2. Бюкси ..... 3 шт.
3. Терези фізичні ..... 1 шт.
4. Рівноваги..... 1 компл.
5. Сушильна шафа..... 1 шт.
6. Шпатель ..... 1 шт.
7. Ніж спеціальний..... 1 шт.
8. Ґрунтовий канал ..... 1 шт.

## 1.3. Порядок виконання роботи

Для визначення відносної вологості ґрунту потрібно:

1. Пронумерувати та зважити бюкси, а дані занести в (табл. 1.3).
2. В кожному бюксі із масиву відібрати по 25...35 г ґрунту і щільно закрити їх кришками.
3. Зважити на терезах кожен заповнений ґрунтом бюкс, а дані занести в (табл. 1.3).
4. Відкрити бюкси і поставивши їх в кришки, помістити в сушильну шафу.
5. Реостатом сушильної шафи довести температуру в його камері до (90...105 °С).
6. За (10...15 хв.) до закінчення академічного часу вийняти бюкси з висушеним ґрунтом попередньо закривши їх кришками.
7. Зважити бюкси з висушеним ґрунтом, а дані занести в (табл. 1.3).

8. Користуючись табличними даними, визначити відносну вологість досліджуваного ґрунту.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків

№ п/п	$m_0$ , Г.	$m_1$ , Г.	$m_2$ , Г.	$\omega$ – %
1	2	3	4	5
1.				
2.				
...				

**Примітка:** в реальних умовах для визначення вологості ґрунтів зразки висушують на протязі не менше як 6 годин.

#### 1.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

### Лабораторна робота №2

**Тема:** Визначення механічних властивостей ґрунтів

**Мета роботи:** Вивчити методику визначення основних механічних властивостей ґрунтів, що розробляються землерийними машинами та набути практичних навичок експериментального їх дослідження.

**Задачі:** 1 – ознайомитись з предметом дослідження; 2 – ознайомитись з конструкцією, призначенням та правилами користування приладами, що використовуються при зсувних випробуваннях ґрунтів; 3 – провести експериментальне дослідження зсувних характеристик запропонованого ґрунту та визначити коефіцієнти внутрішнього тертя і початкового зчеплення.

## 2.1. Предмет дослідження

Механічними називаються міцнісні властивості ґрунту, що визначають опір його деформуванню та руйнуванню при зовнішніх силових та інших впливах.

Ґрунт деформується як суцільне тіло, якщо під навантаженням структурні зв'язки не зруйновані. У випадку руйнування структурних зв'язків деформація відбувається, як правило, за рахунок взаємного переміщення окремих частинок ґрунту.

Тиск ( $q_{кр}$ ) визначає несучу спроможність ґрунту і називають критичним (або граничним) тиском. Цей критичний тиск найбільш реально визначається за залежністю Паукера

$$q_{кр} = \gamma_{зр} \cdot \left( h_з + \frac{c}{\gamma_{зр} \cdot \tan(\varphi_о)} \right) \cdot \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_о}{2} \right); \quad (2.1)$$

де:  $\gamma_{зр}$  – питома вага ґрунту;  $c$  – коефіцієнт зчеплення ґрунту;  $\varphi_о$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Коефіцієнт бокового розширення (коефіцієнт Пуассона) це є відношення відносної поперечної деформації до відносної поздовжньої деформації стиснення зразка, визначається за формулою

Покровського Г.І.

$$\xi = 1 - 0,74 \cdot \tan(\varphi_о) - \frac{1,52 \cdot c}{q_{кр.2}}; \quad (2.2)$$

Для пісків – ( $\xi = 0,4 \dots 0,5$ ); для суглинків – ( $\xi = 0,5 \dots 0,6$ ); для глин – ( $\xi = 0,6 \dots 0,7$ ).

Коефіцієнт бокового тиску зв'язаний з коефіцієнтом бокового розширення  $\mu$  наступним чином:

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi}; \quad (2.3)$$

Опір ґрунту зсуву характеризується кутом внутрішнього тертя  $\varphi$  та коефіцієнтом початкового зчеплення  $c_0$ .

По закону Кулона опір ґрунту зсуву є лінійною функцією нормального напруження  $\sigma$  по поверхні зсуву, тобто:

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\varphi) + c_0; \quad (2.4)$$

Кут ( $\varphi$ ), що утворюється цією функцією з віссю абсцис і дорівнює куту зсуву, називається кутом внутрішнього тертя, тобто:

$$\tan(\varphi) = \mu; \quad (2.5)$$

Дане ствердження пояснюється схемою та графіком на (рис.2.1).

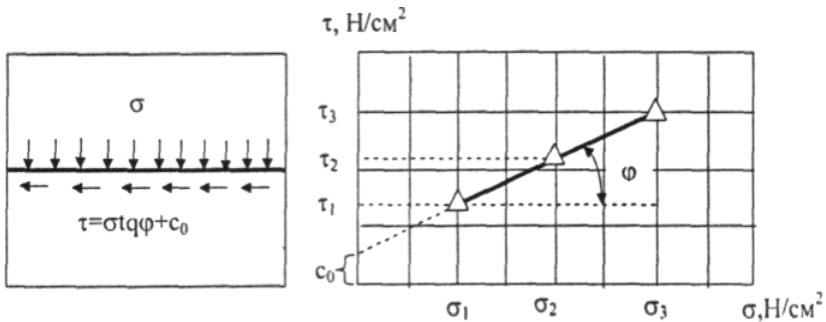


Рисунок 2.1 – Залежність напруження зсуву  $\tau$  від нормального напруження ( $\sigma$ )

В (табл. 2.1) наведені числові значення коефіцієнта зчеплення, питому вагу ґрунту, несуча спроможність ґрунту та категорії ґрунту.

Таблиця 2.1 – Характеристика найбільш ймовірних типів талих ґрунтів (II, III категорії)

Тип ґрунту	Природна вологість, $\omega$ , %	Коефіцієнт зчеплення, $c$ , МПа	Питома вага у природному стані, $\gamma_{zp}$ , $\text{kH/m}^3$	Несуча спроможність ґрунту, $q_{кр}$ , МПа	Кількість ударів щільномера, $C_{уд}$ (категорія)
1	2	3	4	5	6
Твердий супісок	10...14	0,02	20,5	0,37	5...8 (II)

Продовження табл. 2.1

Напів-твердий суглинок	17...20	0,04	21,0	0,55	5...8 (II)
Туго-пластична глина	25...30	0,04	20,5	0,48	5...8 (II)
Твердий суглинок	10...14	0,06	21,5	0,85	9...16(III)
Напівтве-рда глина	17...20	0,06	21,0	0,73	13...18(III з переходом наIV)

Відрізок, що відсікається на вісі ординат продовженням графіка, дорівнює величині  $c_0$  тобто дотичному напруженню ( $\tau_0$ ) при нульовому значенні нормального напруження ( $\sigma_0$ ). Цю величину потрібно розуміти як граничне значення дотичного напруження при відсутності нормального напруження в площині зсуву.

Для отримання залежності дотичних напружень ( $\tau$ ) від нормальних ( $\sigma$ ) необхідно випробувати достатню кількість зразків ґрунту при 3-х різних значеннях нормальних напружень ( $\sigma$ ). Дані випробування виконуються за допомогою зсувного приладу, схема якого показана на (рис. 2.2).

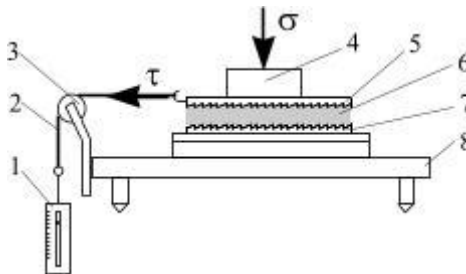


Рисунок – 2.2 Схема зсувного приладу для зсувних випробувань ґрунтів:

- 1 – безмін; 2 – канат; 3 – рухомий блок; 4 – додатковий вантаж; 5 – рухома зубчаста пластина; 6 – ґрунтовий зразок; 7 – нерухома зубчаста пластина; 8 – основа

## 2.2. Обладнання та прилади

1. Ґрунтовий канал ..... 1 шт.
2. Ґрунтозабірні гільзи ..... 9 шт.
3. Ґрунтозабірник ..... 1 шт.
4. Ніж підрізний..... 1 шт.
5. Прилад зсувний в комплекті ..... 1 шт.
6. Предметний стіл..... 1 шт.
7. Перештовхувач зразків ..... 1 шт.

