

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**О.Г. КАРАЄВ, С.М. САНЬКОВ, В.М. ДЯДЯ, С.Л. СУШКО,
О.І. МАТКОВСЬКИЙ, М.П. КОЛЬЦОВ, І.О. ЧИЖИКОВ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТА РОЗРАХУНКУ
МАШИН ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

Лабораторний практикум

Для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»
Спеціальності 208 «Агроінженерія»

2020

УДК 631.31

С 36

**Автори: О.Г. Караєв, С.М. Саньков, В.М. Дядя,
С.Л. Сушко, О.І. Матковський, М.П. Кольцов,
І.О. Чижиков**

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради механіко-технологічного університету Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Протокол № 6 від 10 березня 2020 р.

Рецензенти:

А.І. Панченко – д.т.н., професор кафедри мехатронних систем та транспортних технологій, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Д.О. Мілько – д.т.н., професор кафедри технічного сервісу та систем в АПК, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку машин для обробітку ґрунту. Лабораторний практикум. О.Г. Караєв, С.М. Саньков, В.М. Дядя та ін. / за редакцією О.Г. Караєва, С.М. Санькова, В.М. Дядя – Мелітополь: ВПЦ «ЛЮКС», 2020. – 159 с.

В лабораторному практикумі наведено лабораторні роботи відповідно до робочої програми дисципліни «Сільськогосподарські машини» Основи теорії та розрахунку. В практикумі надано основні теоретичні відомості, які необхідні студентам при вивченні дисципліни та виконанні лабораторних робіт. Для самооцінки якості засвоєння матеріалу в кінці кожної лабораторної роботи надані питання.

ЗМІСТ

	стор.
Лабораторна робота №1	
Вимірювання твердості ґрунту	7
Лабораторна робота №2	
Визначення коефіцієнту тертя ковзання за допомогою лінійки проф. О.В.Желіговського	19
Лабораторна робота №3	
Дослідження робочої поверхні корпусу плуга	31
Лабораторна робота №4	
Дослідження тягового опору робочих органів ґрунтообробних машин	54
Лабораторна робота №5	
Визначення технологічних параметрів культиваторних лап	89
Лабораторна робота №6	
Дослідження технологічних параметрів сферичних дисків	112
Лабораторна робота №7	
Проектування зубового поля борони	129
Лабораторна робота №8	
Розрахунок технологічних параметрів ґрунтообробної фрези	145
Рекомендована література	158

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Сільськогосподарські машини» є формування у студентів глибокого розуміння питань з будови, теорії робочих процесів і технологічної наладки сільськогосподарських машин, що необхідні для їх високоефективного використання в агропромисловому виробництві, проведенні досліджень, спрямованих на вдосконалення існуючих і створення нових машин.

Завданнями дисципліни є:

- надати знання студентам по теорії та розрахунку технологічних процесів і робочих органів сільськогосподарських машин;
- навчити студентів методам обґрунтування параметрів і режимів роботи робочих органів сільськогосподарських машин.

В результаті вивчення дисципліни студенти отримують знання, як систему якісної та кількісної оцінки результатів їх навчальної діяльності, що є елементом навчального процесу і базуються на систематичному проведенні попередньої, поточної, тематичної перевірок та підсумкового контролю; взаємоконтролю і самоконтролю. На основі отриманих знань студент повинен:

знати:

- робочі процеси і технологічну наладку машин;
- методи обґрунтування і визначення основних параметрів, режимів роботи і показників роботи сільськогосподарських машин, машинних агрегатів і комплексів;

- методи оцінки якості роботи машин;
- основні напрямки і тенденції розвитку груп машин та сільськогосподарської техніки в цілому.

уміти:

- виконувати технологічні розрахунки по визначенню основних параметрів робочих органів сільськогосподарських машин при їхньому удосконаленні і модернізації;
- давати обґрунтовані рекомендації по технологічним регулюванням сільськогосподарських машин у залежності від умов їхньої роботи.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. До виконання лабораторної роботи допускаються особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки.
2. Категорично забороняється палити в усіх приміщеннях кафедри та лабораторіях.
3. Не вмикати обладнання та прилади без дозволу викладача.
4. Під час роботи лабораторного обладнання не проводити ніяких перевірок та регулювань, крім передбачених лабораторними заняттями.
5. категорично забороняється проводити прокручування механізмів і регулювальні роботи без попередження і під час відсутності ведучого викладача або лаборанта;
6. Забороняється доторкатися руками до гострих крайок робочих органів сільгоспмашин, вставляти пальці і руки в зону різання;
7. Забороняється без дозволу відкривати захисні пристрої, а в разі потреби їх відкриття, необхідно надійно фіксувати, щоб запобігти їхнє падіння або довільне закриття;
8. Забороняється без попередження ведучого викладача або лаборанта залишати робоче місце.
9. Забороняється знаходитись у лабораторії у верхньому одязі та вішати одяг на лабораторне обладнання.

Лабораторна робота №1

ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ГРУНТУ

Мета роботи – вивчення будови твердомірів і методики визначення твердості ґрунту.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- технологічні властивості ґрунту (вологість, щільність, твердість);
- визначення абсолютної та відносної вологості ґрунту.

Ознайомитись:

- з впливом щільності і твердості ґрунту на його родючість.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- розуміння терміну «твердість ґрунту»;
- графік залежності родючості ґрунту від його твердості;
- графік залежності родючості ґрунту від його щільності;
- формула для визначення абсолютної вологості ґрунту;
- формула для визначення відносної вологості ґрунту.

1.2 Питання для самопідготовки

- 1 Що таке твердість ґрунту?
- 2 Що таке щільність ґрунту?
- 3 Як твердість ґрунту впливає на його родючість?
- 4 Як щільність ґрунту впливає на його родючість?
- 5 Як твердість ґрунту впливає на технологічний процес його обробки?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

2.1.1 Ознайомитись зі змістом завдання і методичних вказівок по його виконанню.

2.1.2 Вивчити будову і роботу твердомірів конструкції ВИСХОМ і Ю.Ю.Ревякіна.

2.1.3 Визначити твердість ґрунту в ґрунтовому каналі на глибині до 20 см за допомогою твердоміра Ю.Ю.Ревякіна.

2.1.4 Визначити коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.

2.1.5 Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

Твердомір конструкції Ю.Ю.Ревякіна, прямокутник і лінійка.

Матеріали – ґрунт у природному стані.

2.3 Теоретичні відомості

Основні положення. Будова приладу і його використання

Твердість ґрунту залежить від його механічного складу і стану, характеризується показником твердості δ , Н/см².

Твердомір – прилад, за допомогою якого визначається твердість ґрунту. Також він дозволяє визначити коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, що застосовується при розрахунку робочих органів ґрунтообробних машин або знарядь.

Принцип роботи твердоміра засновано на вимірюванні сили реакції ґрунту, який зминається плунжером, що вдавлюється в нього (рис. 1).

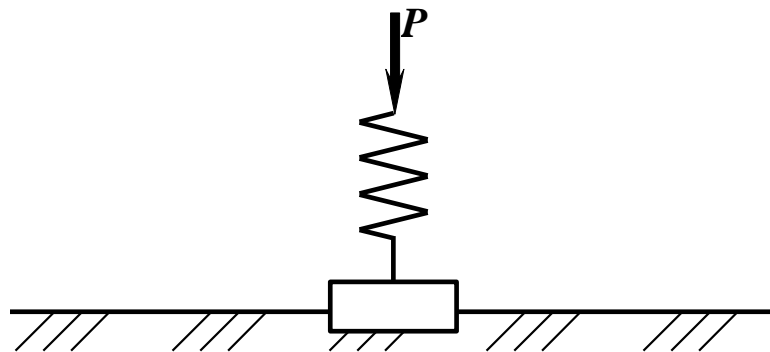


Рис. 1 – Схема дії твердоміра

Відношення сили F_{np} , яка зминає ґрунт до площі S зминання носить назву твердості ґрунту δ :

$$\delta = \frac{F_{np}}{S}. \quad (1)$$

Звісно, що сила зминання F_{np} пропорційна площі зминання S та глибини h проникнення плунжеру, тобто об'єму зминання V . Коефіцієнт цієї пропорційності носить назву коефіцієнта об'ємного зминання C :

$$C = \frac{F_{np}}{V}. \quad (2)$$

Коефіцієнт C показує, на скільки зростає реакція ґрунту при зминанні, коли його об'ємна деформація зростає на одиницю об'єму (при витисненні 1см^3 ґрунту шляхом вдавлювання в нього плунжера).

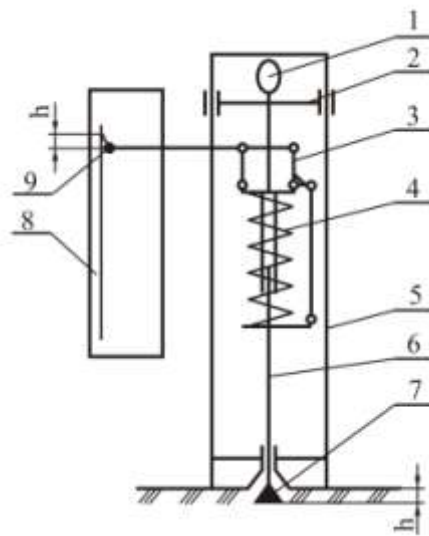
Найбільш розповсюджені твердоміри конструкції В.П.Горячкіна, Ю.Ю.Ревякіна та ВИСХОМ. Кожний з них складається зі штанги з насадкою (плунжером), пружини, пристосування, що записує, і рамки.

Твердомір ВИСХОМ складний по будові й в обслуговуванні. Він дозволяє одержувати дані про твердість ґрунту на різних глибинах і використовується в лабораторних цілях.

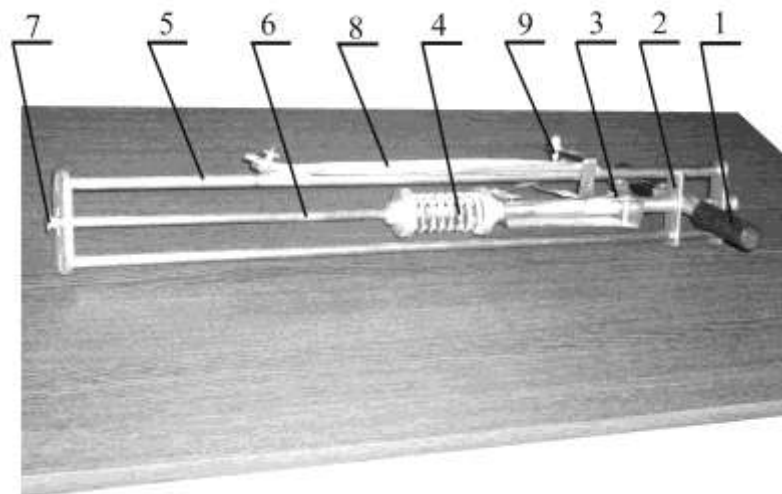
Твердість ґрунту визначають не менш 5 разів на площадці 1 м^2 .

Найбільш простим за будовою і простотою в використанні є твердомір Ю.Ю.Ревякіна (рис. 2). Він складається з корпуса 5, в пазах якого з напрямною планкою 2 переміщується штанга 6 з плунжером 7. Тиск на штангу 6, а через неї

на плунжер передається через пружину 4 руками випробувача за допомогою рукоятки 1. Зусилля, які діють на штангу 6 при зануренні плунжера 7 в ґрунт, стискають пружину 4. Переміщення країв пружини через систему важелів 3 передається на олівець 9 і відображається на папері 8.



а)



б)

1 – рукоятка; 2 – напрямна планка; 3 – система важелів;
4 – пружина; 5 – корпус; 6 – штанга; 7 – плунжер; 8 – папір;
9 – олівець

Рис. 2 – Твердомір Ю.Ю.Ревякіна:

а) схема твердоміра; б) загальний вигляд твердоміра

Діаграма (рис. 3), яка отримана за допомогою твердоміра для мінерального ґрунту, дозволяє приблизно прийняти, що лінійні деформації залишаються пропорційними тиску на кожен квадратну одиницю поверхні ґрунту, який змінюється, доки питомий тиск не досягне деякої межі, при якій деформація починає зростати без подальшого збільшення тиску.

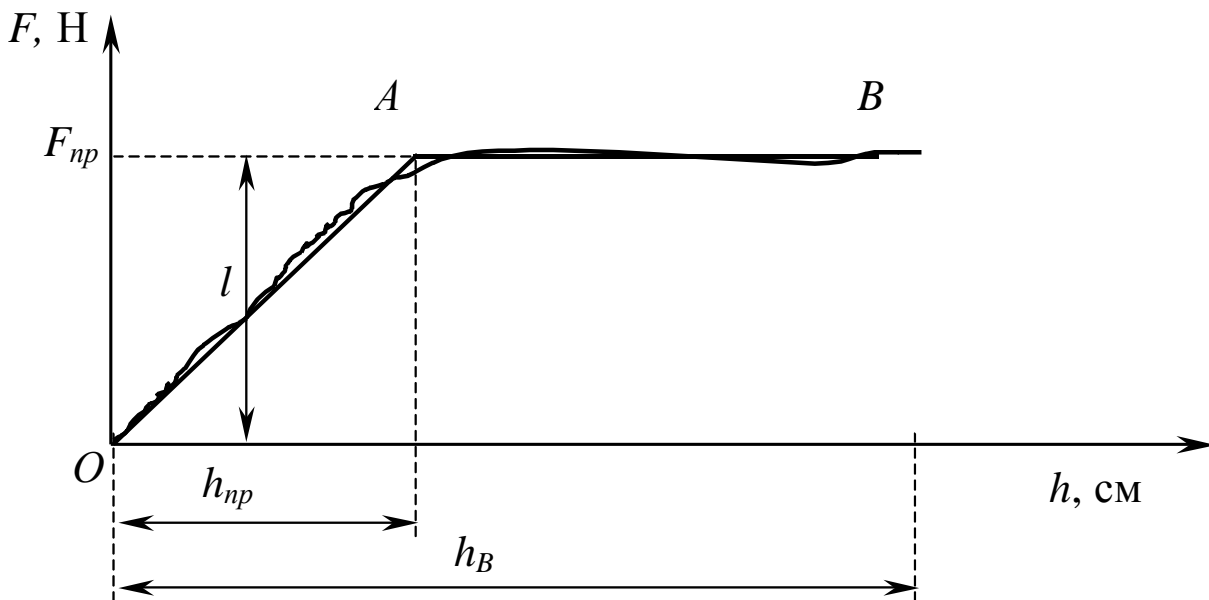


Рис. 3 – Залежність тиску на ґрунт від величини його деформації

На діаграмі є кілька фаз. У першій фазі (ділянка OA) опір ґрунту деформуванню зростає майже пропорційно заглибленню плунжера в ґрунт $h_{np} = 5 - 6$ см.

Кінець першої і початок другої фази характеризується невеликим перехідним періодом (на діаграмі не показано).

Під час заглиблення в ґрунт плунжера перед його вимірювальною площиною утворюється конусоподібний нарост з ущільненого ґрунту – ущільнене ядро.

В другій фазі AB ґрунт деформується конусоподібним наростом, який розклинає його, зміщуючи в боки, натискається при цьому на постійний опір – ґрунт «тече».

Перша фаза триває у кілька разів менше, ніж друга, однак має важливе практичне значення, тому що в реальних умовах деформація ґрунту машинами, як правило, не виходить за межі першої ділянки діаграми (менше h_{np}). Тільки після проходження плунжером орного шару крива AB здіймається в гору, оскільки на своєму шляху плунжер натрапляє на підорну подошву плуга.

2.4 Порядок виконання роботи:

1) Ознайомитись з будовою і принципом роботи твердоміра Ю.Ю.Ревякіна. Підготувати твердомір Ю.Ю.Ревякіна до проведення досліду;

2) Отримати діаграму твердості ґрунту за допомогою твердоміра, зануривши насадки на глибину $h = 10 \dots 20$ см.

Зняти діаграму з твердоміра, відзначити на діаграмі точку A межі прямої пропорційності. Заміряти по осі ординат величину деформації пружини l , в межах прямої пропорцій-

ності по висоті, до точки A .

Заміряти величину деформації ґрунту h_{np} в см в межах прямої пропорційності, відповідній точці A .

3) Визначити площу поперечного перетину насадка S по діаметру, в см^2 :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3)$$

де d – діаметр насадка, см.

4) Визначити об'єм ґрунту V , який зминається, в межах глибини, яка відповідає прямої пропорційності на графіку, за формулою

$$V = Sh_{np}. \quad (4)$$

5) Визначити опір зминанню ґрунту F_{np} по ординаті діаграми і калібру пружини (коефіцієнту жорсткості) твердоміра q , Н/см, отриманому шляхом тарування:

$$F_{np} = ql. \quad (5)$$

6) Визначити твердість ґрунту δ :

$$\delta = \frac{ql}{S}. \quad (6)$$

7) Визначити коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту C :

$$C = \frac{ql}{Sh_{np}}. \quad (7)$$

Отримані результати записати в таблицю.