## 2.3. Порядок виконання роботи

1. Закріпити зсувний прилад на предметному столі.
2. За допомогою ґрунтозабірника і ґрунтозабірних кілець відібрати з масиву зразки ґрунту.
3. За допомогою перештовхувача перемістити зразок ґрунту з ґрунтозабірного кільця на нерухому зубчасту пластину.
4. Зверху прикласти ґрунтовий зразок рухомою зубчастою пластиною.
5. Задати початкове нормальне напруження за допомогою додаткової ваги.
6. Приєднати до рухомої зубчастої пластини канат з безміном.
7. Задаючи тангенціальне напруження, досягнути рівномірного руху. При цьому, зсув ґрунту рахують реалізованим, якщо одна його частина змістилась відносно іншої на величину не менш як на 3 мм. Якщо в процесі навантаження зсувного важеля настає прискорений рух каретки, то в показах зсувного напруження враховується половина останньої поділки безміна, що викликала прискорений рух рухомої зубчастої пластини.
8. Занести покази нормальних та дотичних напружень в (табл. 2.2).
9. Видалити відпрацьований зразок ґрунту із приладу, ретельно протерти його робочі частини чистою серветкою та підготувати прилад до наступного досліді.
10. Наступні досліді виконуються згідно пунктів 3...9.
11. Після закінчення зсувних випробувань виконати

обробку одержаних результатів в такій послідовності:

11.1. Розрахувати середні арифметичні значення дотичних напружень ( $\tau$ ) по кожній групі дослідів, що були проведені при однакових значеннях нормальних напружень ( $\sigma$ ).

11.2. На основі табличних даних побудувати графік залежності по формі, що показана (рис. 2.1) ( $\tau = f(\sigma)$ ).

11.3. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя по формулі:

$$\tan(\varphi) = \frac{\tau_3 - \tau_1}{\sigma_3 - \sigma_1}; \quad (2.6)$$

11.4. Визначити значення коефіцієнта зчеплення ґрунту  $c_0$  по залежності:

$$c_0 = \tau_i - \sigma_i \cdot \tan(\varphi); \quad (2.7)$$

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

№	$\tau$ , Н/м <sup>2</sup>	$\sigma$ , Н/м <sup>2</sup>	$S$ , м <sup>2</sup>
1			0,004
2			0,004
3			0,004

## 2.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

## Лабораторна робота №3

**Тема:** Визначення критичної глибини різання

**Мета роботи:** Поглибити знання про закономірності різання ґрунтів. Експериментально перевірити природу формування критичної глибини різання ґрунту на прикладі прямокутного плоского ножа.

**Задачі:** 1 – ознайомитись з предметом дослідження; 2 – ознайомитись з конструкцією, призначенням та правилами

користування приладами, що використовуються при визначенні критичної глибини різання ґрунтів; 3 – дослідити якими процесами супроводжується явище критичної глибини різання ґрунту і де які зони формуються.

### 3.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель прямокутного плоского ножа, що виконана в масштабі 1:10 ( $k_1=10$ ).

Схема фізичної моделі прямокутного плоского ножа та навіски його на робочу панель тензометричного візка показана на (рис. 3.1).

Робочий орган розпушувача 1 за допомогою двох пальців 3 закріплено на універсальній панелі 2, яка приєднана шарнірно 4 і підкосом 5 до універсальної штовхаючої рами 6 фізичної моделі відвала бульдозера.

Універсальна штовхаюча рама за допомогою шарнірів приєднана до Г – подібного кронштейна 9 тензометричного візка через тензометри 7 і передню підвіску 11. Конструкція універсальної панелі 2, при необхідності, дозволяє встановлювати два і більше розпушувальних органів.

Параметри фізичної моделі досліджуваного обладнання наведені в технічній характеристиці (табл. 3.1).

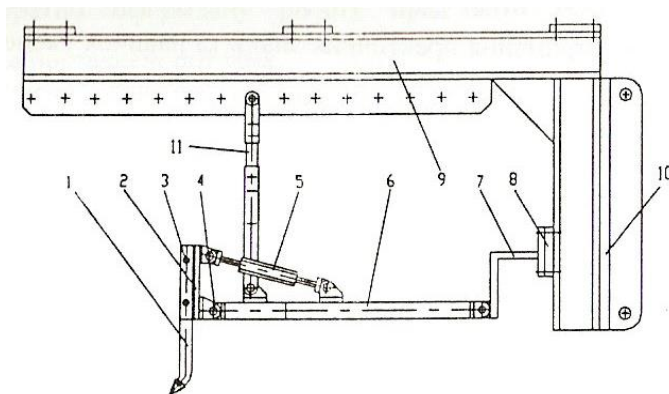


Рис. 3.1. Схема фізичної моделі робочого обладнання прямокутного плоского ножа: 1 – прямокутний плоский ніж; 2 –



універсальна панель; 3 – панель ножа; 4 – універсальний шарнір; 5 – регулюючий підкос; 6 – штовхаюча рама; 7 – тензометри; 8 – балка тензометрів; 9 – Г-подібний кронштейн; 10 – робоча панель

Таблиця 3.1. – Технічна характеристика фізичної моделі прямокутного плоского ножа

Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1. Кут різання	град.	30
2. Ширина наконечника	мм.	12
3. Глибина розпушення	мм.	120

### 3.2. Предмет дослідження

Предметом дослідження є процес блокованого різання, що характеризується наявністю критичної глибини різання ( $h_{кр}$ ), яка розділяє забій на дві зони: зону сколу ґрунту до денної поверхні і зону пружнопластичної деформації, що супроводжується витісненням ґрунту в бокові стінки і дно щілини.

На границі цих зон настає рівновага сил сколу у всіх напрямках, при цьому руйнування в сторону денної поверхні проходить із деякої глибини ( $h_c < h_{кр}$ ) з утворенням бокових розширень і вертикальних ділянок прорізів висотою ( $h_{кр} - h_c$ ). При заглибленні ножа з незмінними геометричними параметрами відношення глибини ( $h_c$ ) бокових розширень прорізу до повної глибини різання являється постійним. При подальшому збільшенні глибини різання ріст бічних розширень зупиняється, а висота вертикальних ділянок зростає і відношення ( $h_c / H$ ) зменшується. Таким чином глибину різання можна визначити експериментально по відношенню ( $h_c / H$ ).

На критичній глибині виникають зміни у співвідношеннях глибини розширеної ділянки прорізу до певної глибини різання. Ці зміни відображаються в силових залежностях процесу

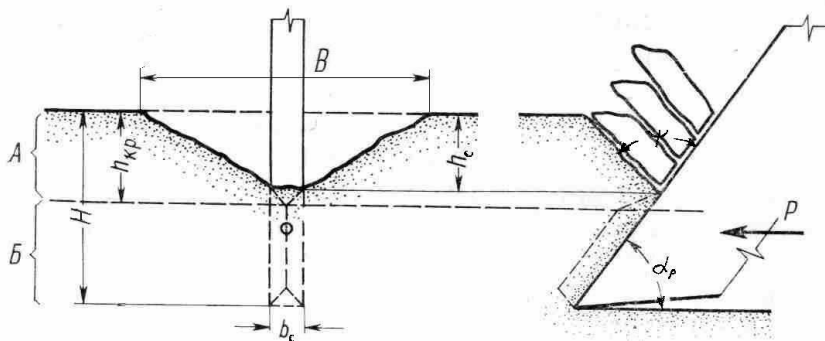


Рисунок – 3.2. Схема взаємодії ножа з ґрунтом

Критична глибина висотою верхнього півконуса в момент закінчення зростання бічних розширень прорізу ( $B_2 = const$ ) за залежністю

$$h_{кр} = \frac{B_1 - B_2 const}{2} \cdot \tan(\gamma); \quad (3.1)$$

де:  $B_1$  – ширина прорізу на денній поверхні;  $B_2 = const$  – ширина прорізу на критичній глибині різання;  $\gamma$  – кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту у проекції на фронтальну площину ( $\gamma = 59^\circ$ ).

Критична глибина різання у спондиловій глині визначалася також по залежності (3.1) при тій різниці, що ( $B_2 = const = b$  ( $b$  – ширина ножа)).

Гранична ширина прорізу на денній поверхні ( $B_1 = B_{2p}$ ) визначена апроксимацією експериментальної залежності ( $B_1(h)$ ) при умові, що глибина прорізу ( $h \rightarrow \infty$ ). Експериментальні криві ( $B_1(h)$ ), які отримані для кутів різання ножа ( $\alpha_p = 30^\circ; 40^\circ; 50^\circ; 60^\circ$ ) апроксимовані асимптотичною функцією вигляду

$$B_1 = A_{\alpha_p} \cdot \frac{h}{h + D_{\alpha_p}}; \quad (3.2)$$

де:  $B_1$  і  $h$  – поточні значення параметрів бічних розширень прорізу;  $A_{\alpha_p}$  і  $D_{\alpha_p}$  – коефіцієнти, які залежать від кута різання ножа для заданого типу ґрунту.

Глибину різання змінювали з кроком 1 см у межах від 2 до 9 см. Ця функція найбільш точно описує зміну ширини прорізу від глибини в області граничних значень.

Значення коефіцієнтів ( $A_{\alpha_p}$ ) і ( $D_{\alpha_p}$ ) визначені методом вибраних точок. За базові прийняті глибини різання 6 і 9 см і відповідні їм експериментальні значення бічних розширень прорізу. Якщо підставити базові значення у рівняння (3.2) і розв'язати систему двох рівнянь, то визначимо коефіцієнти ( $A_{\alpha_p}$ ) і ( $D_{\alpha_p}$ ).

Граничне значення ширини прорізу на денній поверхні визначено при умові, що

$$B_{zp} = \lim_{h \rightarrow \infty} B_1 = A_{\alpha_p}; \quad (3.3)$$

Кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту у проекції на фронтальну площину для кожної пари експериментальних значень ( $h, B_1$ ) визначали по формулі

$$\tan(\gamma) = \frac{2 \cdot h \cdot r_{nep}}{B_1 - b}; \quad (3.4)$$

де:  $r_{nep}$  – коефіцієнт переходу від глибини сколювання до критичної глибини різання ґрунту ( $r_{nep} = 0,95$ ).

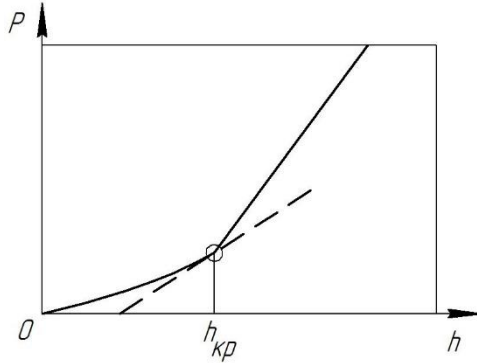


Рисунок 3.3 – Зміна силових залежностей процесу при переході через точку, що відповідає критичній глибині різання.

Середнє значення кута  $\gamma$  для залежності (3.1) визначили як середнє арифметичне всіх значень для кутів різання ( $\alpha_p = 30^\circ$ ;  $40^\circ$ ;  $50^\circ$ ;  $60^\circ$ ). Довжина різання в кожному досліді складала 40...55 см.

### 3.3. Прилади та обладнання

1. Грунтовий канал НУВГП ..... 1 шт.
2. Динамометричний візок ..... 1 шт.
3. Ноутбук із програмою ТС-8 ..... 1 шт.
4. Динамічний щільномір (ударник ДорНДІ) для визначення категорії ґрунту ..... 1 шт.
5. Рулетка вимірювальна металева довжиною 20 м ... 1 шт.
6. Лінійка вимірювальна металева довжиною 0,5 м .. 1 шт.
7. Прямокутний плоский ніж ..... 1 шт.
8. Ґрунтообробне знаряддя ..... 1 шт.

### 3.4. Ґрунтові умови

Дослідження процесу копання ґрунту прямокутним плоским ножом проводиться методом фізичного моделювання в умовах зміни фізико-механічних властивостей середовища, що розробляється.

В лабораторній роботі досліджується процес розпушення ґрунту II і III категорій. Моделювання даного ґрунту забезпечується суглинком.

Підготовка ґрунту виконується шляхом його зволоження, ретельного розпушення та ущільнення до потрібної міцності. Контроль міцності виконується моделлю динамічного щільноміра.

### **3.5. Умови проведення досліджень**

Експериментально досліджується критична глибина різання ґрунту.

Критерієм оцінки процесу копання приймається дотична складова опору ґрунту різанню, на подолання якої в реальних умовах затрачається тягове зусилля базового трактора.

В якості головного впливового фактора при різанні конкретного ґрунту приймаємо глибину різання ( $h_p$ ).

Для визначення закономірності зміни ( $P_p = f(h_p)$ ) і ( $B = f(h_p)$ ) фактор ( $h_p$ ) змінюємо на 5-ти рівнях:  $h_{p1}=4$  см.;  $h_{p2}=6$  см.;  $h_{p3}=8$  см.;  $h_{p4}=10$  см.;  $h_{p5}=12$  см.

При проведенні дослідів критерій ( $P_p$ ) реєструється приладами, критерій ( $B$ ) замірюється лінійкою, а рівні фактора ( $h_p$ ) встановлюються підйомним механізмом робочої панелі навіски тензометричного візка.

### **3.6. Порядок проведення дослідів**

1. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ( $C_{уд} = 8-10$  уд.).

2. Відібрати із експериментального поля зразки ґрунту для визначення його вологості та щільності за стандартною методикою.

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати пряминок на ґрунтовому каналі та

установити плоский ніж з кутом різання  $30^\circ$ .

5. Виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного візка.

6. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

7. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході досліду уважно спостерігати за процесом різання.

8. При досягненні ножом відмітки кінця ділянки копання зупинити тензометричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Заміряти глибину різання ( $h_p$ ) та ширину бокових розширень ( $B$ ).

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного досліду, для чого повторити дії вказані в пунктах 3, 5, 6.

10. Провести наступний дослід відповідно пунктам 7 і 8.

Для отримання необхідної статистичної інформації необхідно провести 5–6 груп дослідів, що відрізняються рівнем (величиною) впливового фактору (в даному випадку ( $h_p$ )).

Виходячи з технологічних міркувань, рекомендується змінювати ( $h_p$ ) на наступних рівнях:  $h_p = 2, 4, 6, 8, 10, 12$  см.

11. Отримані дані занести в таблицю 3.2., побудувати графічні залежності ( $P_p = f(h_p)$ ), ( $B = f(h)$ ) і визначити критичну глибину різання для даних ґрунтових умов.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань

№	$h_p$ , см	$P_p$ , Н	$B$ , см
1	2		
...	...		
5	12		

### 3.7. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

## Лабораторна робота № 4

**Тема:** Вплив глибини різання ( $h$ ) і товщини ріжучих стінок  $s$  на зусилля різання.

**Мета роботи:** Встановити залежності між зусиллям різання й шириною (товщиною)  $s$  вертикального листа (при довжині  $b = 200$  мм), що ріже ґрунт на різні глибини.

**4.1. Об'єкт та предмет дослідження.** Для проведення дослідів спочатку застосовувалися листи товщиною ( $S_1 = 7$  мм,  $S_2 = 15$  мм. і  $S_3 = 30$  мм.), всі однакової довжини ( $b = 200$ ) мм. Крім того, у піску випробовувалися профілі товщиною ( $S_4 = 120$  мм. і  $S_5 = 80$  мм.) і додатково на різних ґрунтах листи товщиною ( $S_6 = 4$  мм.,  $S_7 = 2$  мм і  $S_8 = 1$  мм (тонкі листи)).

Випробування велися на тих же ґрунтах, що й у попередніх дослідах, а саме: на глині ( $\omega = 19,0\%$ ,  $C_{y\partial} = 9$  ударам); на супіску ( $\omega = 9,5\%$ ,  $C_{y\partial} = 9$  ударам); на річковому піску ( $\omega = 9\%$ ,  $C_{y\partial} = 1$  удару).

Глибина різання мінялася від 5 до 25 см для щільних ґрунтів і від 12 до 32 см для піску.

Зведені дані результатів цих випробувань для листів товщиною від 1 до 120 мм представлені графічно на (рис. 4.1).

Суцільні лінії від I–I до V–V відповідають дослідом на супіску. I–I – ширина профілю 7 мм; II–II – ширина профілю 15 мм; III–III – ширина профілю 30 мм; IV–IV – ширина профілю 80 мм; V–V – ширина профілю 120 мм.

Нижче наведені дані дослідів на піску ( $\omega = 9\%$ ,  $C_{y\partial} = 1$ ).