№ зп	Калібр пружини q , Н/см	Діаметр плунжера, см	Твердість ґрунту, Н/см ²	Коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/см ³	Тип і стан ґрунту, де виконується дослід
1					
2					

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи.
2. Надати отриману діаграму при проведенні дослідів.
3. Визначити твердість ґрунту за результатами проведеного дослідів.
4. Надати таблицю за результатами розрахунків.

2.6 Контрольні питання

1. Для чого потрібно визначати твердість ґрунту?
2. Які прилади використовуються для визначення твердості ґрунту?
3. Яка методика визначення твердості ґрунту за допомогою твердоміра Ю.Ю.Ревякіна?
4. Як визначається і що характеризує коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту?
5. З якою метою використовуються на твердомірі Ю.Ю.Ревякіна плунжери різного діаметру?

Тестові завдання

1. Твердість ґрунту визначається за формулою:

$$1. \delta = \frac{F}{S}$$

$$2. \delta = \frac{F}{V}$$

$$3. \delta = \frac{m}{S}$$

$$4. \delta = \frac{m}{V}$$

де m – маса ґрунту, що деформується;
 F – сила, що зминає ґрунт;
 S – площа плунжера;
 V – об'єм ґрунту, що зминається.

2. Щільність ґрунту визначається за формулою:

$$1. \rho = \frac{m_c}{V_m}$$

$$2. \rho = \frac{m_m}{V}$$

$$3. \rho = \frac{m_c}{V}$$

$$4. \rho = \frac{m_m}{V_m}$$

де m_c – маса проби абсолютно сухого ґрунту;
 m_m – маса твердого компонента ґрунту після висушування;
 V – об'єм ґрунту у природному стані;
 V_m – об'єм твердого компонента ґрунту після його висушування і пресування.

3. Коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту визначається за формулою:

$$1. C = \frac{m}{V}$$

$$2. C = \frac{F}{S}$$

$$3. C = \frac{m}{S}$$

$$4. C = \frac{F}{V}$$

де m – маса ґрунту, що деформується;
 F – сила, що зминає ґрунт;
 S – площа плунжера;
 V – об'єм ґрунту, що зминається.

4. Абсолютна вологість ґрунту визначається за формулою:

$$1. W = \frac{m_g}{m_g - m_c} \cdot 100\%$$

$$2. W = \frac{m_g - m_c}{m_g} \cdot 100\%$$

$$3. W = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100\%$$

$$4. W = \frac{m_c}{m_g - m_c} \cdot 100\%$$

де m_g , m_c – маса відповідно вологої і сухої проби ґрунту.

5. Відносна вологість ґрунту визначається за формулою:

$$1. W = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100\%$$

$$2. W = \frac{m_g - m_c}{m_g} \cdot 100\%$$

$$3. W = \frac{W_n}{W_a} \cdot 100\%$$

$$4. W = \frac{W_a}{W_n} \cdot 100\%$$

де m_g , m_c – маса відповідно вологої і сухої проби ґрунту;

W_a – абсолютна вологість ґрунту;

W_n – польова вологоємність ґрунту.

6. Калібр пружини твердоміра це

1. зусилля, яке необхідне для її деформації на певну величину
2. деформація пружини при прикладенні до неї зусилля певної величини
3. діаметр витка пружини
4. зазор між витками без деформації пружини

7. Пружина на твердомірі призначена для

1. зменшення зусилля на рукоятці
2. вимірювання сили, що зминає ґрунт
3. рівномірного ходу плунжера в ґрунті
4. вирівнювання результатів вимірювання

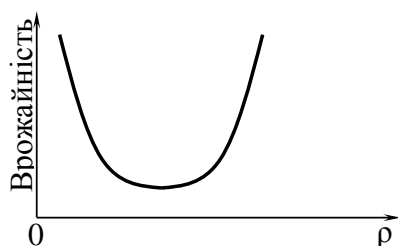
8. При збільшенні діаметра плунжера твердоміра твердість ґрунту

1. збільшиться
2. не зміниться
3. зменшиться
4. збільшиться пропорційно діаметру

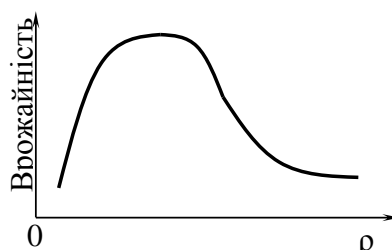
9. При збільшенні калібру пружини твердоміра сила, що зминає ґрунт

1. зменшиться
2. збільшиться
3. не зміниться
4. збільшиться пропорційно жорсткості пружини

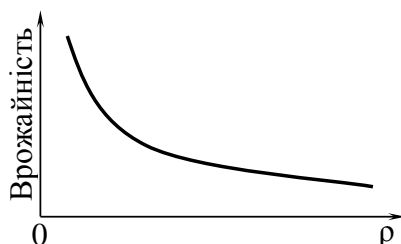
10. Залежність врожайності сільськогосподарських культур від щільності ґрунту показана на рисунку



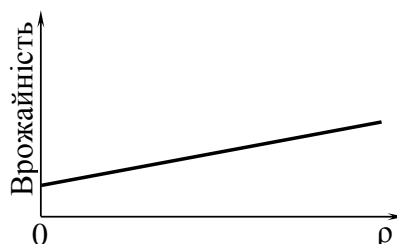
1.



2.



3.



4.

Лабораторна робота №2
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙКИ
ПРОФ. О.В. ЖЕЛІГОВСЬКОГО

Мета роботи – вивчення приладу і методики визначення коефіцієнту тертя.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

– технологічні властивості ґрунту (вологість, коефіцієнт зовнішнього тертя);

– визначення сили тертя.

Ознайомитись:

– з залежністю коефіцієнта зовнішнього тертя ґрунту від його вологості.

Скласти звіт по роботі:

– номер, найменування та мета роботи;

– розуміння терміну «коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту»;

– формула Амонтона для визначення сили зовнішнього тертя;

– графік залежності коефіцієнта зовнішнього тертя ґрунту від його вологості.

1.2 Питання для самопідготовки

1 Що таке коефіцієнт тертя?

2 Що таке кут тертя?

3 Як визначити силу тертя?

4 Як коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту залежить від його вологості?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

2.1.1 Ознайомитись зі змістом завдання і методичних вказівок по їх виконанню.

2.1.2 Вивчити будову і методику використання лінійки проф. О.В. Желіговського.

2.1.3 Визначити коефіцієнти тертя ґрунту та інших зразків об поверхні різних матеріалів за допомогою лінійки проф. О.В. Желіговського.

2.1.4 Порівняти одержані результати.

2.1.5 Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

Лінійка проф. О.В. Желіговського, креслярська дошка, аркуш паперу формату А1, прямокутник, лінійка, олівець.

Матеріали – ґрунт у природному стані, зерно пшениці, пластина сталева, стрічка гумова.

2.3 Теоретичні відомості

Основні положення. Будова приладу і методу його використання

Якщо взяти плоску лінійку AB і переміщати її поступово

по столу у напрямку CD (рис.1), то при зустрічі з тілом (зразком) E , вона тисне на нього з силою N в напрямку, який перпендикулярний площині лінійки.

Якщо кут ACD , який утворюється площиною лінійки AB з напрямком її руху CD , відрізняється від прямого, то сила N утворює у напрямку CD деякий гострий кут.

Силу N , яка діє на тіло E , зручно розкласти на складові Q і T .

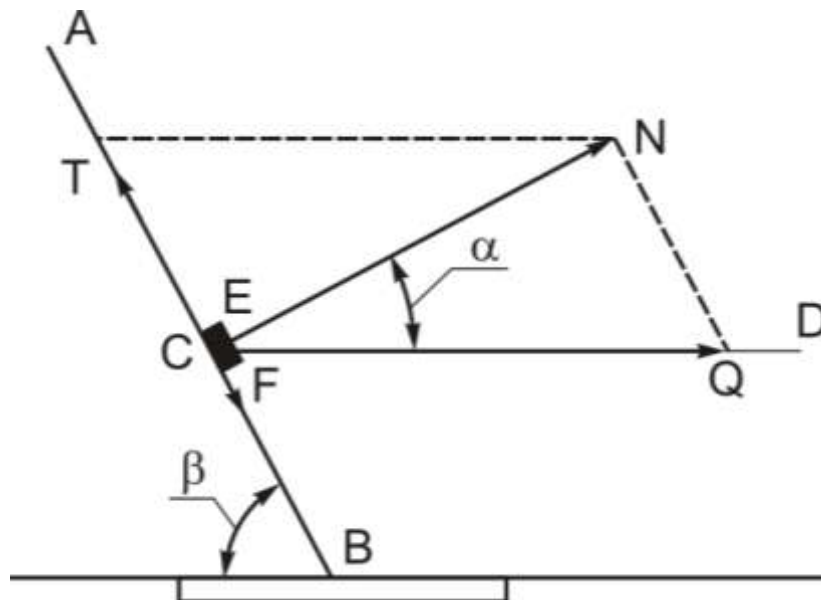


Рис. 1 – Схема сил, які діють на дослідний зразок

Складова Q штовхає тіло E у напрямку переміщення лінійки, а складова T прагне змусити його ковзати по лінійці.

Ковзанню тіла E по площині лінійки AB прагне перешкоджати сила тертя F , яка направлена в сторону, протилежну силі T . При цьому може мати місце один з двох випадків:

- 1) $\alpha \leq \varphi$, тобто кут α не перебільшує по своєму чисе-

льному значенню кут тертя φ тіла E по лінійці. З рисунку 1 видно, що $T = N \operatorname{tg} \alpha$. Відомо також, що $F = N \operatorname{tg} \varphi$. Тоді, виходячи з умови $\alpha \leq \varphi$, можна записати нерівність $T \leq F$.

Оскільки сила T менше сили тертя F , то тіло не буде рухатися вздовж лінійки; воно буде рухатися разом з лінійкою під дією сили Q ,

2) $\alpha > \varphi$. В цьому випадку нерівність прийме вигляд: $T > F$. Тому сила тертя F врівноважує не всю силу T , а лише рівну собі частину її (рис. 2).

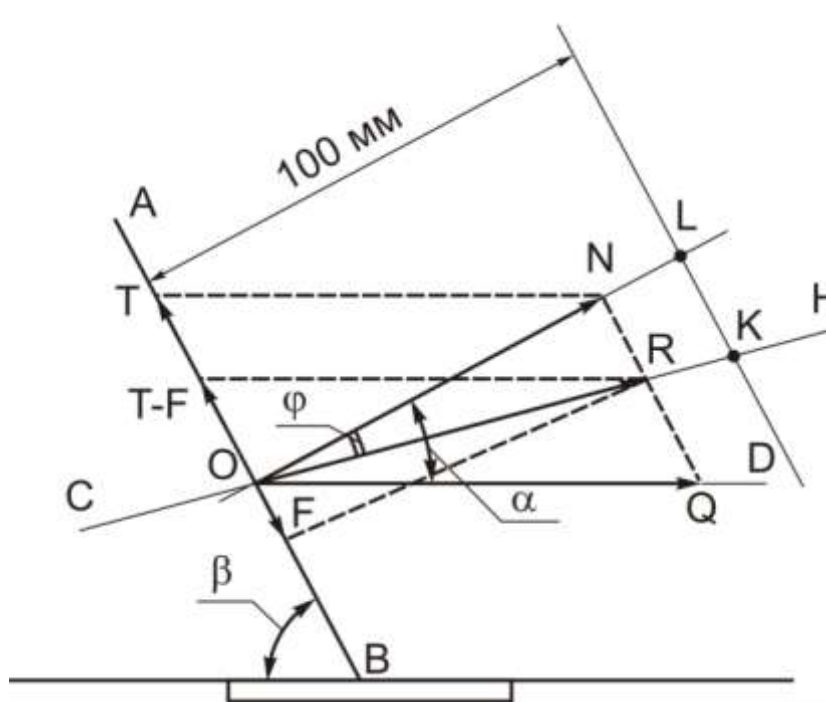


Рис. 2 – Схема визначення коефіцієнта тертя ковзання

Неврівноважена частина сили T , що залишилася, дорівнює $T-F$, і діє на тіло E . Спільно з силою Q вона складає рівнодіючу R , що пройде всередині кута α під кутом φ до нормалі. З рис.2 маємо:

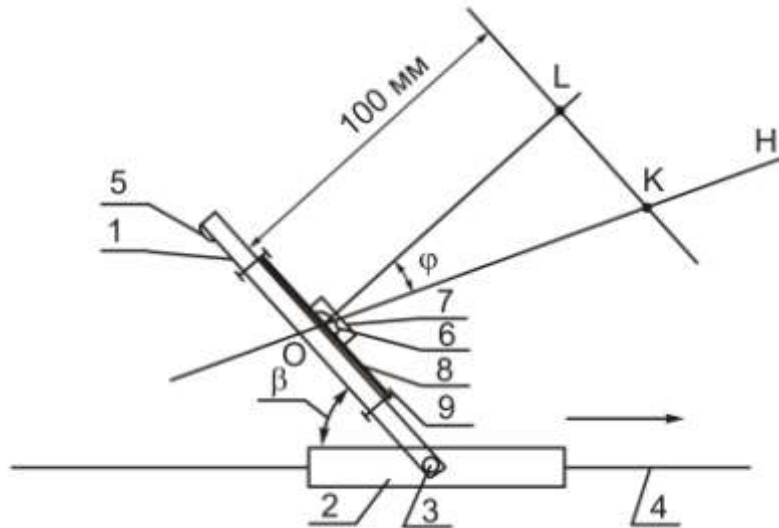
$$\frac{F}{N} = \operatorname{tg} \varphi . \quad (1)$$

Сила N є єдина діюча активна сила, яка прикладена до тіла E з боку лінійки. Під дією цієї сили тіло змушене переміщатися у напрямку CH .

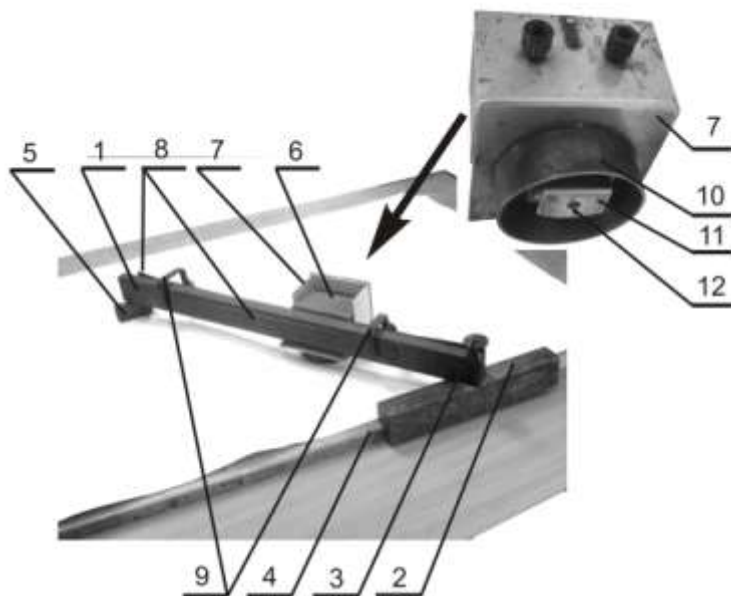
Якщо тіло (зразок) обладнати олівцем, а поверхню стола покрити папером, то олівець запише на папері траєкторію руху тіла CH . Провівши за допомогою прямокутника нормаль OL до напрямку лінійки так, щоб ця нормаль в будь-якій точці перетинала пряму CH , отримаємо на папері кут φ , тангенс якого дорівнює коефіцієнту тертя тіла E по поверхні лінійки AB .

Надто зручно, не звертаючись до безпосередніх вимірів кута φ , відкласти від точки O на прямій OL відрізок, який дорівнює 100 мм і в точці L провести перпендикуляр LK до прямої OL . Чисельне значення довжини відрізка LK , заміряне в міліметрах, поділене на 100, дорівнює значенню коефіцієнта тертя ($f = \operatorname{tg} \varphi$).

На цьому засновані будова і застосування лінійки проф. О.В.Желіговського для визначення коефіцієнта тертя ковзання (рис 3).



а)



б)

а) – схема лінійки; б) – загальний вигляд лінійки; 1 – лінійка; 2 – колодка; 3 – гайка; 4 – дошка для креслення; 5 – опора; 6 – дослідний матеріал; 7 – обойма; 8 – дослідна поверхня; 9 – струбцина; 10 – кільце; 11 – перекладина; 12 – олівець.

Рис. 3 – Будова лінійки проф. О.В. Желіговського

Лінійка 1 шарнірно з'єднана з колодкою 2 за допомогою болта і гайки 3. Затяжкою гайки 3 фіксується кут між лінійкою 1 і колодкою 2. Цей кут довільний, але повинен бути вибраний так, щоб $\beta \leq (\frac{\pi}{2} - \varphi)$.

При переміщенні лінійки праворуч колодка 2 ковзає по обрізу горизонтальної дошки 5. Вільний кінець лінійки 1 спирається на опору 6, що підтримує його на певній висоті над дошкою так, що між лінійкою 1 і поверхнею дошки 4 утворився вільний просвіт. До дошки повинний бути прикріплений папір без складок і перегинів.