Пряма 1–1 відповідає листу розміром 7x200 мм, пряма 2–2 – листу 30x200 мм і 3–3 – листу 120x200 мм.

Пунктирні лінії отримані в результаті дослідів на глині ( $\omega = 19\%$ ,  $C_{y\partial} = 9$ ) з листами ( $S = 7$ ); 15 і 30 мм, а прямі 4–4 і 5–5 з дослідів на глині з меншою вологістю: пряма 4–4 для глини вологістю ( $\omega = 15\%$ ,  $C_{y\partial} = 15$ ) і 5–5 для глини вологістю ( $\omega = 12,5\%$  при  $C_{y\partial} = 20,5$ ).

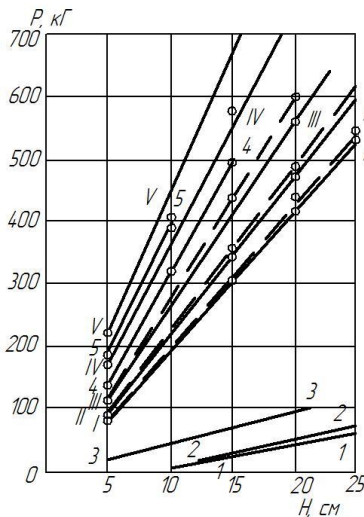


Рисунок 4.1 – Залежність зусилля різання від глибини різання для різних ґрунтів і ширин профілів

Для встановлення закономірності ( $P = f(h)$ ) для профілів товщиною ( $S < 1$ ) см на супіску ( $\omega = 9,5\%$ ,  $C_{y\partial} = 9$ )



були протянуті листи  $S_1 = 4$  мм,  $S_2 = 2$  мм і  $S_3 = 1$  мм. Дані цих дослідів графічно представлено на (рис. 4.2).

Як відомо, криві типу парабол вищих ступенів при побудові в прямокутних логарифмічних координатах дають прямі лінії, по яких визначаються рівняння даних парабол.

Результат побудови залежності зусилля різання від глибини різання в логарифмічних координатах для різних товщин профілів (по графіках рис. 4.2) наведений на (рис. 4.3).

Отримані прямі лінії свідчать про наявність залежності

$$P = k \cdot h^n; \quad (4.1)$$

де:  $k$  і  $n$  – залежать від товщини ріжучого профілю і від типу ґрунту.

Логарифмуючи рівняння (4.1), маємо

$$\lg(P) = \lg(k) + n \cdot \lg(h);$$

що визначає пряму в логарифмічних координатах.

Користуючись прямими (рис. 4.3), знаходимо значення ( $k$  і  $n$ ) для різних значень ( $S$ ).

Отримані наступні рівняння:

$$\text{- для листа } S = 1 \text{ мм} \quad P = 2 \cdot h^{1,55} \quad (4.2)$$

$$\text{- для листа } S = 2 \text{ мм} \quad P = 3,5 \cdot h^{1,44} \quad (4.3)$$

$$\text{- для листа } S = 4 \text{ мм} \quad P = 6 \cdot h^{1,30} \quad (4.4)$$

$$\text{- для листа } S = 7 \text{ мм} \quad P = 14 \cdot h^{1,30} \quad (4.5)$$

$$\text{- для листа } S = 80 \text{ мм} \quad P = 25 \cdot h^{1,1} \quad (4.6)$$

$$\text{- для листа } S = 120 \text{ мм} \quad P = 40 \cdot h^{1,1} \quad (4.7)$$

Товщина профілю в проведених дослідженнях змінювалася в широкому діапазоні від 1 до 120 мм і всюди показник ступеня ( $n > 1$ ), а це свідчить про те, що величина питомого опору чистому різанню ( $K$ , кг/см<sup>2</sup>) в умовах блокованого різання збільшується зі збільшенням глибини різання.

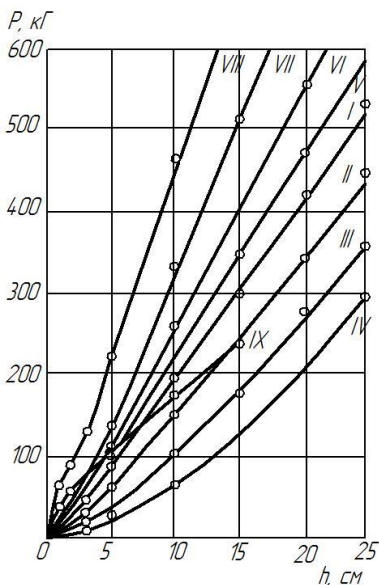


Рисунок 4.2 – Залежність зусилля різання від глибини різання для профілів різної ширини:

*Блоковане різання:* **I** – лист 7x200 мм; **II** – лист 4x200 мм; **III** – лист 2x200 мм; **IV** – лист 1x200 мм; **V** – лист 15x200 мм; **VI** – лист 30x200 мм; **VII** – лист 80x200 мм; **VIII** – лист 120x200 мм;  
*Напівблоковане різання:* **IX** – лист 80x200 мм

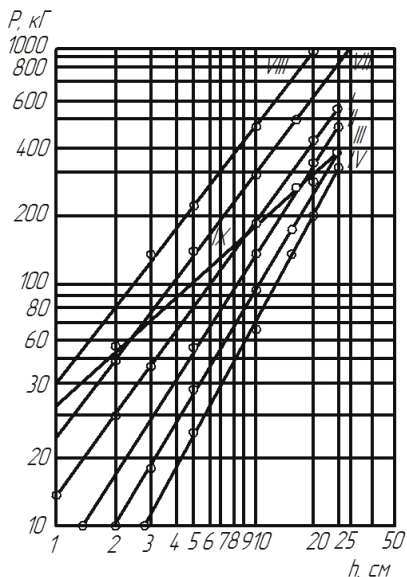


Рисунок 4.3 – Залежність зусилля різання від глибини різання логарифмічних координатах для пісків:

*Блоковане різання:* **I** – лист 7x200 мм; **II** – лист 4x200 мм; **III** – лист 2x200 мм; **IV** – лист 1x200 мм; **V** – лист 15x200 мм; **VI** – лист 30x200 мм; **VII** – лист 80x200 мм; **VIII** – лист 120x200 мм;  
*Напівблоковане різання:* **IX** – лист 80x200 мм

Величина  $K$  визначається:

$$K = \frac{P}{F} = \frac{P}{h \cdot S} = \frac{k \cdot h^n}{h \cdot S} = \frac{k}{S} \cdot h^{n-1},$$

де:  $S$  – ширина розрізу.

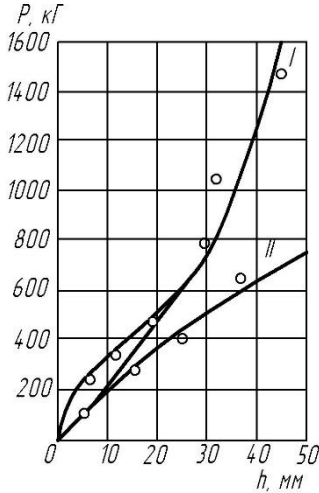


Рисунок 4.4 – Залежність зусилля різання від глибини для вугілля: I – для блокуваного різання; II – для напівблокуваного різання

При ( $n > 1$ ) величина ( $K$ ) пропорційна ( $h^{n-1}$ ), а така залежність графічно представляється параболою вищого ступеня, зверненою опуклістю убік ординати значень ( $K$ ), що характеризує збільшення ( $K$ ) з ростом значень ( $h$ ). Наведені закономірності ( $P = f(h)$ ) і ( $K = f(h)$ ) характерні для невільного (блокуваного) різання. В умовах напіввільного різання ці закономірності будуть мати інший вид. На (рис. 4.2) наведені результати дослідів по різанню супісків профілем  $S = 8$  см на глибину 5–10 см в умовах напіввільного різання, тобто коли одна з бічних площин профілю збігається з відкритою бічною поверхнею ґрунту, паралельної напрямку руху профілю (крива

IX). Ця крива має рівняння ( $P = k \cdot h^n$ ) при ( $n < 1$ ), у цьому випадку ( $n = 0,8$ ).

Якщо в рівнянні ( $P = k \cdot h^n$ ) величина ( $n < 1$ ), то в залежності ( $K = f(h)$ ) показник ( $n - 1$ ) буде від'ємною величиною, а це значить, що питомий опір різанню ( $K$ ) (при наявності напівблокованого різання) буде зменшуватися зі збільшенням глибини різання.