На поверхні паперу встановлюється каретка з обоймою 8, куди закладається дослідний матеріал 6. В обоймі, в нижній її частині є кільце 10 циліндричної форми. Це кільце вільно лежить на поверхні паперу. Висота його (по геометричній осі циліндра) менша вертикального розміру просвіту між папером і лінійкою, тому лінійка може проходити над кільцем 10 до зіткнення з дослідним матеріалом 6, затисненим в обойму 7. Всередині кільця 10 є плоска перекладина 11 з отвором в центрі кільця. В цей отвір впаяна трубка, в яку вставляється олівець 12. Дослідній поверхні 8 повинна бути придана форма плоскої смуги або стрічки, яка за допомогою струбцин 9 прикріплюється до лінійки 1 з боку контакту з дослідним матеріалом 6.

При поступовому переміщенні лінійки 1 з колодкою 2 у напрямку, позначеному на рисунку 3 стрілкою, дослідний матеріал 6, що знаходиться в обоймі, ковзає по дослідній поверхні 8, закріпленої на лінійці, і одночасно переміщається в напрямку руху лінійки 1, при цьому олівець записує на папері траєкторію ON під кутом тертя до нормалі φ .

2.4 Порядок виконання роботи:

- 1) Ознайомитись з будовою і принципом дії лінійки проф. О.В.Желіговського;
- 2) Встановити лінійку згідно методичних вказівок і підготувати її для проведення дослідів;
- 3) Підготувати зразок матеріалу і закріпити його в обоймі;
- 4) Провести дослід;
- 5) Дані дослідів і отримані результати розрахунків занести в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати дослідів

№ з/п	Тіло, яке закріплено в обоймі	Матеріал поверхні, прикріпленої до лінійки	Розмір перпендикуляра KL	$tg\varphi$	Примітки

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи
2. Описати методику визначення значень коефіцієнтів тертя ковзання матеріалів за допомогою лінійки проф. О.В. Желіговського;
3. Накреслити схему визначення коефіцієнта тертя ковзання;
4. Надати розрахунки і заповнену таблицю 1.
5. Порівняти отримані коефіцієнти тертя з їх табличними значеннями.

2.6 Контрольні питання

1. Де використовується коефіцієнт тертя ковзання матеріалів?
2. Як впливає значення коефіцієнта тертя ковзання на виконання технологічного процесу сільськогосподарськими машинами?
3. Розказати будову лінійки проф. О.В. Желіговського .
4. Визначити схему сил, які діють на дослідні зразки під час визначення коефіцієнта тертя ковзання.
5. Пояснити методику визначення значення коефіцієнта тертя ковзання.

Тестові завдання

1. Коефіцієнт тертя ґрунту визначається за формулою:

$$1. f = \frac{N}{F}$$

$$2. f = \frac{F_{\max}}{N}$$

$$3. f = \frac{N}{F_{\max}}$$

$$4. f = \frac{F}{N}$$

де N – сила нормального тиску;

F – сила тертя;

F_{\max} – максимальна сила тертя.

2. Як що сила тертя $0 < F < F_{\max}$ (де F_{\max} – максимальна сила тертя), то ковзання ґрунту відносно поверхні

1. відбувається з постійною швидкістю
2. відбувається з прискоренням
3. відбувається з уповільненням
4. не відбувається

3. Ковзання ґрунту відносно поверхні має місце при

1. $F = 0$
2. $F < F_{\max}$
3. $F = F_{\max}$
4. $0 < F < F_{\max}$

4. Сила тертя ґрунту об поверхню НЕ залежить від

1. сили нормального тиску
2. площі контакту ґрунту з поверхнею
3. кута тертя ґрунту
4. коефіцієнта тертя ґрунту

5. Коефіцієнт тертя ґрунту, що визначається за допомогою лінійки проф. О.В. Желіговського, НЕ залежить від

1. кута відхилення лінійки від напрямку її руху
2. шорсткості поверхні, закріпленій на лінійці
3. механічного складу ґрунту
4. вологості ґрунту

6. Піщаний ґрунт має вміст «фізичної глини»

1. 20...50 %
2. 10...20 %
3. < 10 %
4. > 50 %

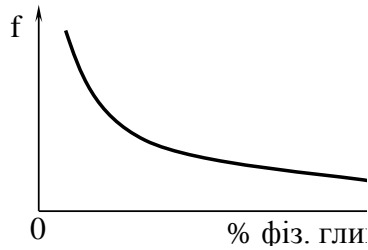
7. В конструкцію лінійки проф. О.В. Желіговського НЕ входить

1. обойма
2. пружина
3. олівець
4. колодка

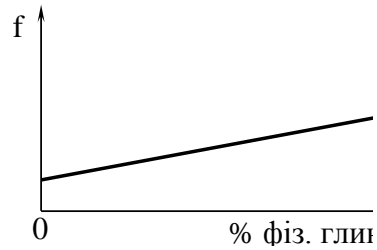
8. При визначенні коефіцієнта тертя за допомогою лінійки проф. О.В. Желіговського вздовж лінійки діє

1. сила тертя і сила нормального тиску
2. сила нормального тиску
3. повздовжня складова сили нормального тиску
4. сила тертя

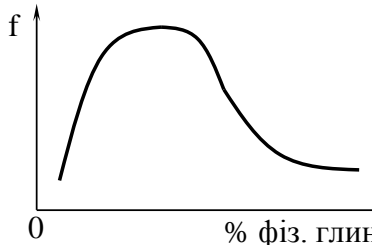
9. Залежність коефіцієнту тертя ґрунту по сталі від вмісту у ґрунті «фізичної глини» показана на рисунку



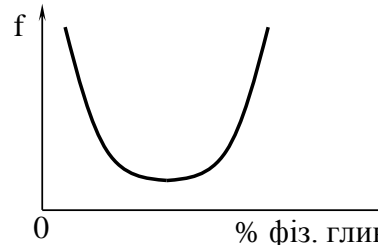
1.



2.

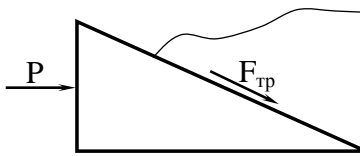


3.

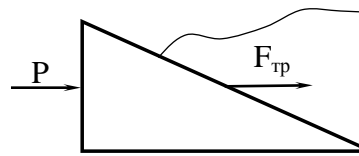


4.

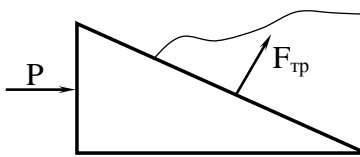
10. Напрямок сили тертя, що діє на ґрунт з боку клина, правильно показаний на рисунку



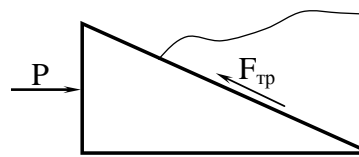
1.



2.



3.



4.

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ

КОРПУСА ПЛУГА

Мета роботи – вивчення методики дослідження поверхні корпусу плуга за допомогою профілографа конструкції професора М.Х. Пигулевського. Студент повинен уміти визначити тип робочої поверхні корпусу плуга.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- будову корпусу плуга;
- типи робочих поверхонь корпусу плуга;
- кути, що характеризують робочу поверхню корпусу плуга.

Ознайомитись:

- з принципами побудови робочих поверхонь корпусу плуга

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- схема перетворення двогранного клина на тригранний;
- характеристика кутів α , β , γ .

1.2 Питання для самопідготовки

1. Що являє собою робоча поверхня корпусу плуга?

2. Чим характеризується плоский тригранний клин?
3. Чим відрізняється робоча поверхня корпусу плуга від плоского тригранного клина? Що у них спільного?
4. Як впливає на роботу корпусу плуга кут α ? У якій площині він знаходиться?
5. Як впливає на роботу корпусу плуга кут β ? У якій площині він знаходиться?
6. Як впливає на роботу корпусу плуга кут γ ? У якій площині він знаходиться?
7. Як будується циліндроїдальна поверхня?
8. Чим відрізняється побудова культурної робочої поверхні від напівгвинтової?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

2.1.1 Ознайомитись зі змістом завдання і методичних вказівок по виконанню роботи.

2.1.2 Ознайомитись і вивчити правила техніки безпеки на робочому місці.

2.1.3 Вивчити основні відомості з теорії побудови робочої поверхні корпусу плуга.

2.1.4 Вивчити будову і принцип дії профілографа М.Х. Пигулевського.

2.1.5 Вивчити методику дослідження робочої поверхні

корпуса плуга за допомогою профілографа.

2.1.6 За допомогою профілографа побудувати горизонтальну, а по ній поздовжньо-вертикальну і поперечно-вертикальну проекції.

2.1.7 По проекціям визначити закономірність зміни кутів зсуву γ , кришення α і оберту β скиби, а також визначити тип досліджуваного корпусу плуга.

2.1.8 Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

- профілограф М.Х. Пигулевського;
- стіл для креслення (кульман);
- лекала;
- лінійка мірна;
- транспортир.
- аркуш паперу для креслення.

2.3 Теоретичні відомості з теорії побудови робочої поверхні корпусу плуга

2.3.1 Робоча поверхня корпусу плуга, як розвиток плоского тригранного клина

Робоча поверхня корпусу плуга це поверхня лемешу і відвала (полиці). В основі криволінійної робочої поверхні

корпуса плуга, наприклад $AMPKB$ (рис. 1), лежить плоский тригранний клин, наприклад $ABCO$ з розвитими кутами α , β і γ , які визначають кришащу, обертаючу і зсувну здатність робочої поверхні.

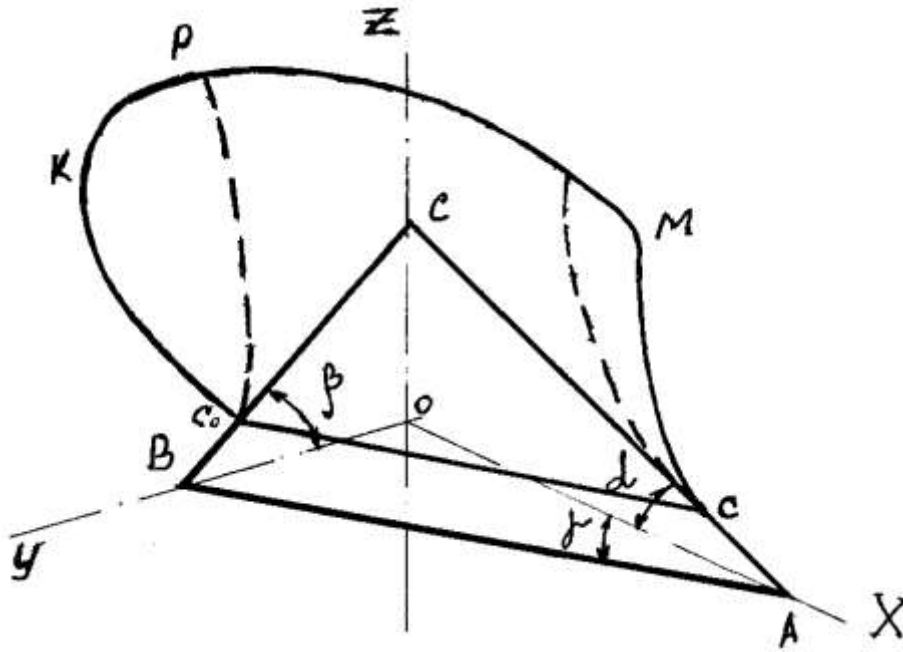


Рис. 1 – Розвиток плоского тригранного клина $ABCO$ у криволінійну робочу поверхню $AMPKB$

Кут α – кут кришення, який визначає здатність робочої поверхні кришити пласт ґрунту. Це кут між робочою поверхнею ABC і дном борозни (пл. XOY) у площині стінки борозни (пл. XOZ), або паралельній їй.

Кут β – кут обороту скиби, який визначає здатність робочої поверхні обертати пласт ґрунту у бік борозни. Це кут між робочою поверхнею ABC і дном борозни (пл. XOY) у площині перпендикулярній дну і стінці борозни (пл. YOZ).

Кут γ – кут зсуву скиби, який визначає здатність робочої поверхні зсувати пласт ґрунту у бік борозни. Це кут між робочою поверхнею ABC і стінкою борозни (пл. XOZ) у площині дна борозни (пл. XOY), або паралельній їй.

Взаємозв'язок між кутами α , β і γ .

З ΔAOC

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{OC}{OA} . \quad (1)$$

З ΔBOC

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{OC}{OB} . \quad (2)$$

Звідки

$$OC = OB \cdot \operatorname{tg} \beta . \quad (3)$$

З ΔAOB

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{OB}{OA} . \quad (4)$$

Звідки

$$OA = \frac{OB}{\operatorname{tg} \gamma} . \quad (5)$$

Підставивши OC і OA з (3) і (5) в (1) після скорочень буде мати:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma . \quad (6)$$

В основі криволінійної робочої поверхні корпуса плуга, наприклад $AMPKB$ (див. рис. 1), лежить плоский тригранний клин, що відрізняється від робочої поверхні тим, що в нього кути між робочою гранню ABC і координатними площинами (кути α, β, γ) не змінюються по висоті, тому деформація шару спостерігається тільки при його підйомі на робочу грань (поверхню) клина, надалі відбувається переміщення скиби по поверхні клина без деформації.

Для більш інтенсивного впливу на скибу простого плоского клина, наприклад з кутом α , треба на шляху його переміщення поставити новий клин з кутом $\alpha_2 > \alpha_1$, потім клин з кутом $\alpha_3 > \alpha_2$ і т.д.

Багаторазове послідовне нарощування початкового клина приведе до утворення багатогранної поверхні, а при нескінченному збільшенні числа граней до криволінійної поверхні.

Розвиток косоного тригранного клина у криволінійну поверхню в загальному випадку може бути забезпечено безперервною зміною кутів α, β, γ . Однак, у залежності від властивостей ґрунту, для якого призначена поверхня, переважний розвиток повинен одержувати один з кутів α, β або γ .

Якщо ґрунт незв'язний, сипучий, не зберігає форми скиби, то задача обробки зводиться до розпушування і пе-

ремішування часток. Це досягається застосуванням циліндричної поверхні з добре розвиненим кутом α і слабо розвиненим кутом β (при $\gamma = \text{const}$).

Обробка зв'язних, задернілих ґрунтів, які розпушити при оранці неможливо, зводиться до обороту скиби з наступним розпушуванням іншими знаряддями.

Така задача може бути виконана гвинтовою поверхнею з сильно розвиненим кутом β . При цьому α розвинений слабо щоб уникнути розривів скиби.

При обробці ґрунтів середньої зв'язності, а також староорних (раніше оброблюваних) ґрунтів застосовують циліндроїдальні поверхні, що утворюються з тригранного клина при розвитку кутів α і γ (кут β розвинений слабкіше).

У загальному випадку утворення плужних поверхонь зводиться до утворення двох типів поверхонь циліндроїдальних і гвинтових.

2.3.2 Загальні принципи побудови робочих поверхонь

Під побудовою лемешно-відвальної поверхні розуміється креслення її на папері в двох або трьох проекціях з додатковими перетинами, необхідними для виготовлення відвала плуга.

Поверхні для плугів вибираються з числа відомих уже

поверхонь шляхом їхнього теоретичного аналізу. У результаті аналізу будується нова поверхня, обрані параметри якої потім перевіряються експериментально.

На підставі аналізу відомих поверхонь був зроблений висновок про те, що поверхня плужного корпусу повинна бути лінійчатою, тобто утвореною рухом прямої лінії в просторі, тому що до лінійчатих поверхонь менше прилипає ґрунт, і їх легше виготовляти.

2.3.3 Побудова циліндроїдальних поверхонь

До циліндроїдальних поверхонь відносяться:

- культурні, які застосовуються для обробки староорних ґрунтів;
- напівгвинтові, які застосовуються для обробки зв'язних задернілих ґрунтів;
- культурні швидкісні, які застосовуються для роботи на підвищених швидкостях.

Найбільш розповсюдженим способом побудови циліндроїдальних поверхонь є такий. У просторі задається на прямна крива BD (рис. 2), по якій знизу вгору переміщається прямолінійна твірна KL паралельно горизонтальній площині XOY . При цьому додатково задається закон зміни кута γ між твірною і стінкою борозни по висоті поверхні $\gamma = f(H)$

(якщо $\gamma = \text{const}$, то утворюється циліндрична поверхня). Напрямна крива BD розташовується в площині перпендикулярній лезу лемеша на відстані $\frac{2}{3} \cdot l$ довжини леза від носка лемешу для культурних поверхонь і на відстані l для напівгвинтових поверхонь.

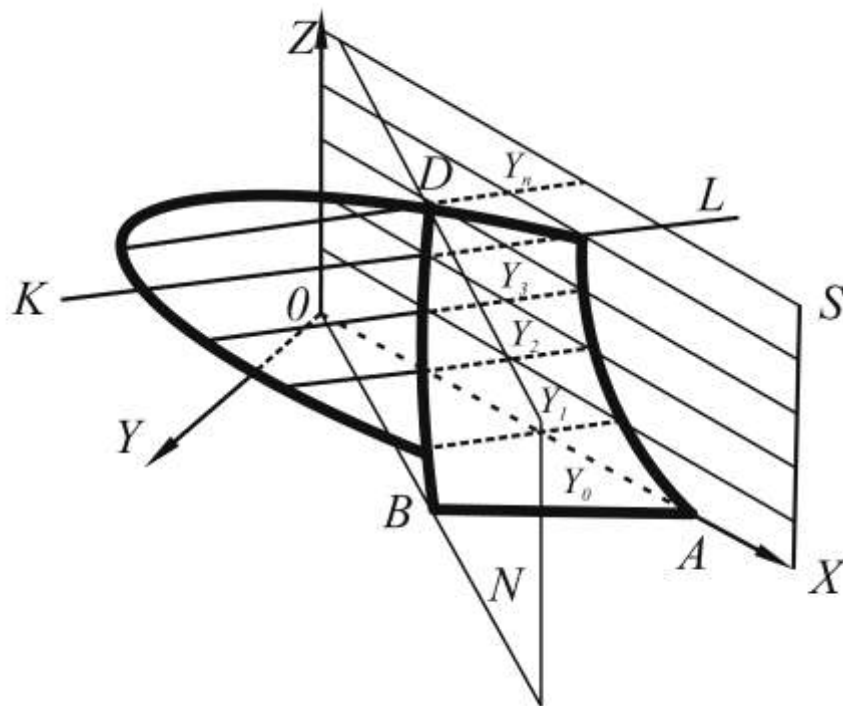


Рис. 2 – Утворення циліндроїдальної робочої поверхні

2.3.4 Закон зміни кута нахилу твірної до стінки борозни γ по висоті циліндроїдальної поверхні $\gamma = f(H)$

На рисунку 3 представлені графіки зміни кутів γ по висоті поверхні $\gamma = f(H)$ для різних типів поверхонь:

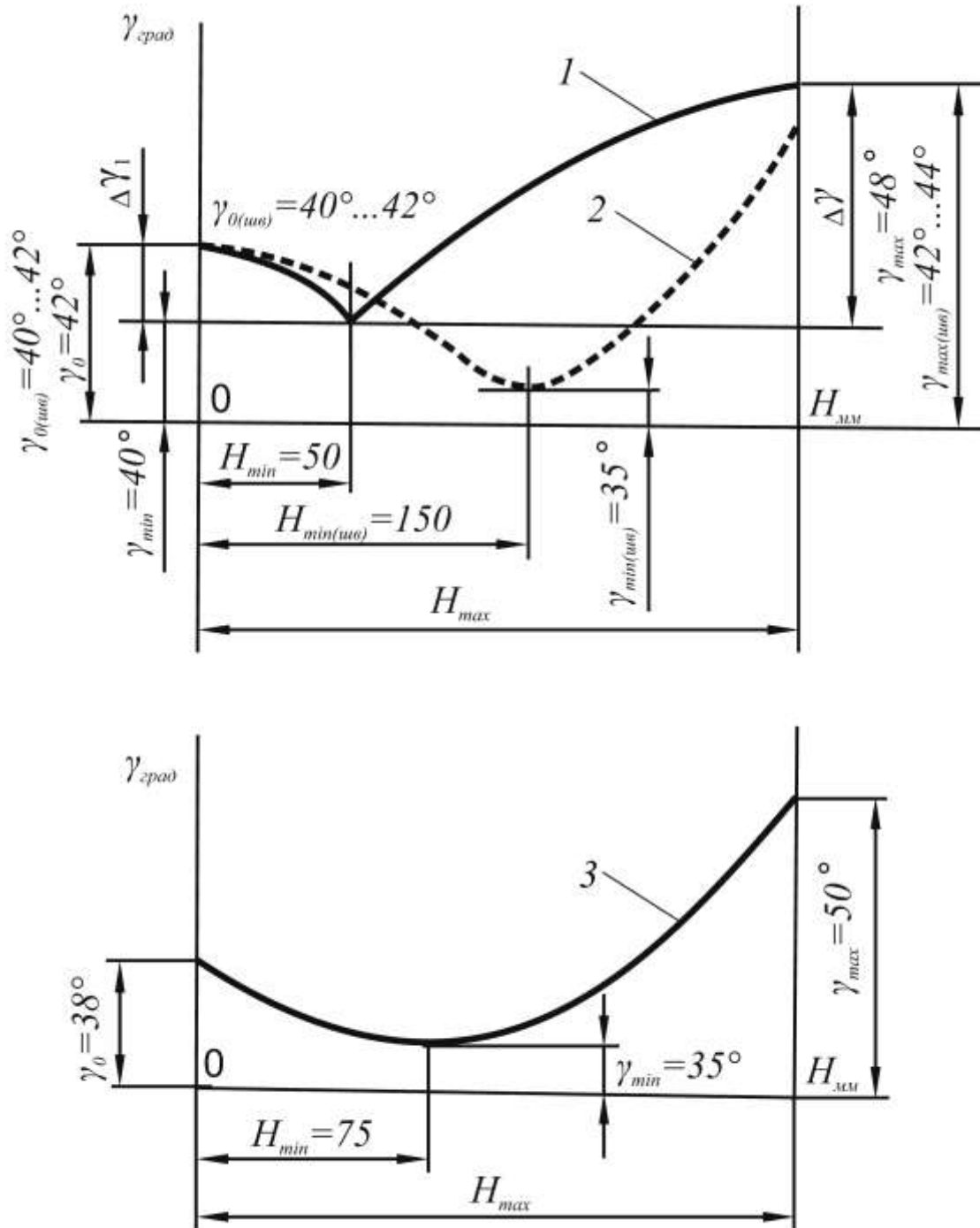


Рис. 3 – Графіки зміни кутів γ по висоті поверхні $\gamma=f(H)$

1 – для культурної поверхні; 2 – для культурної швидкісної;
3 – для напівгвинтової поверхні

- культурної (крива 1);
- культурної швидкісної (крива 2);
- напівгвинтової (крива 3).

Як випливає з графіків для перерахованих вище видів поверхонь кути γ спочатку зменшуються від γ_0 до γ_{min} , що необхідно для полегшення підйому скиби на груди відвала й усунення задирання його борозним обрізом. Далі кути γ зростають: у культурних відвалах по опуклій, у швидкісних і напівгвинтових – по увігнутій параболі.

Це пояснюється тим, що в напівгвинтових корпусах, працюючих на зв'язних важких ґрунтах і у швидкісних корпусах, працюючих на підвищених швидкостях, не можна допускати велику швидкість деформації скиби (опукла форма параболі) через її розриви і неякісну оранку, а для культурних корпусів, працюючих на староорних ґрунтах, допускається прискорена деформація скиби (крива 1).

2.3.5 Утворення гвинтових поверхонь

До гвинтових поверхонь відносяться поверхні: гелікоїда, коноїда і гіперболічного параболоїда.

Гелікоїдальна поверхня утворюється шляхом переміщення прямолінійної твірної BC (рис. 4) уздовж прямолінійної напрямної Va з одночасним обертанням твірної BC навколо напрямної Va .

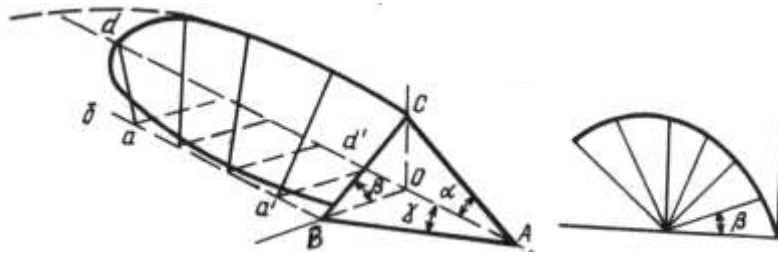


Рис. 4 – Утворення гвинтової гелікоїдальної робочої поверхні

2.3.6 Особливості побудови швидкісних робочих поверхонь плужних корпусів

При підвищенні швидкості оранки до 7 км/год поліпшується кришення скиби, загортання рослинних залишків і вирівненість поверхні ріллі, збільшується ширина борозни.

При подальшому підвищенні швидкості різко зростає енергоємність процесу і погіршується якість оранки, тому для роботи на підвищених швидкостях потрібні швидкісні плуги. Вони характеризуються меншими кутами ε , γ , α та іншими показниками.

Зменшення кута γ приводить до того, що корпус виходить довгим, а носок його лемеша – списоподібним. Тому кут γ_0 швидкісного плуга приймають таким же, як і у звичайного.

Крім кута γ_0 розташування лемеша характеризується кутом ε (нахил лемеша до дна борозни). Для зниження опору швидкісного плуга цей кут беруть менше, ніж для корпусу з культурною поверхнею. Щоб перехід від лемеша до відвала був плавним і тиск скиби на груди відвала був меншим, усю поверхню в площині напрямної кривої розташовують до дна борозни більш полого.

Зі зменшенням кута ε постановки лемеша до дна борозни збільшується висота H_{min} (рис. 3, крива 2), де скиба чинить найбільший тиск на корпус. Під впливом швидкості величина H_{min} зростає ще більше (від 50...75 до 150 мм). Кут γ_{min} , що відповідає висоті H_{min} , у швидкісного корпусу менше, ніж у культурного (35° як і у напівгвинтового замість 40°). Різниця кутів $\Delta\gamma_1 = \gamma_0 - \gamma_{min}$ для культурних і напівгвинтових відвалів складає $2...4^\circ$, а для швидкісних – 7° . Різниця кутів $\Delta\gamma = \gamma_{max} - \gamma_0$ складає:

Для культурних	$2...7^\circ$;
Для напівгвинтових	$7...15^\circ$;
Для швидкісних	$7...9^\circ$.

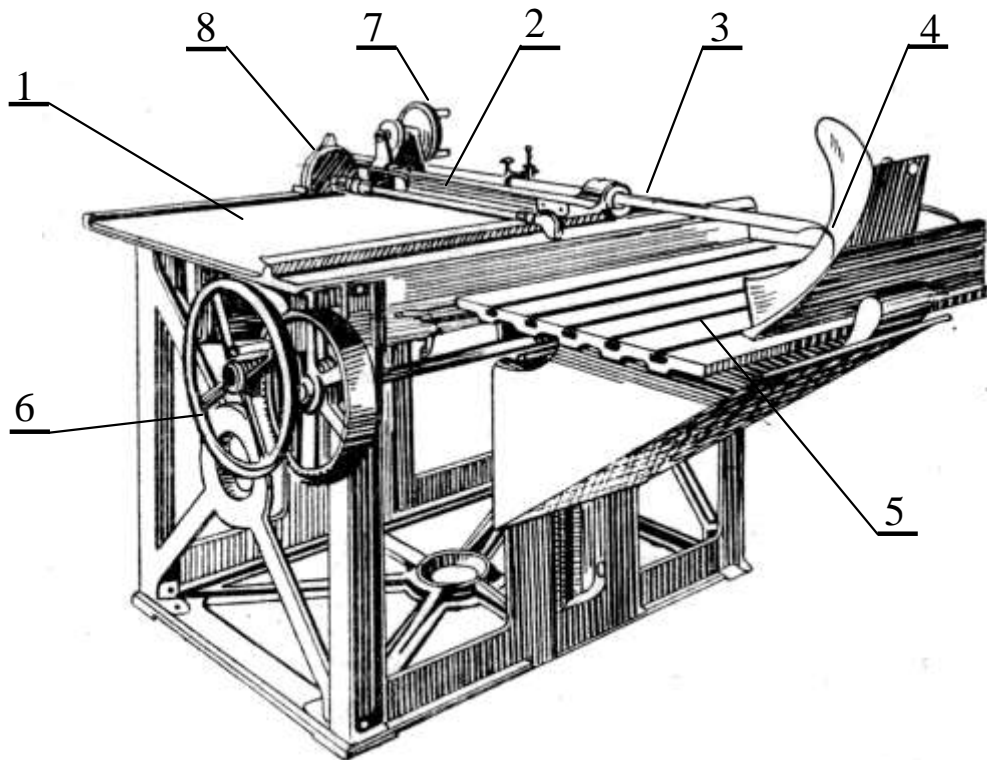
2.3.7 Дослідження робочої поверхні корпусу плуга

Тип робочої поверхні корпусу плуга досліджують мето-

дом профілювання. Для цього робочу поверхню розсікають горизонтальними і вертикальними площинами. Робочу поверхню корпусу зручно досліджувати за допомогою профілографів і координаторів. Профілографом кресляться на аркуші паперу профільні лінії, які одержуються у горизонтальній площині шляхом обведення показником профілографа контуру корпусу плуга.

2.3.8 Будова і робота профілографа М.Х.Пигулевського

На рисунку 5 показана будова профілографа М.Х. Пигулевського для дослідження робочої поверхні корпусу плуга.



1 – нерухомий стіл; 2 – супорт; 3 – штанга; 4 – показник;
5 – рухомий стіл; 6 – штурвал; 7,8 – маховичок

Рис. 5 – Схема профілографа

Профілограф складається з нерухомого стола 1, супорта 2, на якому розташована штанга 3 з показником 4 і рухомого стола 5, на якому закріплюється досліджуваний корпус плуга.

Рухомий стіл має можливість переміщатися у вертикальному напрямку (вздовж осі Z) за допомогою маховика 6. Штанга 3, на якій закріплена обойма з олівцем, переміщується в поперечному напрямку відносно напрямку руху корпусу плуга (вздовж осі Y) маховичком 7. Супорт разом зі штангою переміщується маховичком 8 вздовж осі X паралельно стінці борозни. Для фіксації координат будь якої точки поверхні корпусу плуга на приладі встановлено три шкали X , Y , Z .

2.4 Порядок виконання роботи:

2.4.1 Підготовка профілографа до роботи

- 1) Перевірити справність профілографа.
- 2) Установити рухомий стіл в верхнє положення.
- 3) Установити на рухомий стіл досліджуваний корпус плуга.
- 4) Закріпити на нерухомому столі аркуш паперу для креслення.

2.4.2 Установка корпусу

На рухомому столі 5 закріплюється корпус плуга так, щоб носок лемеша і задній край польової дошки розташовувались на прямій паралельній осі X . Якщо леміш долотоподі-

бний, то під його задній кінець необхідно підставити підкладки, щоб зберегти горизонтальність леза. Корпус встановлюється таким чином, щоб кінець показника штанги торкався носка лемеша. При цьому стрілки супорта, рухомого стола і штанги повинні бути установлені на нульових відмітках.

Папір закріплюється на нерухомому столі з таким розрахунком, щоб олівець, який закріплений на штанзі, відмічав точку носка лемеша (початок координат) на відстані 300 мм від нижнього і 400 мм від лівого країв аркуша. Для запису координат контурних точок корпуса плуга треба зробити таблицю по формі (таблиця 1).

2.4.3 Побудова горизонтальної проекції корпуса плуга

Побудова горизонтальної проекції корпуса плуга починається з нанесення на аркуші паперу точок носка і кінця лемеша. Для цього кінець показника штанги сполучити з носком лемеша і натиснути на олівець на штанзі. Таким чином одержується точка A . Координати X , Y і Z точки A записуються у таблицю. Не змінюючи координату Z за допомогою маховичків 7 і 8 (див. рис. 5) перевести супорт і штангу до сполучення кінця показника штанги з кінцем леза лемеша і натиснути на олівець на штанзі. Таким чином одержується точка C . Координати X , Y і Z точки C записуються у таблицю.

Таблиця 1

Точка	Координати точок					Величина кутів		
	Z	X		Y		α	β	γ
		Польовий обріз	Борозний обріз	Польовий обріз	Борозний обріз			
A	0	0	x	0	x			
B	0	x		x				
1	30		x		x			
1'	30	x		x				
C			x		x			
C'		x		x				
2	100		x		x			
2'	100	x		x				
3	150		x		x			
3'	150	x		x				
4	200		x		x			
4'	200	x		x				
M			x		x			
K		x		x				
P		x		x		x	x	x

Для одержання координат точок, які розташовані вище леза лемеша, рухомий стіл з корпусом опускають у напрямку осі Z за допомогою штурвала 6. Через кожні 50 мм відмічають точки 1, 2, 3, 4... польового і 1', 2', 3', 4'... борозного обрізу робочої поверхні корпуса плуга. Крім того необхідно відмічати характерні точки C і C', які розташовані на лінії сти-

ку лемеша і відвала, а також точки M , K , P , які розташовані на верхньому обрізі відвала (див. рис. 1). Координати всіх точок заносяться у таблицю.

Після одержання координат всіх необхідних точок знімають аркуш з профілографа, закріплюють його на кульмані і за допомогою лінійки, з'єднавши прямими точки A і B , 1 і $1'$, C і C' , 2 і $2'$ і т. д., одержують сліди горизонтальних січних площин. З'єднавши послідовно плавною кривою контурні точки $1'$, C' , $2'$, $3'$ і т. д., одержують горизонтальну проекцію корпусу плуга.

Для одержання закономірності зміни кута γ на цій проекції замірюють кут нахилу слідів січних площин до лінії стінки борозни (вісь X) і записують у таблицю.