Зазначені закономірності зміни ( $P = f(h)$ ) і ( $K = f(h)$ ) мають місце й при різанні тендітних гірських порід: вугілля й вапняку. На (рис. 4.4) наведені закономірності ( $P = f(h)$ ) для різця – ( $S = 200$  мм), отримані Р. І. Тедером для блокованого різання вугілля (крива 0–I–I) і для напівблокованого різання (крива 0–II). З наведених графіків випливає, що характер закономірностей аналогічний тим, які були встановлені для різання ґрунтів.

Для виявлення залежності ( $P = f(h)$ ) для глибин різання менш 3 см були проведені дослідження з більше точним динамометром на тому ж супіску із профілями ( $S = 80$  мм і  $S = 120$  мм). Результати цих дослідів показали, що при дуже тонких стружках ( $h \leq 2$ ) см залежність ( $P = f(h)$ ) має вигляд ( $P = k \cdot h^n$ ) при ( $n < 1$ ). Ці залежності нанесені на кривих VII й VIII (рис. 4.2).

Фактично всі криві (рис. 4.2) мають при малих ( $h$ ) показник ступеня ( $n < 1$ ) і ( $K$ ) зменшується із глибиною різання, а потім з ( $h \approx 2 - 3$  см) ( $n$ ) стає більше одиниці й ( $K$ ) росте зі збільшенням ( $h$ ).

В 1952 р., проводячи дослідження з різання важкого суглинку ( $\omega = 17\%$ ) різцем шириною 100 мм, В.Н. Ніколаєв також одержав підйом кривої в зоні ( $h = 2$  см).

Р.І. Тедер в умовах блокованого різання вугілля різцем шириною ( $S = 25$  мм.) одержав закономірність ( $P = f(h)$ ), наведену на (рис. 4.4) (крива 0–I–I), з якої випливає, що при дуже

малих глибинах різання порядку 1–2 см. має місце збільшення зусиль різання й у цій ділянці показник ( $n < 1$ ).

Закономірності, аналогічні наведеним на (рис. 4.4), спостерігалися в дослідях докторів технічних наук Н.Е. Носенко й М. І. Гальперина при різанні вапняків на дуже малих глибинах ( $h=0,1-0,4$  мм.) і Б. М. Логунцова для умов блокованого й напівблокованого різання вапняку (міцністю  $f = 2$ ) різцем ( $S = 12$  мм).

Пояснення наведеним закономірностям може бути наступне: при дуже малих, у порівнянні із шириною профілю (різця), глибинах різання, енергетичною витратою є енергія, яка витрачається на диспергування матеріалу. У міру збільшення глибини різання енергетичні витрати на диспергування знижуються в загальному балансі роботи руйнування й більшу частину становить робота, затрачувана на сколювання елементів стружки. Це явище й приводить надалі до двох різних кривих ( $P = f(h)$ ) для невідлого (блокованого) і напіввідлого (напівблокованого) різання. Дані закономірності добре погодяться з теорією П. А. Ребиндера.

Графіки (рис. 4.1, 4.2) дозволяють побудувати залежність зміни зусиль різання від ширини ріжучого профілю  $S$  для глини, супіску і піску.

На рис. 4.5 наведені графіки зміни ( $P = f(S)$ ) для супіску вологістю ( $\omega = 9,5\%$ ) від глибин різання від 5 до 20 см і ( $S$ ) від 1 до 30 мм.

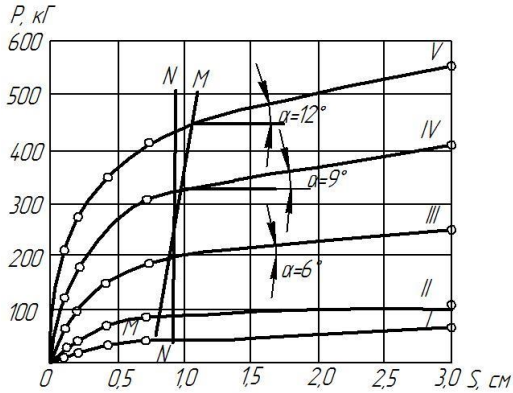


Рисунок 4.5 – Залежність зусилля різання від товщини профілю при різних глибинах різання:

I –  $h = 3$  см; II –  $h = 5$  см; III –  $h = 10$  см; IV –  $h = 15$  см; V –  $h = 20$  см

Для вертикальних листів розрахункове зусилля при ( $S > 1$ ) см з достатньою для технічних розрахунків точністю визначається наступною формулою:

$$P = P_1 \cdot (1 + 0,1 \cdot S); \quad (4.8)$$

де:  $S$  – товщина профілю листа, см;  $P_1$  – зусилля при даній глибині різання, що відповідає листу товщиною ( $S = 1$  см).

Значення ( $P_1$ ) для різних ґрунтів і глибин різання можна взяти безпосередньо із графіка (рис. 4.1) або з (табл. 4.1).

На (рис. 4.5) з метою надання графікові компактності ширина профілю ( $S$ ) обмежена 30 мм, хоча закономірність ( $P = P_1 \cdot (1 + 0,1 \cdot S)$ ) справедлива для всього прийнятого в досліді діапазону ( $S$ ) від 1 до 12 см.

Для прикладу приведемо розрахунок для глини й супіска при ( $h = 10$  см.) і ( $S = 120$  мм.).

З формули випливає ( $P = 210(1 + 1,2) = 462$  кг), а із графіків 2 і 3 величина ( $P = 460$  кг (4600 Н)).

Таблиця 4.1 - Значення  $P_l$  для різних ґрунтів і глибин різання

Ґрунти	$h = 5$ см	$h = 10$ см	$h = 15$ см	$h = 20$ см	$h = 25$ см
Глина $\omega=19\%$ ; $C_{y\partial} = 9$	90	210	340	450	570
Супісок $\omega=9,5\%$ ; $C_{y\partial} = 9$					
Пісок $\omega = 9\%$ ; $C_{y\partial} = 1$	–	20	33	50	65

Деякі дослідники, посилаючись на раціональну формулу академіка В. П. Горячкіна, роблять висновок про прямопропорційну залежність між ( $P$ ) і ( $S$ ), не враховуючи, що формула В. П. Горячкіна справедлива для стандартного перетину шару ґрунту, що вирізується лемешем плуга, і що цю формулу не можна механічно поширювати на будь-які виконавчі органи землерийних машин.

Формула (4.8) визначає повільне наростання величини ( $P$ ) у залежності від ( $S$ ); при зміні ( $S$ ) від 1 до 10 см, тобто в 10 разів, зусилля різання ( $P$ ) збільшується всього в 2 рази.

Причину такого повільного наростання можна пояснити наступним:

1. Ґрунт, стиснений лобовою поверхнею елементарного профілю, тільки частково сколюється й піднімається на поверхню, а інша маса ґрунту із прорізаної щілини йде в стінки щілини по обидві сторони листа. Чим ширше щілина, тим більша маса ґрунту входить у стінки і тим далі повинні пройти відтиснені частинки у сторони.

Значення величини ( $l$ ), що характеризує ширину кожної із двох зон, у яких відбувається перегрупування частинок ґрунту під впливом напруг у ґрунті при різній товщині листа і при ( $h = 10$  см.), що впливають:

Товщина листа ( $S$ ), см.	0,1;	1;	1,5;	3;	8.
Величина ( $l$ ), см	6;	17;	20;	22;	31.

Залежність між  $(l)$  і  $(S)$  виражається рівнянням, аналогічним рівнянню (4.8):

$$l = l_1 \cdot (1 + 0,1 \cdot S); \quad (4.9)$$

де:  $l_1$  – ширина зони перегрупування частинок (у кожному сторону від щілини) при листі товщиною ( $S = 1$  см); величини  $(l)$ ,  $(l_1)$  і  $(S)$  виражені в сантиметрах.

Визначення довжини зазначених зон вироблялося наступними методами:

протягуванням профілів на різних відстанях від краю відкритої стінки й спостереженням деформацій ґрунту;

закладанням у ґрунт закопченого скла.

Обидва методи дали близькі результати.