2.4.4 Побудова поздовжньо-вертикальної проекції корпусу плуга (площина XOZ)

На поздовжньо-вертикальній проекції XOZ вісь X буде проекцією дна борозни. Через кожні 50 мм на осі Z відкладають сліди січних горизонтальних площин, які є проекціями твірних поверхні корпусу. Потім по черзі переносять точки 1 і $1'$, C і C' , 2 і $2'$ і т. д. з горизонтальної поверхні на відповідні проекції твірних у поздовжньо-вертикальній площині. З'єднавши послідовно плавною кривою одержані точки, одержують проекцію корпусу у поздовжньо-вертикальній площині.

Криву зміни кута α будують шляхом січення корпусу плуга поздовжньо-вертикальною площиною $V-V$, паралельній стінці борозни.

Площина $V-V$ перерізає твірні в горизонтальній проекції в точках $Xa, X1, X2, Xc$. Спроектуювавши ці точки на відповідні твірні у поздовжньо-вертикальній проекції відмічають точки $Xa', X1', X2', Xc'$, які утворюють криву зміни кута α . Результати вимірювань кутів α записуються у таблицю.

2.4.5 Побудова фронтальної проекції корпусу плуга (площина YOZ)

По горизонтальній і поздовжньо-вертикальній проекціях будується фронтальна проекція у площині YOZ використовуючи знання нарисної геометрії. З метою оцінки обертаючої здатності корпусу плуга визначають характер зміни кута β .

Для цього через горизонтальну проекцію (у будь якому місці) проводять січну площину $U-U$, яка пройде перпендикулярно дну і стінці борозни. Площина $U-U$ перерізає твірні в горизонтальній проекції в точках $Ya, Y1, Y2, Yc$. Спроектуювавши ці точки на відповідні твірні у фронтальній проекції відмічають точки $Ya', Y1', Y2', Yc'$, які утворюють криву зміни кута β . Результати вимірювань кутів β записуються у таблицю.

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи.
2. Надати основні загальні відомості з побудови робочої поверхні корпусу плуга.
3. Заповнити таблицю з даними вимірів і одержаними результатами.
4. Побудувати проєкції робочої поверхні корпусу плуга на міліметровому аркуші (формат А3) з графіками зміни кутів α , β і γ по висоті.

2.6 Контрольні питання

- 1 Які типи робочих поверхонь корпусів плуга Ви знаєте і яка область їх застосування.
- 2 Якими параметрами характеризується робоча поверхня корпусу плуга і передплужника ?
- 3 Чим відрізняються між собою різні типи робочих поверхонь корпусів плуга?
- 4 Які прилади і устаткування застосовуються для дослідження робочої поверхні корпусу плуга?
- 5 Як будуються проєкції робочої поверхні корпусу плуга з використанням профілографа М.Х. Пігулевського?
- 6 Як досліджується робоча поверхня корпусу плуга або передплужника?
- 7 Як визначити тип робочої поверхні по результатам вимірів та аналізу?

Тестові завдання

1. Коефіцієнт стійкості скиби, що відвалюється корпусом плуга, визначається за формулою:

$$1. K = \frac{a}{b}$$

$$2. K = \frac{c}{a}$$

$$3. K = \frac{b}{a}$$

$$4. K = \frac{a}{c}$$

де a – глибина обробки;

b – ширина захвату корпусу;

c – довжина лемеша.

2. Кути робочої поверхні корпусу плуга пов'язані між собою залежністю:

$$1. \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

$$2. \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

$$3. \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$4. \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \gamma$$

де α – кут кришення;

β – кут обороту;

γ – кут зсуву.

3. При роботі плуга ПЛН-5-35 спостерігається зминання стінки борозни тому що

1. зламані або відсутні одна або кілька польових дошок
2. затуплені носки лемешів
3. обрана марка плуга не відповідає фізико-технологічним властивостям ґрунту
4. затуплені леза лемешів

4. Кут між робочою поверхнею корпусу плуга і дном борозни у площині стінки борозни – це кут

1. зсуву скиби
2. кришення
3. обороту скиби
4. відриву скиби

5. Кут між робочою поверхнею корпусу плуга і стінкою борозни у горизонтальній площині – це кут

1. обороту скиби
2. відриву скиби
3. кришення
4. зсуву скиби

6. Кут обороту пласта вимірюється у площині

1. перпендикулярній дну борозни і лезу лемеша
2. паралельній дну борозни
3. паралельній стінці борозни
4. перпендикулярній дну і стінці борозни

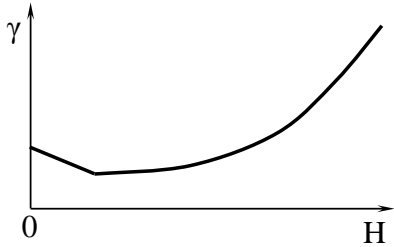
7. Кут у робочій поверхні впливає на здатність

1. кришення скиби
2. зсуву скиби
3. обертання скиби
4. відриву скиби

8. Робоча поверхня корпусу плуга – це поверхня

1. лемеша
2. полиці
3. лемеша і полиці
4. крила полиці

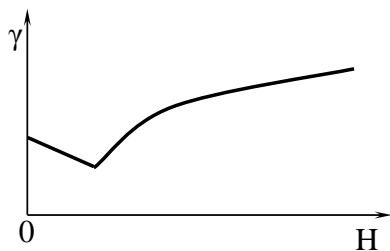
9. Залежність кута зсуву γ по висоті H культурної робочої поверхні корпуса плуга показана на рисунку



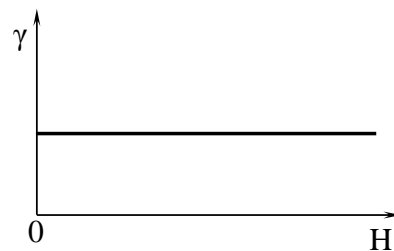
1.



2.

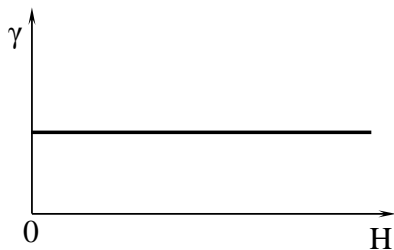


3.

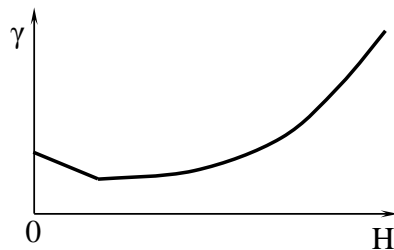


4.

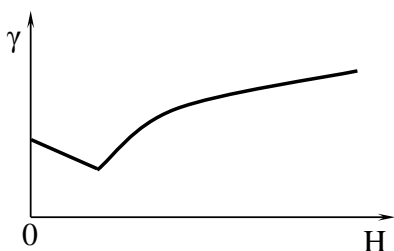
10. Залежність кута зсуву γ по висоті H циліндричної робочої поверхні корпуса плуга показана на рисунку



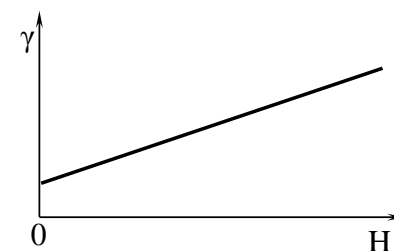
1.



2.



3.



4.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Мета роботи: – вивчити способи визначення і характер зміни тягового опору робочих органів ґрунтообробних машин при взаємодії з ґрунтом;

– одержати практичні навички в тензометрируванні й обробці отриманих результатів.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- будову корпусу плуга;
- сили, що діють на корпус плуга;
- визначення складових сил, що діють на корпус плуга.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- схема сил, що діють на корпус плуга в горизонтальній площині;
- схема сил, що діють на корпус плуга в поздовжньо-вертикальній площині.

1.2 Питання для самопідготовки

1 З яких складових елементів складається корпус плуга?

2 Що являє собою робоча поверхня корпусу плуга?

3 Які сили діють на корпус плуга при його роботі?

4 Який напрямок мають сили, що діють на корпус плуга, при його роботі?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

Вивчити:

– правила охорони праці і техніки безпеки на робочому місці;

– способи визначення тягового опору робочих органів ґрунтообробних машин;

– методику використання тензометрирування робочих органів;

– будову і роботу лабораторного устаткування, приладів і інструментів, які застосовуються при виконанні завдання;

– методику обробки осцилограм із використанням ЕОМ.

Визначити:

– тяговий опір робочого органа розрахунковим шляхом;

– тяговий опір робочого органа експериментальним шляхом.

Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

- інструкція з охорони праці;
- ґрунтовий канал;
- тягово-приводний візок;
- динамометр;
- розпушувальний робочий орган;
- кільцева подовжена октагональна тензоланка;
- підсилювач – (8АНЧ) або «ТОПАЗ-4»;
- осцилограф – Н-115;
- самопис – Н-338.6П;
- блок живлення – «АГАТ»;
- набір тензодатчиків.

2.3 Теоретичні відомості

Тяговий опір робочих органів і знарядь має важливе значення при проектуванні сільськогосподарських машин і комплектуванні сільськогосподарських агрегатів. Визначити тяговий опір робочого органа можна розрахунковим (орієнтовно) і експериментальним шляхом.

2.3.1 Розрахункові способи визначення тягового опору

Спрощена формула

Для визначення опору знаряддя або рівної йому по величині сили тяги P іноді використовують спрощену формулу

$$P = K_0 \cdot a \cdot B, \quad (1)$$

де K_0 – питомий опір знаряддя, $K_0 = 20 \dots 130$ кПа;

a – глибина обробки, м;

B – робоча ширина захвату знаряддя, м.

Однак ця формула дає великі помилки, тому що не враховує впливу швидкості руху, сили ваги знаряддя, стан і форму робочих органів.

Так, по формулі (1) при $a = 0$ одержимо $P = 0$, а насправді $P \neq 0$, тому що виникає опір перекочуванню.

Ця формула дає меншу помилку при великій глибині обробки і дуже велику при малій глибині обробки. Наприклад, для п'ятикорпусного плуга при $a = 25$ см помилка складає близько 20 %, а при $a = 10$ см помилка буває близько 60 %.

Формула професора Щучкіна

$$P = f \cdot G + m \cdot \delta \cdot a \cdot B, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя робочих органів об ґрунт;

G – сила ваги знаряддя, Н;

m – дослідний коефіцієнт, $m = 0,015 \dots 0,12$;

δ – твердість ґрунту, кПа.

Незважаючи на те, що ця формула включає ряд фізико-механічних показників ґрунту, вона не враховує швидкості руху знаряддя, а також форму поверхні робочих органів.

Раціональна формула академіка В.П. Горячкіна для визначення тягового опору плуга

Проаналізувавши роботу плуга, академік В.П. Горячкін установив, що його тяговий опір складається з опору трьох різних категорій:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 . \quad (3)$$

До першої категорії він відніс опори, пропорційні нормальному тиску знаряддя (сили ваги):

$$P_1 = f \cdot G , \quad (4)$$

де f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя, але враховує й опір перекочування;

G – сила ваги знаряддя, Н.

До цієї категорії опорів В.П. Горячкін відніс: силу тертя корпусів об дно і стінку борозни, силу тертя втулок коліс об осі, опір перекочуванню коліс по ґрунту, а всю сукупність цих опорів назвав «мертвим опором».

До другої категорії були віднесені опори, які обумовлені деформацією ґрунтового шару. Відповідно до загальних за-

конів опору матеріалів вони пропорційні площі поперечного перерізу деформованого шару:

$$P_2 = k \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (5)$$

де k – питомий опір ґрунту аналогічний межі міцності й опору матеріалів, Н/м², або кПа;

b – ширина захвату корпусу плуга, м;

n – кількість корпусів плуга, шт.

До третьої категорії В.П. Горячкін віднесені опори, що зв'язані з наданням кінетичної енергії часткам ґрунту. Аналогічно, опір корпусу плуга прямопропорційний площі поперечного перерізу ґрунту і квадратові швидкості руху плуга:

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2, \quad (6)$$

де ε – коефіцієнт швидкісного опору, що залежить від параметрів (геометричної форми) корпусу плуга і властивостей ґрунту, Н·с²/м⁴;

V – швидкість плуга, м/с.

Отже, тяговий опір плуга буде:

$$P = f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2. \quad (7)$$

Ця формула названа раціональною, тому що вона представлена раціональним алгебраїчним виразом, і зміст її

представляється раціональним з погляду механіки.

Для плуга, що працює на традиційній швидкості, третій член формули невеликий, перший член значно більше третього, а найбільше чисельне значення має другий член.

Однак зі збільшенням швидкості різко зростає складова P_3 і загальний тяговий опір.

Розрахунковий опір плуга.

По формулі В.П. Горячкіна визначається **середнє** значення опору знаряддя.

При розрахунках деталей вузлів і механізмів необхідно користуватися максимальним його значенням. Тому, в розрахункову формулу вводиться коефіцієнт Θ , що враховує збільшення опору через неоднорідність ґрунту:

$$P_{розр} = \Theta(f \cdot G + \kappa \cdot a \cdot B + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot V^2), \quad (8)$$

де $B = b \cdot n$.

Значення Θ тим менше, чим більше ширина захвату знаряддя. Так для:

- 2-х -3-х корпусного плуга – $\Theta = 2$;
- 4-х корпусного плуга – $\Theta = 1,8$;
- 5-ти корпусного плуга – $\Theta = 1,5$;
- 8-и корпусного плуга – $\Theta = 1,3$.

Потужність, яка витрачається на роботу плуга, може визначатися по формулі

$$N = P \cdot V, \quad (9)$$

де N – потужність на роботу плуга, Вт;

P – тяговий опір знаряддя, Н;

V – швидкість плуга, м/с.

Тоді

$$N = f \cdot G \cdot V + k \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^3. \quad (10)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) плуга можна в загальному вигляді представити так:

$$\eta = \frac{N_{заг} - N_{шк}}{N_{заг}} = \frac{N_{кор}}{N_{заг}}; \quad (11)$$

або

$$\eta = \frac{P_{кор} \cdot V}{P \cdot V} = \frac{P - P_{шк}}{P} = 1 - \frac{P_{шк}}{P}, \quad (12)$$

де $N_{кор}$ – корисна потужність на роботу плуга, Вт;

$N_{шк}$ – потужність, що витрачається на подолання шкідливих опорів знаряддя, Вт;

$N_{заг}$ – загальна потужність на роботу плуга, Вт;

P , $P_{кор}$, і $P_{шк}$ – відповідно загальний, корисний і шкідливий опір знаряддя, Н.

Підставляючи їх значення до раціональної формули академіка В.П. Горячкіна будемо мати:

$$\eta = \frac{\kappa \cdot a \cdot B + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot V^2}{f \cdot G + \kappa \cdot a \cdot B + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot V^2}; \quad (13)$$

або

$$\eta = 1 - \frac{f \cdot G}{f \cdot G + \kappa \cdot a \cdot B + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot V^2}. \quad (13a)$$

Визначення тягового опору робочого органу культиватора з умови пропорційності опору ґрунту зминанню до початку руйнування об'ємові деформованого ґрунту.

Розглянемо взаємодію розпушувальної лапи з ґрунтом (рис.1).

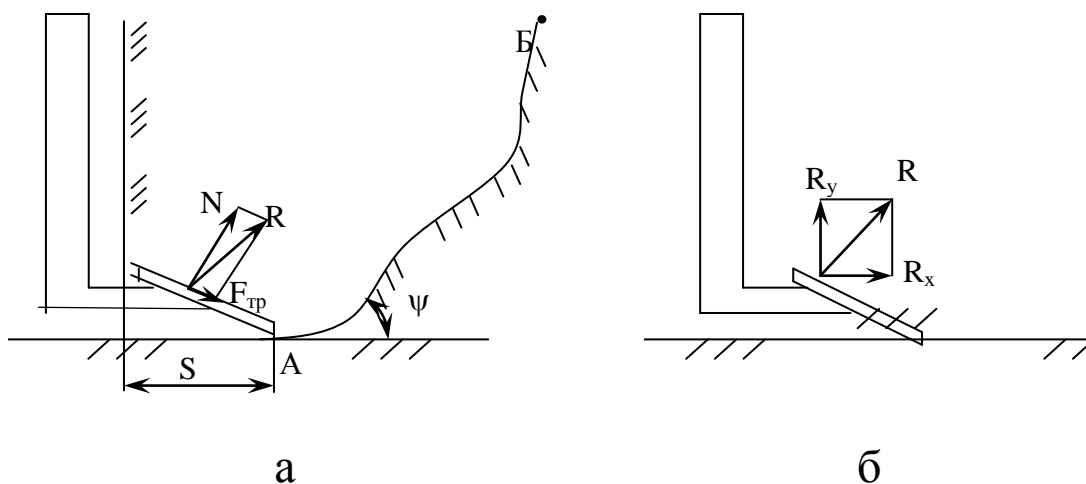


Рис. 1 - Взаємодія розпушувальної лапи з ґрунтом

а – сили, що діють на ґрунт з боку лапи; б – складові тягового опору двогранного клина

Під тиском робочої поверхні лапи при її переміщенні в ґрунті на величину S , названу граничним шляхом зминання ґрунту, відбувається пластичне деформування з ущільненням ґрунту під дією нормальних стискаючих напруг (фаза I, рис. 2.) У результаті цього утворюється поверхня руйнування внутрішніх зв'язків дотичними напруженнями (по лінії АБ) (див. рис. 1) і відбувається відділення блоку ґрунту (фаза II, рис. 2.).

Відповідно до вищевикладеного, процес руйнування ґрунту робочим органом складається з двох періодично повторюваних фаз: фази зминання (I) і фази руйнування (II).

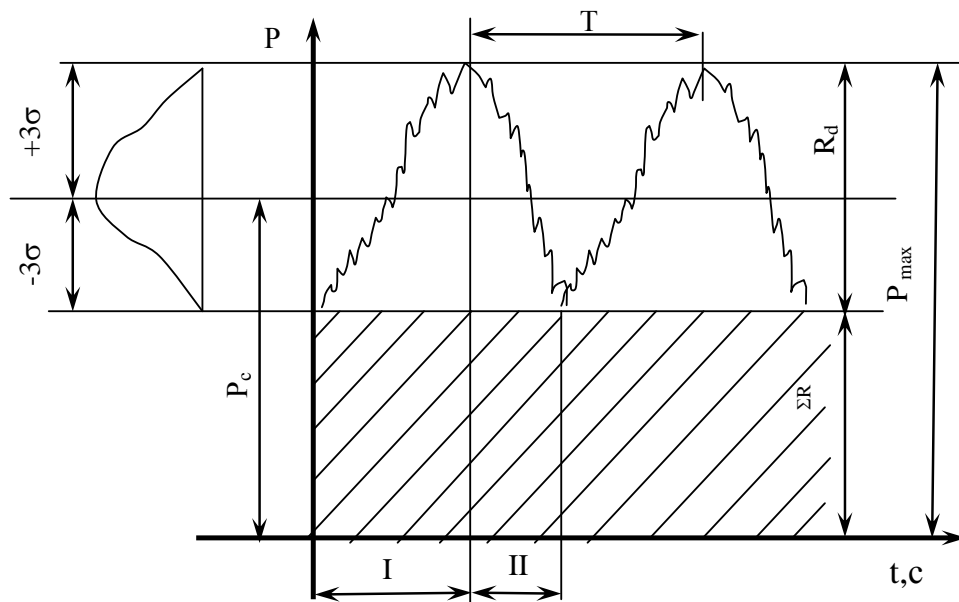


Рис. 2 – Фази процесу руйнування ґрунту робочим органом

Величина опору двогранного клина дорівнює:

$$P = \sum R + R_{\partial}, \quad (14)$$

де $\sum R$ – сумарний опір робочого органа від ваги шару ґрунту, сил інерції шару ґрунту, сил тертя і проникнення леза клина в ґрунт, Н;

R_{∂} – опір ґрунту деформації, Н.

При переміщенні клина в однорідному по складу ґрунті $\sum R$ має постійне значення, а R_{∂} – періодично змінюється від нуля до деякого максимального значення, що обумовлено циклічним характером деформації ґрунту під дією клина (рис. 2). Характер зміни опору ґрунту деформації в значній мірі залежить від фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунту.

Наслідком проникнення розпушувальної лапи в ґрунт є виникнення в ній напруженого стану. Стискаючись, ґрунт чинить опір подальшому переміщенню клина. Найбільше ущільнення ґрунту (стиск) і, відповідно, нормальний тиск на робочій поверхні визначає момент руйнування ґрунтового шару.

Якщо прийняти, що опір ґрунту стиску до початку руйнування пропорційний об'єму деформованого ґрунту:

$$R_{\partial} = q\dot{U}_1, \quad (15)$$

де q – коефіцієнт пропорційності, або коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/см³;

\dot{U}_1 – об'єм ґрунту, що зминається, см³,

то при переміщенні в ґрунті ножа площею F на шляху S величина тиску складе:

$$\begin{aligned} R_{\partial} &= q \frac{dF \cdot S}{\cos \mu} = q \frac{db \cdot dS \cdot S \cdot \sin \alpha}{\cos \mu} = \\ &= q \frac{1}{\cos \mu} \int_0^b \int_0^S S \cdot \sin \alpha db \cdot dS = \frac{1}{2} q \frac{b \cdot S^2}{\cos \mu} \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (16)$$

де b – ширина робочого органа, м;

α – кут нахилу леза розпушувальної лапи до горизонту, град;

μ – кут зовнішнього тертя ґрунту об сталь, град;
 $\mu = 30 \dots 35$ град;

S – граничний шлях зминання ґрунту, см, $S = 8 \dots 10$ см при глибині обробки $a = 10 \dots 15$ см.

Як відомо, коефіцієнт об'ємного зминання q залежить від швидкості занурення робочого органа в ґрунт. Тому:

$$q = q_0 + 5,3 \cdot V, \quad (17)$$

де q – коефіцієнт об'ємного зминання при робочій швидкості руху робочого органу, Н/см³;

q_0 – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту при швидкості $V = 0,1$ м/с; $q_0 = 20 \dots 40$ Н/см³;

V – швидкість руху робочого органа, м/с; $V = 2,1$ м/с.

Отже:

$$R_{\phi} = \frac{1}{2}(q_0 + 5,3V) \frac{b \cdot S^2}{\cos \mu} \cdot \sin \alpha. \quad (18)$$

Визначення першого члена виразу (14) $\sum R$ теоретичним шляхом досить складне. Тому він визначається з результатів експерименту:

$$\sum R \approx P_c - 3\sigma, \quad (19)$$

де P_c – середньоарифметичне значення опору робочого органу, Н;

σ – середньоквадратичне відхилення вимірів опору робочого органу, Н.

Підставивши вирази (18) і (19) у (14) можна визначити тяговий опір розпушувальної лапи.

2.3.2 Експериментальні способи визначення тягового опору

Експериментальний спосіб є найбільш достовірним методом визначення тягового опору робочих органів у реальних умовах.

Отриманий таким способом результат визначення тягового опору робочого органа дозволяє порівняти його роботу в тих або інших ґрунтово-кліматичних умовах, що дає можливість аналізувати доцільність його застосування. Однак цей спосіб зв'язаний з великими витратами часу і для його реалізації необхідні спеціальні технічні засоби.

Методи виміру механічних величин.

Існує цілий ряд методів виміру механічних величин.

Механічні і неелектричні методи виміру зазвичай дають можливість виміряти статичні величини або такі, що порівняно повільно змінюються.

За допомогою електричних методів можна вимірювати динамічні величини, що швидко змінюються, включаючи

ударні механічні процеси. Електричні методи виміру механічних величин в останні роки стали основними.

Причини застосування електричних методів і приладів можна пояснити наступним:

- **можливість проведення вимірів на віддалених і навіть недоступних місцях;**
- **можливість вимірювати і реєструвати найшвидші зміни механічних процесів, аж до удару;**
- **перетворювати вимірювані величини в електричний струм або напругу, що дає можливість інтегрувати і диференціювати їх за часом;**
- **показання вимірювального приладу можна використовувати як вступну інформацію контролюючого, керуючого і розрахункового пристрою.**

У випадку застосування електричного методу вимірювану неелектричну величину необхідно перетворити в електричну, котра змінювалася б також, як неелектрична величина. **Елемент, що перетворює неелектричну величину в електричну, називається датчиком.** Другим елементом є електричний або електронний пристрій для живлення, підсилення або передачі перетвореної механічної величини (електричного сигналу) на третій елемент – прилад, що записує, реєструє.

ДАТЧИК

Найбільш важливим елементом при будь-яких дослідженнях є датчик. Він повинен:

- сприймати механічну величину і перетворювати її в електричну;
- мати постійну лінійну залежність між зміною механічної і електричної величин у достатньому діапазоні вимірів.

Датчики для виміру механічних параметрів механізмів і машин досить різноманітні, що підтверджує їх класифікація (рис. 3), запропонована М.П. Раєвським.

Датчики прямого перетворення більш чисельні і розділяються на датчики енергетичні, що запозичають енергію перетворення з вимірюваного процесу, і параметричні, засновані на змінах трьох параметрів електричного ланцюга: ємності, індуктивності або опору.

Найбільше застосування одержали дротяно-фольгові датчики опору (тензодатчики опору), які представлені на планшеті.

Датчики омичного опору найбільш прості і застосовуються в техніці виміру механічних величин. Тензодатчики закріплюються (приклеюються відповідним клеєм) на пове-

рхні вимірюваної ділянки. Деформація цієї ділянки безпосередньо змінює опір металевого провідника тензодатчика. При цьому метал, на який наклеюється датчик, повинен витримувати деформації в межах прямої пропорційності, відповідно до закону Гука.

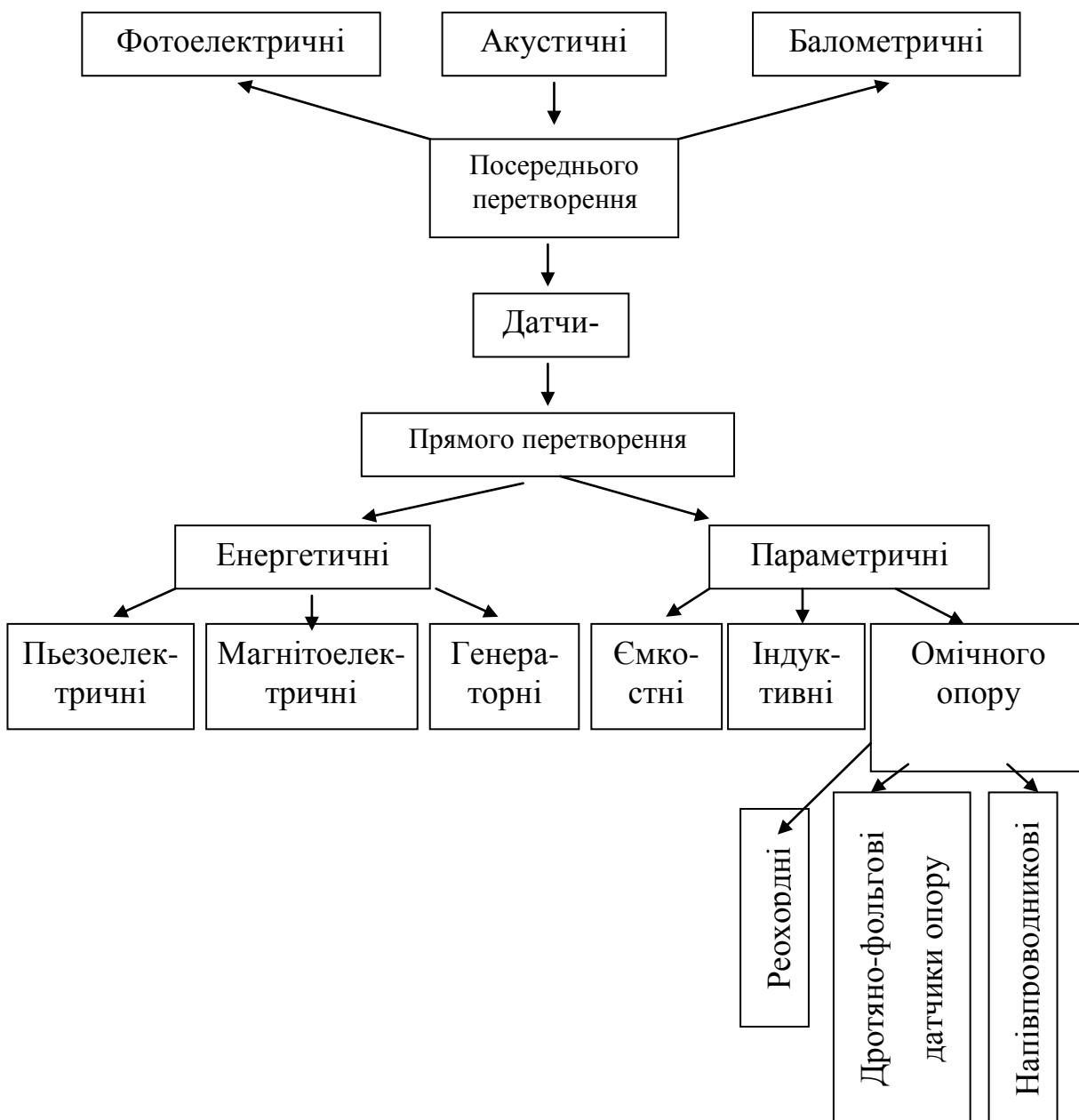


Рис. 3 – Класифікація датчиків (по М.П.Раєвському)

Вимір дротовими і фольговими тензодатчиками опору засновано на зміні електричного опору провідника при його деформації. Провідник, механічно з'єднаний з випробуваним об'єктом, деформується під дією зовнішніх сил. При деформації змінюються розміри і опір провідника. Як відомо:

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad (20)$$

$$I = \frac{U}{R}, \quad (21)$$

де R – опір провідника тензодатчика, Ом;

ρ – питомий опір провідника, Ом·см;

l – довжина провідника, см;

S – площа поперечного переріза провідника, см²;

I – сила струму, який проходить через провідник датчика, А;

U – напруга джерела живлення, В.

Величина деформації визначається по зміні опору датчиків. Зміна опору виміряється зміною сили струму, який проходить через датчики. При цьому датчики з'єднуються по схемі моста Уїнстона. В основу роботи моста Уїнстона або електричної мостової схеми покладений I-й закон Кірхгофа: струм тече в провіднику по лінії найменшого опору. Розгля-

немо схему на рисунку 4. До неї входять: джерело живлення, 4 тензодатчика з опорами R_1, R_2, R_3, R_4 і гальванометр.

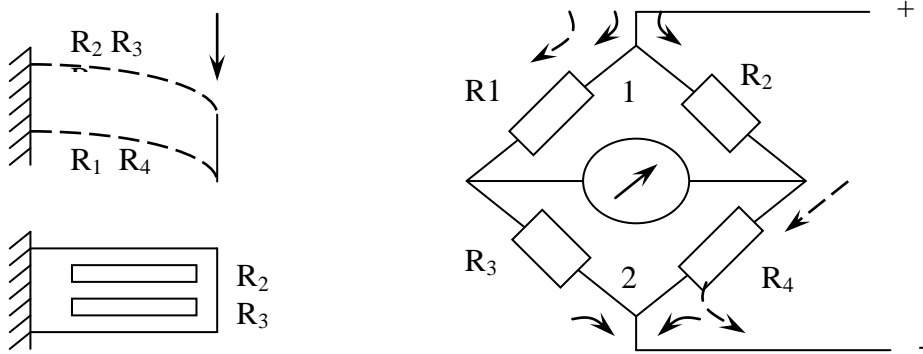


Рис. 4 – Електрична мостова схема

—> спрямування струму при $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ або $R_1/R_3 = R_2/R_4$;

---> спрямування струму при $(R_2 = R_3) > (R_1 = R_4)$ або $R_1/R_3 < R_2/R_4$.

Якщо $R_1/R_3 = R_2/R_4$, то струм у т.1 розходитьсь на два потоки, а потім у т.2 сходиться.

Якщо ж опір тензодатчиків, приміром, R_1 і R_4 зменшиться, а R_2 і R_3 збільшиться, або $R_1/R_3 < R_2/R_4$, то більший струм піде по лінії найменшого опору, тобто, через датчик R_1 – гальванометр – датчик R_4 . Гальванометр при цьому зафіксує зміну сили струму датчиків R_1, R_2, R_3 і R_4 . Чим більше буде різниця опорів між (R_1, R_4) і (R_2, R_3) , тим більше значення струму, що проходить через гальванометр.

Якщо при згинанні пластини необхідно вимірювати

зусилля користуючись тензометруванням, то тензодатчики необхідно розташувати в порядку, показаному на рисунку 4. При цьому тензодатчики з опором R_2 і R_3 одержать подовження, отже їхній опір зросте, а тензодатчики з опором R_1 і R_4 одержать стиск, відповідно, їхній опір зменшиться. Це впливає з того, що при згинанні пластини верхні її волокна будуть розтягнуті, а нижні стиснуті по відношенню до нейтрального шару. Зміна величини струму у вимірювальній діагоналі моста пропорційна зміні деформації пластини.

Виходячи з вище сказаного, можна сформулювати основні властивості мостової схеми:

1) однакові по величині і знаку зміни опору всіх 4-х плеч не порушують рівноваги моста, якщо початкові опори плеч однакові;

2) однакові по величині і знаку зміни опору суміжних плечей R_1, R_3 або R_2, R_4 не порушують рівноваги моста, якщо $R_1 = R_3$ і $R_2 = R_4$;

3) однакові по величині і різні за знаком зміни опорів у суміжних плечах збільшують невривноваженість моста, а отже, і струм у вимірювальній діагоналі в 2 рази;

4) однакові по величині і різні за знаком зміни опо-

рів у протилежних плечах збільшують неврівноваженість моста, а отже, і струм у вимірювальній діагоналі в 4 рази.

ТЕНЗОЛАНКИ

Тензоланки найчастіше використовуються при тензометрируванні робочих органів посівних і ґрунтообробних машин, тому що не завжди є можливість встановити тензодатчик безпосередньо на досліджуваний вузол або деталь. Вони мають певну конструктивну форму, у якій при навантаженні виявляються деформації, що дозволяють за допомогою тензомостів знімати показання високої чутливості з найменшими відхиленнями.

Найбільш розповсюдженою є подовжена кільцева октагональна тензоланка. Вона має високі властивості, і в той же час низький взаємовплив тензодатчиків, наклеєних на неї і з'єднаних по мостовій схемі (рис. 5).