2. В обидві сторони від щілини рухаються не тільки ті частки, які вичавлені із щілини, але й вся маса ґрунту, обумовлена шириною  $(l)$  зони напруженого ґрунту по обидві сторони щілини. Інтенсивність руху часток поступово зменшується в напрямку від щілини до зовнішніх границь зон напруги. Тому на величину  $(P)$  впливає не кількість вичавленого із щілини ґрунту (прямо пропорційного  $S$ ), а маса ґрунту, приведена в стан пластичної деформації у всій зоні підвищених напружень, обумовлена тільки величиною  $(l)$ , що пропорційна  $(P)$ . Кількість вичавлених із щілини часток обумовлює тільки глибину поширення деформацій, тобто величину  $(l)$ , обумовлену по формулі (4.9).

Формула (4.9), маючи однакову структуру з формулою (4.8), застосовна, так само як і остання, для значень  $(S > 1)$  см і в основному фізично обґрунтовує формулу  $(P = P_1 \cdot (1 + 0,1 \cdot S))$ .

#### 4.2. Зміст роботи.

Підготовка до досліду площадки ґрунту на ґрунтовому каналі або на полігоні. Визначення вологості ґрунту  $(\omega)$  і числа ударів  $(C_{y\delta})$  ударником ДорНДІ. Установка елементарного ріжучого профілю на динамометричний візок.



Різання ґрунту елементарним ріжучим профілем. Ширина профілю ( $S = 1$  см.). Глибина різання ( $h = 5; 10; 20; 30$  см.).

Різання ґрунту елементарними ріжучими органами різної ширини ( $S = 1; 2; 5; 8$  см.). Глибина різання ( $h = 20$  см.).

Реєстрація величин, що замірюються, опрацювання осцилограм.

Побудова графіків залежності зусилля різання ( $P$ ) від глибини різання ( $h$ ) і ширини елементарного ріжучого профілю у звичайних і логарифмічних координатах.

Виведення формул, що відображають залежність зусилля різання елементарним ріжучим профілем від глибини різання ( $h$ ) і ширини елементарного ріжучого профілю ( $S$ ). При виводі формул використовується властивість парабол спрямлятися в логарифмічних координатах.

Побудова графіків залежності питомого опору різанню ( $K$ ) від глибини різання й ширини ріжучого профілю.

Аналіз отриманих результатів.

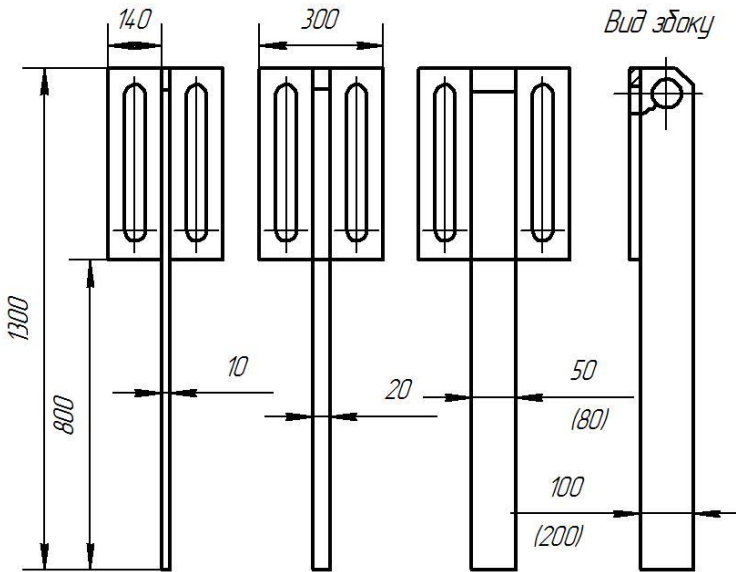


Рисунок 4.6 – Схема елементарних профілів

### 4.3. Прилади і обладнання.

1. Динамометричний візок.
2. Прилади для визначення вологості ґрунту.
3. Ударник ДорНДЦ.
4. Елементарні ріжучі профілі, показані схематично на (рис.6.)

### 4.4. Схема звіту.

1. Тема і мета роботи.
2. Характеристика ґрунту, у якому проводяться дослід.
3. Характеристика досліджуваних робочих органів (ескіз, основних розмірів).
4. Схема установки робочого органа на динамометричний візок.
5. Вимірювальна апаратура, її призначення, коротка характеристика. Схема з'єднання вимірювальної апаратури.
6. Величини, що заміряються, і результати обробки осцилограм заносяться в (табл. 4.2) та (табл. 4.3) ( $\omega$ ).

Таблиця 4.2 –  $P = f(h)$

№	$\omega$ , %	$C_{уд}$ , ударів	$h$ , см	$S$ , см	$F$ , см <sup>2</sup>	$l_2$ , см	$\Delta$ , мм	$P$ , Н	$K$ , кН/м <sup>2</sup>

Таблиця 4.3 –  $P = f(S)$

№	$\omega$ , %	$C_{уд}$ , ударів	$h$ , см	$S$ , см	$F$ , см <sup>2</sup>	$l_2$ , см	$\Delta$ , мм	$P$ , Н	$K$ , кН/м <sup>2</sup>

7. Графіки залежностей зусилля різання від глибини різання ( $h$ ) і ширини елементарного ріжучого профілю ( $S$ ) у звичайних і логарифмічних координатах.

8. Формули, що відбивають залежність зусилля різання від глибини різання ( $h$ ) і ширини ріжучого профілю ( $S$ ).

9. Графік залежності питомого опору різанню ґрунту елементарним ріжучим органом від глибини різання ( $h$ ) і ширини профілю ( $S$ ).

10. Висновки.

#### 4.5. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

### Лабораторна робота №5

**Тема:** Визначення зусилля різання гострим ножем по методу

Ю. А. Ветрова

**Мета роботи:** Експериментально визначити зусилля різання ґрунту гострим ножем в умовах блокованого й напівблокованого різання; зіставити дослідні значення зусилля різання з розрахунковими по формулах Ю. А. Ветрова.

**5.1. Об'єкт та предмет дослідження.** Однією з найбільш істотних особливостей процесу різання щільних ґрунтів є просторовість взаємодії різального інструменту із ґрунтом, що проявляється в тому, що руйнування ґрунту під час відділення стружки відбувається не тільки перед лобовою гранню ножа, але й у так званих бічних розширеннях прорізу, вплив яких на енергоємність процесу різання зростає зі збільшенням міцності ґрунту й зменшенням ширини різця.

У результаті руйнування ґрунту за межами лобової поверхні робочого органа утворюється проріз не прямокутного, а трапецієподібного перетину (рис. 5.1), обриси якого залежать від типу ґрунту, кута різання й у трохи меншій мірі від інших параметрів процесу різання.

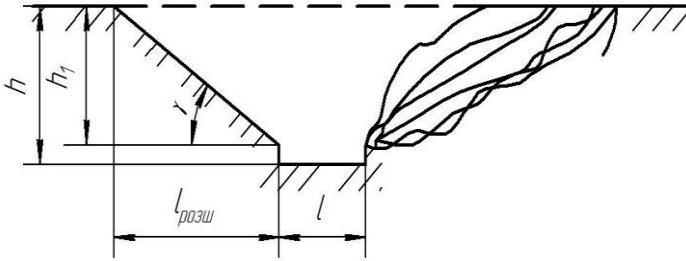


Рисунок 5.1 – Схема поперечного розрізу прорізі; справа показані контури прорізі для різних ґрунтів

При збільшенні ширини різця розміри бічних розширень прорізі спочатку збільшуються, потім стабілізуються й при подальшому збільшенні ширини різця залишаються постійними (рис. 5.2, а). Аналогічне явище має місце й при збільшенні глибини різання. Характер зміни обрисів прорізу при збільшенні глибини різання показаний на (рис. 5.2, б).

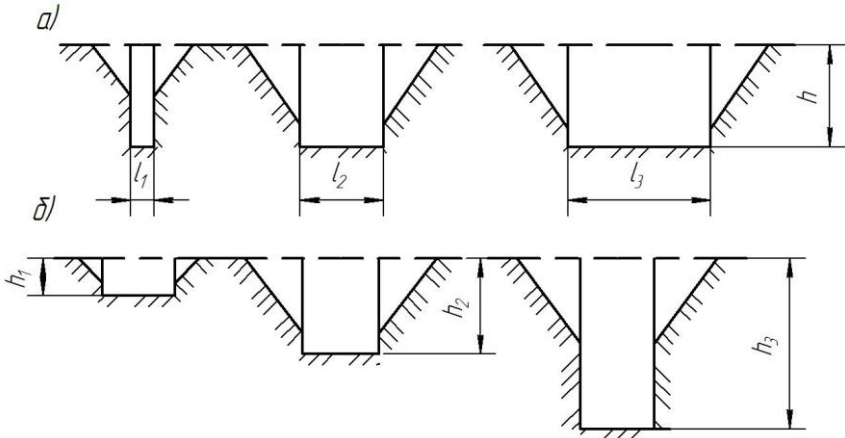


Рисунок 5.2 – Характер вимірювання форми прорізі при збільшенні різання:  
а – ширини різання; б – глибини різання

Руйнування ґрунту під час відділення стружки відбувається в результаті розвитку в ньому складного напруженого стану:

перед лобовою гранню ножа, руйнування йде переважно зрушенням і відколом при стисненні, у бічних розширеннях прорізу – відривом, а в бічних ребрах ножа, біля ріжучої кромки – зрізом. Опір ґрунту руйнуванню в бічних розширеннях прорізу по відношенню до одиниці площі їхнього перетину в 2-4 рази менший, ніж лобовий опір, віднесений до одиниці площі перетину зрізу перед лобовою частиною ножа.

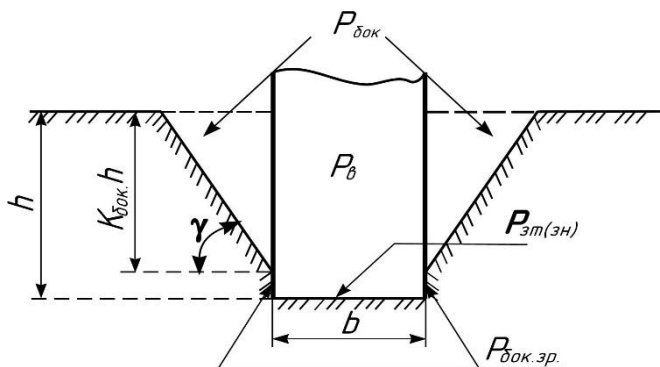


Рисунок 5.3 – Зони дії складових сили різання гострим ножем

З огляду на цю обставину, конструктор, проектуючи робочий орган землерийної машини, повинен надавати йому такі розміри й форму, щоб руйнувалася більша частина ґрунту найменш енергоємним шляхом, тобто так, як у бічних розширеннях прорізу. Робочі органи землерийних машин варто конструювати так, щоб бічні розширення прорізів мали більше питоме значення в перетині стружки, а площа прорізу перед лобовою гранню ножа й довжина ріжучої кромки були мінімальними в допустимих межах.

Відповідно до описаних вище закономірностей процесу різання зусилля блокованого різання прямим гострим ножем варто розглядати як складову із трьох частин (рис. 5.3):

1) зусилля для подолання лобових опорів ножа ( $P_g = P_1$ ), пропорційного площі лобової частини прорізу;

2) зусилля для подолання опору ґрунту руйнуванню в бічних розширеннях прорізу ( $P_{бок} = P_2$ ), пропорційного площі перетину бічних розширень;

3) зусилля для подолання опорів зрізу ґрунту боковими гранями ножа ( $P_{бок.зр.} = P_3$ ), пропорційного довжині зрізу.

Таким чином, зусилля блокованого різання прямим гострим ножом виражається тричленом

$$P = P_1 + P_2 + P_3; \quad (5.1)$$

Беручи до уваги фізичний зміст кожного з доданків і вводячи для обліку впливу кута різання коефіцієнт ( $\varphi$ ), перетворимо вираження (1) до виду:

$$P = \varphi \cdot m_g \cdot b \cdot h + 2 \cdot m_{бок} \cdot h^2 + 2 \cdot m_{бок.зр.} \cdot h; \quad (5.2)$$

де:  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує вплив кута різання (при  $\alpha_p = 45^\circ$ ,  $\varphi = 1,0$ );  $m_g$  – питома сила різання в лобовій частині прорізу при куті різання ( $45^\circ$ );  $m_{бок}$  – коефіцієнт, що характеризує зусилля руйнування ґрунту в бічних частинах прорізу;  $m_{бок.зр.}$  – коефіцієнт, що характеризує питому силу зрізу ґрунту одним з бічних ребер ножа.

Значення  $m_g$ ,  $m_{бок}$ ,  $m_{бок.зр.}$  наведено в (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Значення  $m_g$ ,  $m_{бок}$ ,  $m_{бок.зр.}$

Ґрунт	$m_g$ , кг/см <sup>2</sup>	$m_{бок}$ , кг/см <sup>2</sup>	$m_{бок.зр.}$ , кг/см <sup>2</sup>
Суглинок коричневий	0,97	1,42	0,13
Суглинок важкий коричневий вологий	0,54	1,26	0,08
Глина коричнева волога	0,31	0,74	0,09
Сіро-зелена мергеляста глина	1,74	0,40	0,21
Аргиллит	0,64	5,47	0,24

Якщо різання ведеться за напівблокованою схемою, то розширення прорізу утвориться тільки по одну сторону ножа, і рівняння (5.2) приводиться до виду:

$$P = \varphi \cdot m_g \cdot b \cdot h + m_{бок} \cdot h^2 + m_{бок.ср} \cdot h; \quad (5.3)$$

## 5.2. Зміст роботи.

1. Підготовка площадки ґрунту, визначення вологості ґрунту й числа ударів ( $C_{yд}$ ) ударником ДорНДІ.

2. Різання ґрунту еталонним ножем Ю. А. Ветрова (рис. 5.4).

**Дослід 1.** Блоковане різання. Ширина ножа ( $b = 10$  см.), кут різання ( $\alpha_p = 45^\circ$ ), глибина різання ( $h = 10$  см.).

**Дослід 2.** Напівблоковане різання. Параметри робочого органа ті ж, що й у досліді 1.

1. Визначення основних параметрів поперечного перерізу прорізу (ескіз, основні розміри, площа бічних розширень, кут розвалу ( $\gamma$ ) і т. д.).

2. Запис зусиль, що заміряються, і розшифровка осцилограм.

Обчислення зусиль різання по формулі Ю.А. Ветрова і зіставлення значень зусиль різання, отриманих дослідним і розрахунковим шляхами.

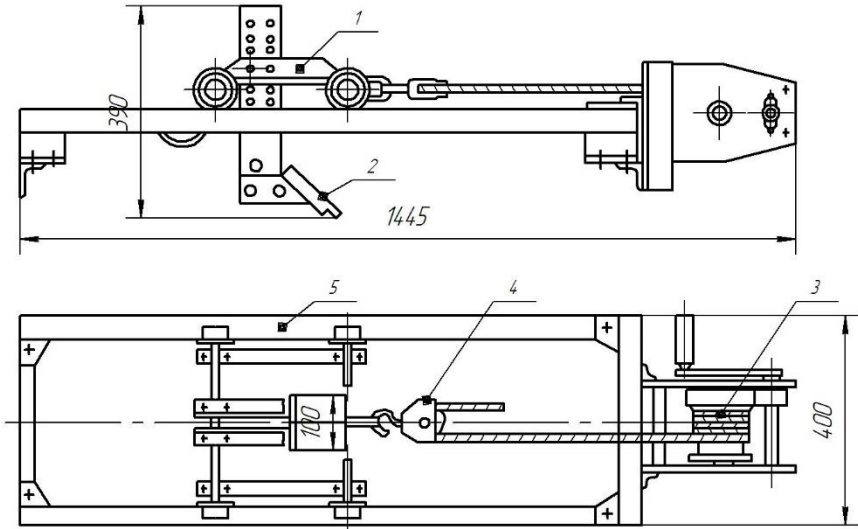


Рисунок 5.4 – Еталонний ніж Ветрова:

1 – візок; 2 – ніж; 3 – лебідка; 4 – поліспасть; 5 – направляюча рама

### 5.3. Прилади і обладнання.

1. Еталонний ніж Ю.А. Ветрова.
2. Прилади для визначення вологості ґрунту ( $\omega$ ).
3. Ударник ДорНДІ.

### 5.4. Схема звіту.

1. Тема і мета роботи.
2. Характеристика ґрунту, у якому проводяться досліді.
3. Характеристика досліджуваного робочого органу (ескіз, основні розміри).
4. Величини, що заміряються, і результати обробки діаграми.

Розміри, що характеризують поперечний переріз прорізу, заносяться в (табл. 5.2).



Таблиця 5.2 – Результати вимірювань

№	Глибина різання $h$ , см.	Глибина частини прорізі що розширюється $h_1$ , см.	$K_{\text{бок}} = \frac{h_1}{h}$	Кут розвалу $\gamma$ , град.	Площа поперечного перерізу прорізі $F$ , см.	Примітка
1..						