Ланка має строго визначені пропорції і розміри, що дозволяє робити вимір вертикальної (F_y) і горизонтальної (F_x) складових зусиль, а також моменту цих сил у вертикальній площині щодо точки кріплення (M_z). Для цієї мети на тензоланці зібрані 3(три) тензомости, показаних на рисунку 5.

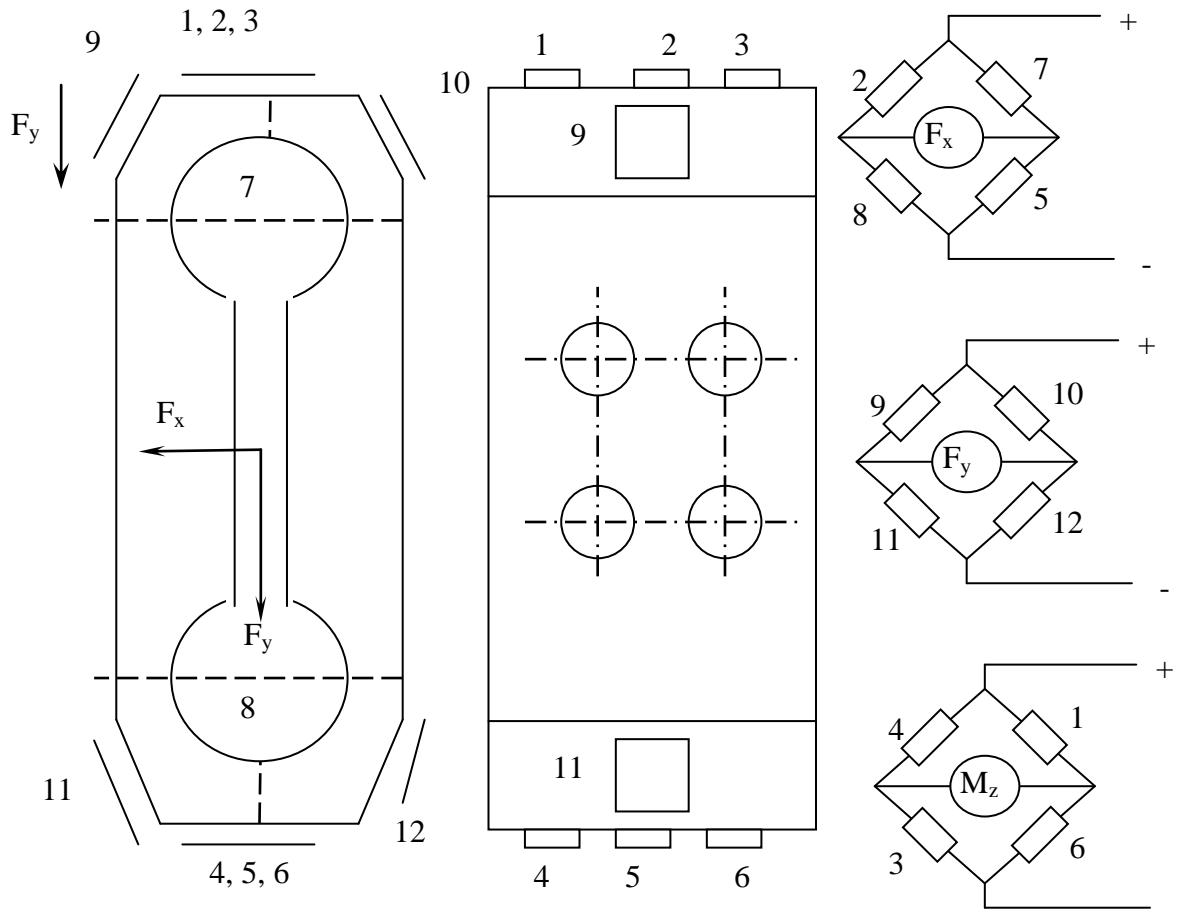


Рис. 5 – Подовжена кільцева октагональна тензоланка

ТЕНЗОПІДСИЛЮВАЧІ

Вихідний сигнал на діагоналі моста тензометричного пристрою при вимірі складає порядку декількох мікроампер. Якщо цей сигнал не підсилювати, то прилади, що реєструють, не можуть зафіксувати його для наступної обробки. Для цієї мети використовуються тензопідсилювачі – «ТОПАЗ-4» (8АНЧ) і інші.

РЕЄСТРУЮЧІ ПРИЛАДИ

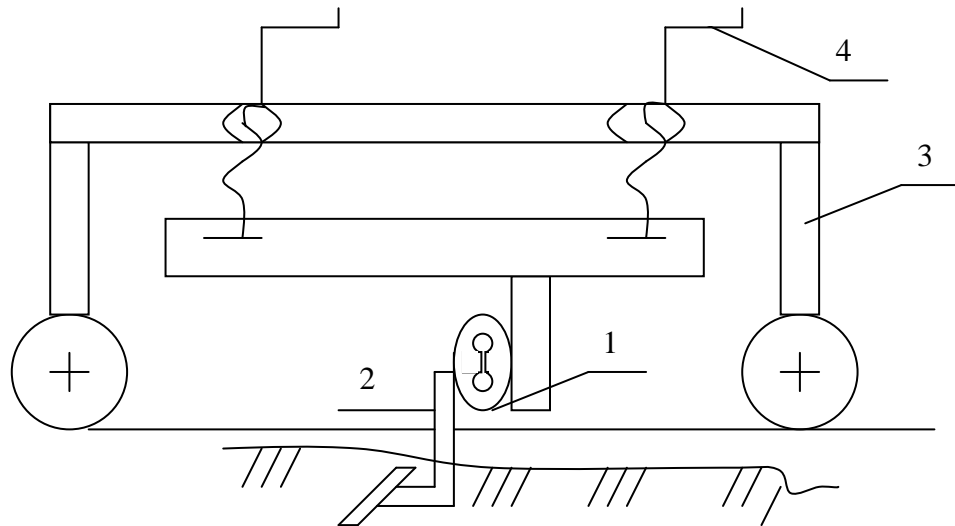
До реєструючих приладів відносяться: осцилографи, самописи, магнітографи й інші прилади, здатні записати, зберегти і, згодом, відтворити результати вимірів.

2.3.3 Вихідні дані до виконання роботи

- ширина захвату робочого органу $b = 12$ см;
- кут нахилу поверхні розпушувальної лапи до горизонту $\alpha = 15$ град.;
- кут зовнішнього тертя ґрунту об сталь $\mu = 30 \dots 35$ град.;
- швидкість руху робочого органу $V = 2 \dots 3$ м/с;
- глибина ходу робочого органу у ґрунті $a = 10 \dots 15$ см.

2.3.4 Визначення тягового опору ґрунтообробного робочого органу методом тензометрирування

Установка для визначення тягового опору ґрунтообробних робочих органів (рис. 6) включає у себе: ґрунтовий канал, тягово-приводний візок 3 з установленою на ньому тензоланкою 1 і робочим органом 2, тензопідсилювач – «ТО-ПАЗ-4», блок живлення «АГАТ» і самопис НЗЗ8-6П.



1 – подовжена кільцева октагональна тензоланка; 2 – розпушувальна лапа; 3 –тягово-приводний візок; 4 – механізм регулювання глибини обробки

Рис. 6 – Установка для визначення тягового опору робочих органів

2.4 Порядок виконання роботи:

1. Перед початком визначення тягового опору робочого органа необхідно провести тарування тензоланки з записом результатів на самописі. Для цього тензоланка знімається з установки, встановлюється на спеціальний стенд, де відбувається 5-ти - 10-ти кратне навантаження і розвантаження ланки в напрямку діючих сил F_x і F_y . Одночасно підбираються коефіцієнти підсилення на тензопідсилювачі і самописі для кожного каналу.

Результати тарування, що записані на стрічці самопису, погоджують із зусиллям навантаження, обробляють з

використанням методів математичної статистики і будують тарувальний графік (рис. 7).

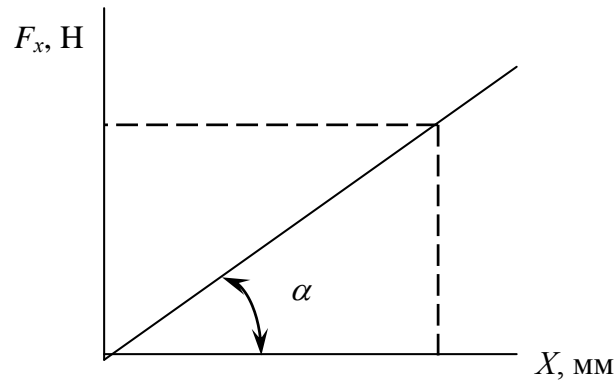


Рис. 7 – Тарувальний графік тензоланки при визначенні горизонтальної складової опору ґрунту

На рисунку 7 X – ордината осцилограми, мм;

F_x – навантаження у напрямку осі X , Н.

Тарувальний графік повинен носити лінійний характер. При цьому масштаб осцилограми $\mu_x = F_x / X = \operatorname{tg} \alpha$ буде коефіцієнтом переведення «міліметрів» ординат осцилограми в «Ньютони» прикладеного навантаження:

$$F_x = X_i \cdot \mu_x; \quad (22)$$

$$F_y = Y_i \cdot \mu_y, \quad (23)$$

де X_i і Y_i – ординати на осцилограмі відповідно по горизонтальній і вертикальній складовим тягового опору, мм;

μ_x і μ_y – масштаби осцилограм відповідно по горизонтальній і вертикальній складовим тягового опору, Н/мм.

2. Установити тензоланку і робочий орган на рамі тягового візка.
3. Установити тензопідсилювачі і самопис на «нуль» по каналах F_x і F_y .
4. Установити швидкість протягування паперової стрічки самопису.
5. Установити необхідну глибину обробки ґрунту механізмом 4.
6. Включити необхідну передачу на приводі візка.

ОСОБЛИВА УВАГА ПЕРЕД ПОЧАТКОМ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

7. **ВІДІЙТИ УСІМ ВІД ҐРУНТОВОГО КАНАЛУ В МІСЦЯХ РУХУ ВІЗКА.**
8. Пустити візок у роботу, одночасно включити прилади на запис вимірів. За 0,5 м до зупинки візка виключити самопис.
9. Після зупинки візка підняти робочий орган і повернути візок у вихідне положення.
10. Ущільнити ґрунт.

Результати вимірів повторити не менш 5-ти разів при різних швидкостях руху приводного візка і різних глибинах обробки з фіксацією результатів вимірів у вигляді діаграм на аркуші самописа або осцилографа.

У результаті проведеного дослідження отримані дві діаграми запису складових тягового опору F_x і F_y . Як відомо тяговий опір робочого органу (машини) визначається по формулі

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(F_{xi}^2 + F_{yi}^2)}, \quad (24)$$

де P – тяговий опір робочого органу, Н;

F_{xi} – ордината на осцилограмі по горизонтальній складовій тягового опору, мм;

F_{yi} – ордината на осцилограмі по вертикальній складовій тягового опору, мм;

n – кількість вимірів на осцилограмі.

Для визначення величини опору P обробляються діаграми в такій послідовності:

1. Визначаються ординати діаграми, вибравши сталу ділянку реалізації виміру (рис. 8).

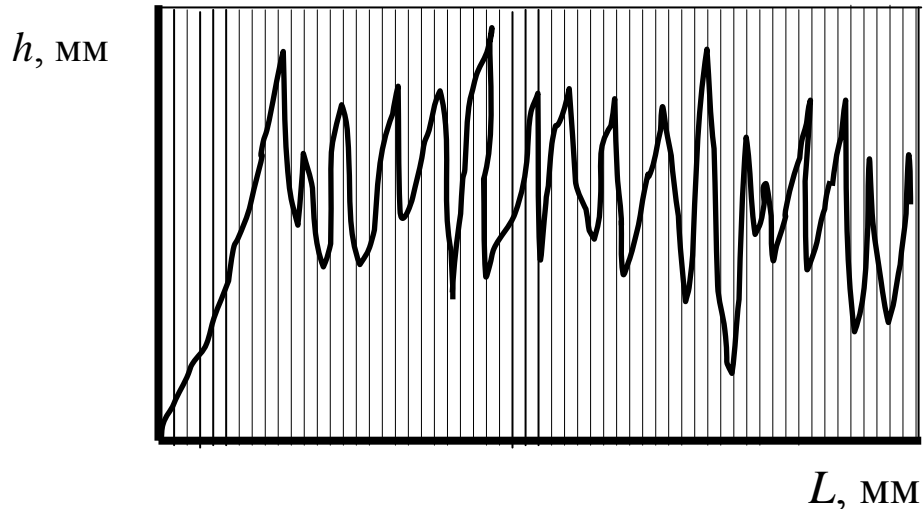


Рис. 8 – Діаграма тягового опору розпушувальної лапи

2. Довжина ділянки осцилограми вибирається в залежності від швидкості руху стрічки осцилограми (при $V = 16 \text{ мм/с}$ $L = 300 \dots 400 \text{ мм}$).

3. Ділянка осцилограми розбивається на « n » рівних частин з таким розрахунком, щоб їхня кількість, а значить і кількість вимірюваних точок, була не менш 100 (чим більша кількість вимірюваних точок, тим вища точність обробки результатів).

4. На робочій ділянці осцилограми вимірюються ординати, які проведені у кожній точці осцилограми, з відстанню між якими ΔS :

$$\Delta S = \frac{L}{n}. \quad (25)$$

5. Для кожного моменту часу визначаються складові тягового опору робочого органа F_x і F_y , а потім по складовим визначається загальний тяговий опір робочого органа в ході експерименту P_i , середньоарифметичне значення тягового опору робочого органу P , а також середньоквадратичне відхилення σ і коефіцієнт варіації ν .

Формули для обчислень:

$$F_{xi} = X_i \cdot \mu_x ; \quad (26)$$

$$F_{yi} = Y_i \cdot \mu_y ; \quad (27)$$

$$P_i = \sqrt{(F_{xi}^2 + F_{yi}^2)}; \quad (28)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(F_{xi}^2 + F_{yi}^2)}; \quad (29)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P)^2}{n-1}}; \quad (30)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{P} \cdot 100\% . \quad (31)$$

Таким чином, визначається не тільки середнє значення опору ґрунту робочому органу, але і характер зміни тягового опору в процесі його роботи, що є характеристикою енергетичного процесу взаємодії ґрунтообробного робочого органа з ґрунтом $P = P_c \pm 3\sigma$.

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи
2. Надати основні способи визначення тягового опору робочих органів сільськогосподарських машин.
3. Накреслити схему подовженої кільцевої октагональної тензоланки та моста Уїнстона.
4. Надати розрахунки тягового опору робочого органу по формулах (18, 26...31).

2.6 Контрольні питання

1. Як визначити тяговий опір за умови пропорційності опору ґрунту зминанню до початку руйнування об'ємові деформованого ґрунту?
2. Які Ви знаєте способи визначення тягового опору ґрунтообробних знарядь?
3. В чому полягають експериментальні методи визначення тягового опору?
4. Механічні методи визначення тягового опору. Їх недоліки.
5. Як визначити тяговий опір причіпного знаряддя методом динамометрирування?
6. Як визначити тяговий опір навісного знаряддя методом динамометрирування?
7. Електричні методи визначення тягового опору. Їх по-

зитивні і негативні якості.

8. Як працює міст Уїнстона?

9. Назвіть основні властивості мостової схеми?

10. Назвіть основні переваги електричних методів і приладів при визначенні тягового опору?

11. Які Ви знаєте прилади для визначення тягового опору?

Тестові завдання

1. Тяговий опір сільськогосподарських знарядь треба знати для

1. визначення точки приєднання сільськогосподарської машини
2. визначення майстерності тракториста
3. розрахунку норми виробітки агрегату
4. визначення складу агрегату, витрат паливо-мастильних матеріалів та виконання конструктивних розрахунків

2. Тяговий опір сільськогосподарського знаряддя за формулою академіка В.П.Горячкіна складається з таких складових:

1. P_1 – сила, яка йде на подолання шкідливих сил опору;
 P_2 – сила, яка йде на деформацію ґрунту;
 P_3 – сила, яка йде на перевертання скиби

2. P_1 – сила, яка йде на підрізання та оборот шару ґрунту;
 P_2 – сила інерції руху плуга;
 P_3 – сила, яка йде на подолання шкідливих сил опору

3. P_1 – сила, яка йде на подолання шкідливих сил опору
 P_2 – сила, яка йде на подолання опору, що пов'язаний з прирощуванням швидкості;
 P_3 – сила потенційної енергії шару ґрунту

4. P_1 – сила, яка йде на подолання опору, що пов'язаний з прирощуванням швидкості;
 P_2 – тягова сила трактора;
 P_3 – сила, яка йде на підрізання та оборот шару ґрунту

3. ККД плуга визначається за формулою

$$1. \eta = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot n + f \cdot G}{f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}$$

$$2. \eta = \frac{f \cdot G + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}{f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}$$

$$3. \eta = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}{f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}$$

$$4. \eta = \frac{f \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}{k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2}$$

де f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя, але і враховує й опір перекочування;

ε – коефіцієнт швидкісного опору, який залежить від параметрів корпусу плуга і властивостей ґрунту;

G – сила ваги знаряддя;

k – питомий опір ґрунту;

a – глибина обробітку ґрунту;

b – ширина захвату корпусу; плуга;

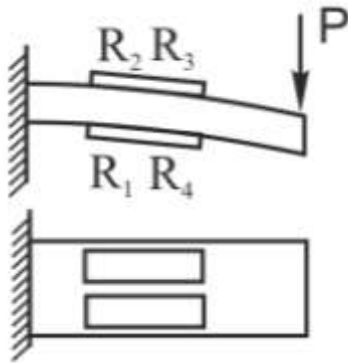
n – кількість корпусів плуга;

V – швидкість плуга.