Результати зіставлення значень зусиль різання, отриманих дослідним і розрахунковим шляхами, заносяться в (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Результати вимірювань

Метод визначення $P$	Блоковане різання		Напівблоковане різання	
	$P$ , Н	$P$ , %	$P$ , Н	$P$ , %
Дослідний				
Розрахунковий				

**5.5. Захист роботи.** Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

### Лабораторна робота №6

**Тема:** Визначення довжини лемеша.

**Мета роботи:** Отримання практичних знань та навичок експериментального визначення довжини лемеша.

**Задачі:** 1 – закріпити загальнотеоретичні положення про закономірності визначення довжини лемеша; 2 – вивчити об'єм та послідовність дій, що виконуються при проведенні експериментальних досліджень; 3 – обробити і проаналізувати дослідно-експериментальну інформацію та скласти звіт по виконанні роботи.

### 6.1. Об'єкт дослідження.

Об'єктом дослідження є маятниковий стенд для визначення довжини лемеша.

Для визначення особливостей процесу різання ґрунту в нижніх ярусах, та визначення довжини лемеша застосовується маятникова установка. Її конструкція дозволяє змінювати розміри сколюваних елементів, кута різання, а також з достатньою точністю контролювати ці параметри.

Установка складається (рис. 6.1) з піддону 1, пересувної рами 2, маятника 3, показника кута повороту 4 та ножів 5, що кріпляться на маятнику. Піддон 1 представляє з себе металевий жолоб прямокутного перерізу з отворами по бічних стінках, які дозволяють змінювати глибину заглиблення випробуваних ножів в ґрунт. Несучим елементом установки є пересувна рама 2, яка складається з двох ферм трапецеїдальної форми. В нижній частині, ферми з'єднані стержнями з кутникової сталі. Жорсткість верхньої частини рами забезпечується ригелем і валом маятника. Вал маятника 6 вільно обертається в двох підшипниках 7 на рамі 2. На одному кінці вала розміщений важільно-кулачковий скидальний механізм 8. Маятник складається з стержня та вантажу 9 роз'ємного типу вифрезерованими канавками для фіксації дослідних ножів 5.

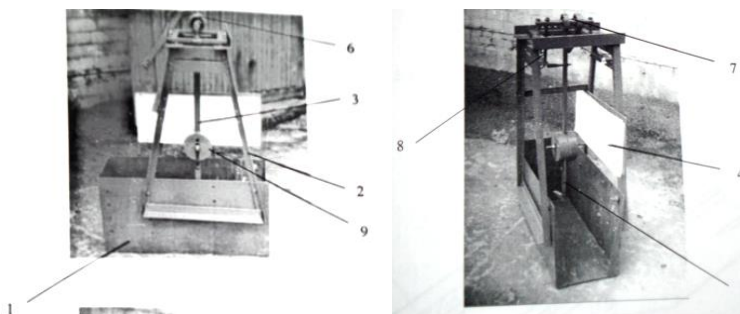


Рисунок 6.1 – Конструкція маятникового стенду для визначення довжини лемеша

## 6.2. Предмет дослідження

Предметом дослідження є довжина лемеша.

Дослідні ножі 5 виконані зі змінним кутом різання в межах  $20^\circ \dots 50^\circ$  та різною шириною лемеша (від 10 до 50 мм з кроком 10 мм). Довжина лемеша визначається за допомогою спеціального пристрою. Його особливістю є те, що на леміш накладається білий папір (рис. 6.2), а зверху – копіювальний. Для захисту паперу від взаємодії з ґрунтом використовуємо лавсанову плівку. Зону контакту ножа з ґрунтом визначаємо по відбитку який отримуємо на білому папері.

Для визначення лемеша при розробці ґрунту у нижньому ярусі використовувалась методика розроблена Кравцем С. В. і Карнауховим М. М.. Суть її полягає у наступному. Оскільки в нижньому ярусі тензометричний ніж розробляє ґрунт на глибини, сумірні з критичною, то горизонтальна складова ( $R_D$ ) опору переміщення досягає максимуму в момент відділення стружки від масиву. Тому можна припустити, що відстань  $X$  між піками осцилограми (рис. 6.3) визначає час  $t$  сколу ґрунтового елемента:

$$t = \frac{X}{V_o}; \quad (6.1)$$

де:  $V_o$  – швидкість руху фотопаперу в осцилографі.

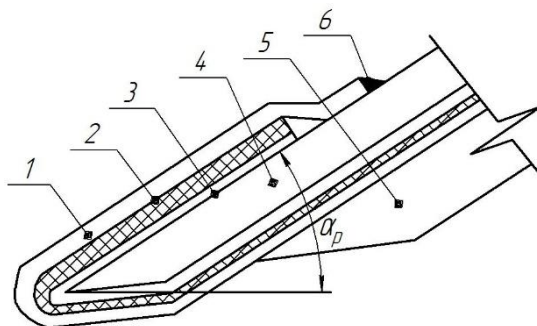


Рисунок – 6.2 Конструкція дослідного ножа встановленого на маятниковому стенді: 1 – лавсанова плівка; 2 – копіювальний папір; 3 – білий папір; 4 – леміш; 5 – підножова плита; 6 – клеєві з'єднання

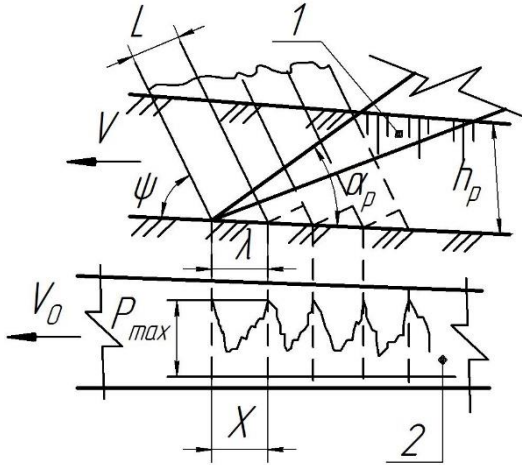


Рисунок 6.3 – Схема визначення довжини лемеша експериментальним методом: 1 – тензометричний ніж; 2 – діаграма

Враховуючи геометричні співвідношення між кутами різання ( $\alpha_p$ ) і сколу стружки ( $\psi$ ), довжина лемеша визначається:

$$L = \frac{\lambda}{\sin(\alpha_p) \cdot (\cot(\alpha_p) + \cot(\psi))}; \quad (6.2)$$

де:  $\lambda$  – проекція довжини лемеша на горизонтальну площину

$$\lambda = V \cdot t; \quad (6.3)$$

де:  $V$  – швидкість руху динамометричного візка.

Таким чином при розробці ґрунту другим ножом у нижніх ярусах необхідно проводити заміри швидкості руху динамометричного візка, фотопаперу та обробляти осцилограми горизонтальної складової ( $R_\theta$ ) у кожному досліді і проводити загальний розрахунок довжини лемеша, який порівнюється із теоретичним.

### 6.3. Прилади та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень використовуємо наступні вимірювальні прилади та обладнання:

1. фізична модель маятникового стенду ..... 1 шт.
2. дослідний ніж ..... 1 шт.
3. білий папір ..... 5 шт.
4. копіювальний папір..... 5 шт.
5. лавсанова плівка ..... 1 шт.
6. лінійка..... 1 шт.
7. динамічний щільномір (ударник ДорНДІ)..... 1 шт.

#### **6.4. Схема звіту.**

1. Тема й ціль роботи.
2. Характеристика ґрунту, у якому проводяться досліди.
3. Характеристика досліджуваного робочого органа (ескіз, основні розміри).
4. Величини, що заміряються, і результати обробки осцилограм.

Розміри, що характеризують поперечний переріз прорізу, і довжину лемеша заносяться в таблицю.

**6.5. Захист роботи.** Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

#### **Список використаної літератури**

1. Кравець С. В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини. Рівне : НУВГП, 1999. 277 с.
2. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 124 с.  
URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2113/1/123%20zah.pdf>
3. Машини для земляних робіт / за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. Рівне; Дніпропетровськ; Харків, 2010.  
URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/13107/1/REPOZ1.pdf>
4. Кравець С. В., Голотюк М. В., Косяк О. В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Теорія руйнування робочих середовищ» для

студентів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»  
денної та заочної форми навчання. 02-01-312. 2015.

URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/1989/1/02-01-312.pdf>