4. Тензодатчик перетворює механічну дію в

1. графічний сигнал
2. гідравлічний сигнал
3. пневматичний сигнал
4. електричний сигнал

5. При навантаженні тензоланки згідно рисунку опір R_1



1. збільшується
2. зменшується
3. дорівнює нулю
4. не змінюється

6. Тарирування тензоланки виконується для

1. перевірки працездатності тензоланки
2. отримання значень відповідності величини сигналу датчика величині його навантаження
3. перевірки електричного ланцюга між датчиком та реєструючим приладом
4. отримання максимально припустимого навантаження на тензоланку

7. При розтягуванні тензодатчика його електричний опір

1. збільшується
2. зменшується
3. дорівнює нулю
4. не змінюється

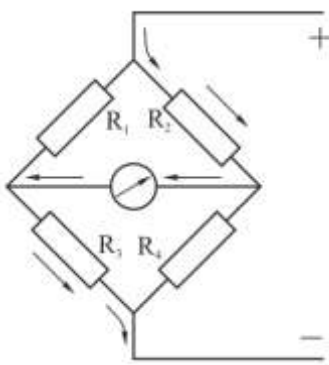
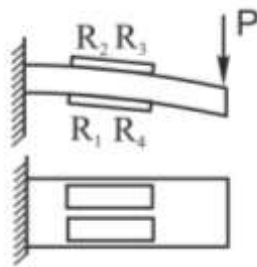
8. Мостова схема підключення тензодатчиків використовується для

1. регулювання точності вимірів датчика
2. регулювання кількості сигналів датчика
3. підсилення сигналу від датчика та компенсації температурних змін
4. з'єднання датчика з реєструючим пристроєм

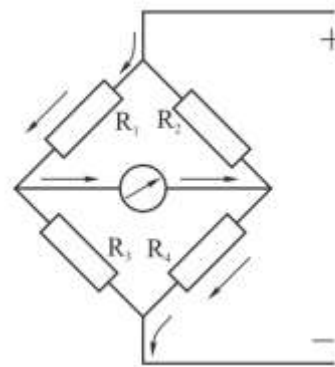
9. Осцилограма при проведенні дослідів використовується для

1. запису зміни параметра, який реєструється датчиком під час виконання дослідів
2. визначення моменту готовності агрегату до проведення досліджень
3. визначення максимальної тягової здатності трактора
4. запису часу проведення дослідів

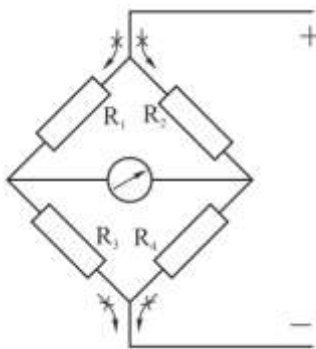
10. Спрямування електричного струму при навантаженні тензоланки згідно рисунку показано на схемі



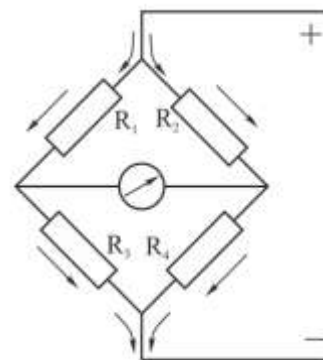
1.



2.



3.



4.

Лабораторна робота №5

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП

Мета роботи – закріплення теоретичних знань і одержання практичних навичок визначення технологічних параметрів культиваторних лап.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- робочі органи культиватора і їх типи;
- основні параметри стрілочастих культиваторних лап;
- способи заточки лез культиваторних лап.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- основні параметри стрілочастих культиваторних лап (схема, пояснення);
- схема способів заточки лез культиваторних лап.

1.2 Питання для самопідготовки

- 1 Типи культиваторних лап.
- 2 Основні параметри стрілочастих культиваторних лап.
- 3 Як впливає кут розхилу лез на роботу культиваторної лапи?

4 Способи заточки культиваторних лап.

5 Від чого залежить спосіб заточки лез культиваторної лапи?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

- вивчити обґрунтування кута розхилу лез культиватора;
- вивчити вимоги щодо розміщення культиваторних лап

на рамі.

– визначити параметри культиваторних лап, надати схеми розміщення лап на рамі культиватора у відповідності до варіанту;

- скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця

- зразок культиваторної лапи;
- лінійка;
- трикутник;
- транспортир;
- методичні вказівки до лабораторної роботи.

2.3 Теоретичні відомості

Основними робочими органами культиваторів є культиваторні лапи, що підрозділяються на: полільні, розпушувальні та універсальні.

Полільні лапи (глибина розпушування до 8 см) і універсальні (10-14 см) бувають:

1. Стрілчасті плоскорізальні
2. Однобічні плоскорізальні (бритви)

Розпушувальні лапи (глибина розпушування до 25 см) бувають:

1. Долотоподібні
2. Списоподібні
3. Оборотні

2.3.1 Основні параметри стрілчастих культиваторних лап (рис.1)

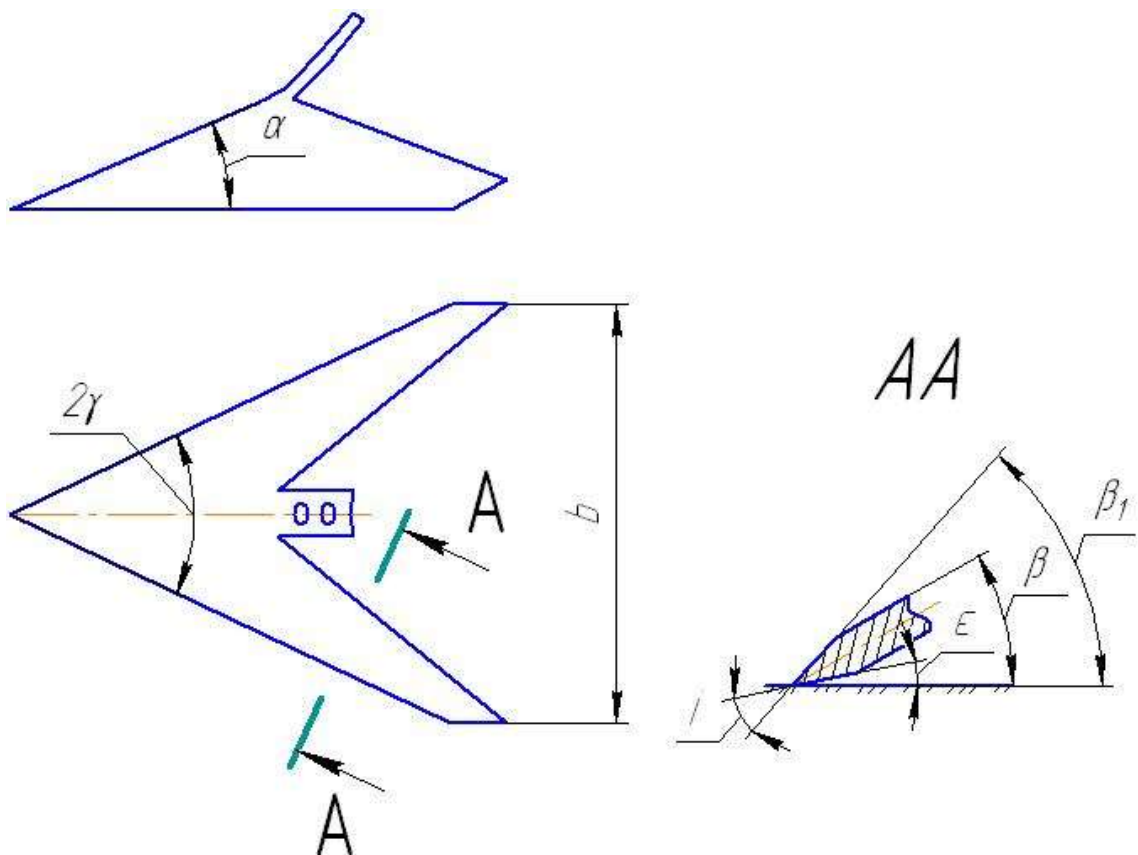


Рис. 1 – Параметри культиваторних лап

Кут розхилу лез 2γ – визначається аналітично.

Значення кутів α , β , i , ε – приймаються на підставі дослідних даних.

α – кут підйому грудей лапи.

Для полільних лап $\alpha = 9 \dots 10^\circ$;

Для універсальних $\alpha = 16 \dots 18^\circ$;

Для розпушувальних $\alpha = 40^\circ$.

β – кут кришення.

Для полільних лап $\beta = 15 \dots 16^\circ$;

Для універсальних лап $\beta = 18 \dots 25^\circ$;

Для розпушувальних лап $\beta = 25 \dots 32^\circ$.

i – кут загострення леза. $i = 12 \dots 15^\circ$.

ε – затилковий кут. $\varepsilon = 10 \dots 12^\circ$.

Кут різання $\beta_1 = i + \varepsilon$; з урахуванням прийнятих значень кутів i , ε маємо $\beta_1 = 22 \dots 27^\circ$.

Товщина леза лапи $t = 0,3 \dots 0,5$ мм, матеріал для виготовлення лапи – сталь 65Г.

2.3.2 Обґрунтування кута розхилу лез 2γ

Кут розхилу лез визначається з умови забезпечення різання бур'янів з ковзанням, а також скидання з леза вирваного або зрізаного бур'яну.

При зустрічі бур'яну з лезом він діє на лезо із силою R (рис. 2). Розклавши R на складові $R \cos \gamma$ – уздовж леза і $R \sin \gamma$ перпендикулярно лезу, бачимо, що складова $R \cos \gamma$ – прагне зрушити бур'ян по лезу, чому перешкоджає сила тертя F .

Сила

$$R \sin \gamma = N \quad (1)$$

притискає бур'ян до леза.

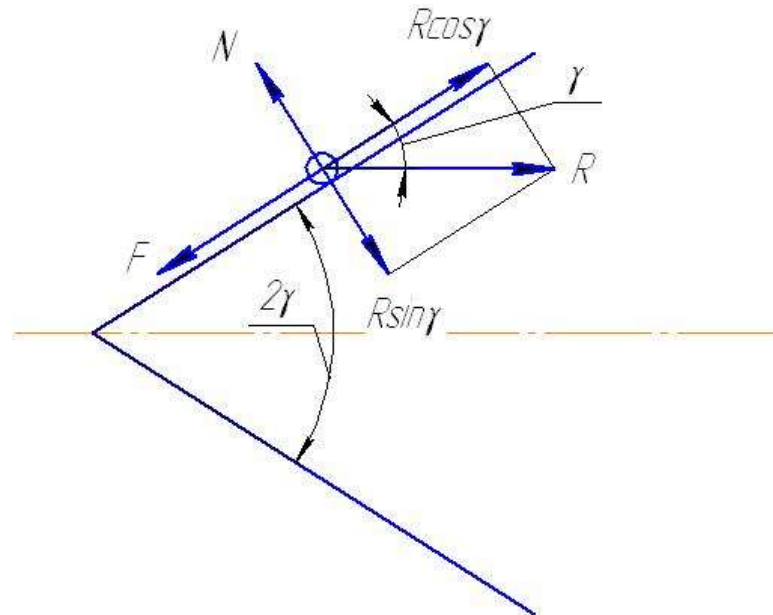


Рис. 2 – До визначення кута розхилу лез

Умови ковзання (скидання) бур'яну по лезу:

$$R \cos \gamma > F . \quad (2)$$

Оскільки $F = f N = f R \sin \gamma = \operatorname{tg} \varphi R \sin \gamma$,

де f – коефіцієнт тертя бур'яну об поверхню лапи;

φ – кут тертя бур'яну об поверхню лапи,

то умову ковзання можна записати так:

$$R \cos \gamma > \operatorname{tg} \varphi R \sin \gamma. \quad (3)$$

Розділивши обидві частини нерівності (3) на $R \sin \gamma$ одержимо:

$$\operatorname{ctg} \gamma > \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\text{або } \operatorname{tg} (90^\circ - \gamma) > \operatorname{tg} \varphi; \quad 90 - \gamma > \varphi.$$

Звідки

$$\gamma < 90^\circ - \varphi. \quad (4)$$

Практично значення φ значно збільшується за рахунок улучення ґрунту під бур'ян, тертя між бур'янами з ґрунтом. З урахуванням цього приймають $\varphi = 35 \dots 60^\circ$, а значення 2γ приймають:

$$2\gamma = 50 \dots 60^\circ \text{ – для ґрунтів високої в'язкості;}$$

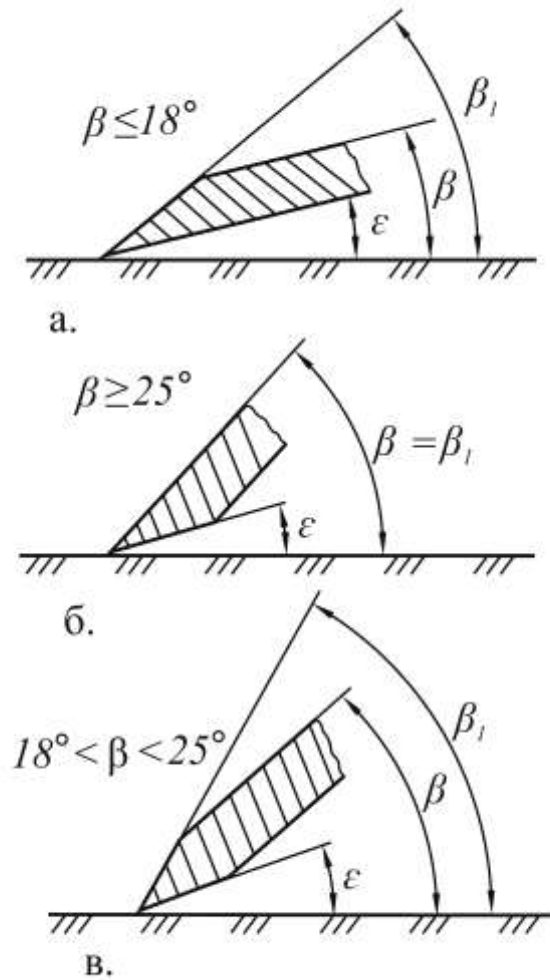
$$2\gamma = 60 \dots 70^\circ \text{ – для ґрунтів середньої в'язкості;}$$

$$2\gamma = 70 \dots 110^\circ \text{ – для ґрунтів малої в'язкості.}$$

По ДСТУ прийнято $2\gamma = 65^\circ$ для універсальних лап; $2\gamma = 54 \dots 58^\circ$ – для полільних лап.

2.3.3 Способи заточки лез культиваторних лап

Спосіб заточки лез культиваторних лап залежить від кута кришення β , який у свою чергу залежить від типу лапи (рис. 3).



- а – верхня заточка;
- б – нижня заточка;
- в – комбінована заточка.

Рис. 3 – Способи заточки лез культиваторних лап

Для полільних лап при $\beta \leq 18^\circ$ застосовується верхня заточка леза. При цьому не рекомендується нижня заточка через негативне значення кута ϵ і можливе виглиблювання лапи.

Для розпушувальних лап при $\beta \geq 25^\circ$ застосовується нижня заточка. При цьому не рекомендується верхня заточ-

ка, тому що виходить велике значення кута різання β_1 . Лапа йде на злам.

Для універсальних лап при $\beta = 18...25^\circ$ застосовується комбінована заточка.

В даний час широко застосовуються самозагострювальні лапи. З цією метою на нижній стороні крайки леза робиться фаска з наступним наплавленням твердим сплавом типу «сормайт».

2.3.4 Розміщення стрілчастих культиваторних лап на рамі

При розміщенні стрілчастих лап прагнуть виконати 3 умови:

- 1 – забезпечити надійне зрізання або виривання бур'янів;
- 2 – запобігти утворення суцільного вала ґрунту перед лапами;
- 3 – забезпечити найменшу металоємність.

Для забезпечення першої умови лапи встановлюються з перекриттям Δb по ширині захвата. При цьому перекриття Δb визначається з розрахункової схеми (рис. 4):

$$\Delta b = L \operatorname{tg} \psi, \quad (5)$$

де ψ – допустимий кут повороту повідка лапи при зносі в шарнірі, $\psi = 3...6^\circ$;

L – довжина повідка.

Для лап з короткими повідцями ($L < 600$ мм) приймають $\Delta b = 40 \dots 60$ мм, для лап з довгими повідцями ($L > 600$ мм) $\Delta b = 60 \dots 80$ мм.

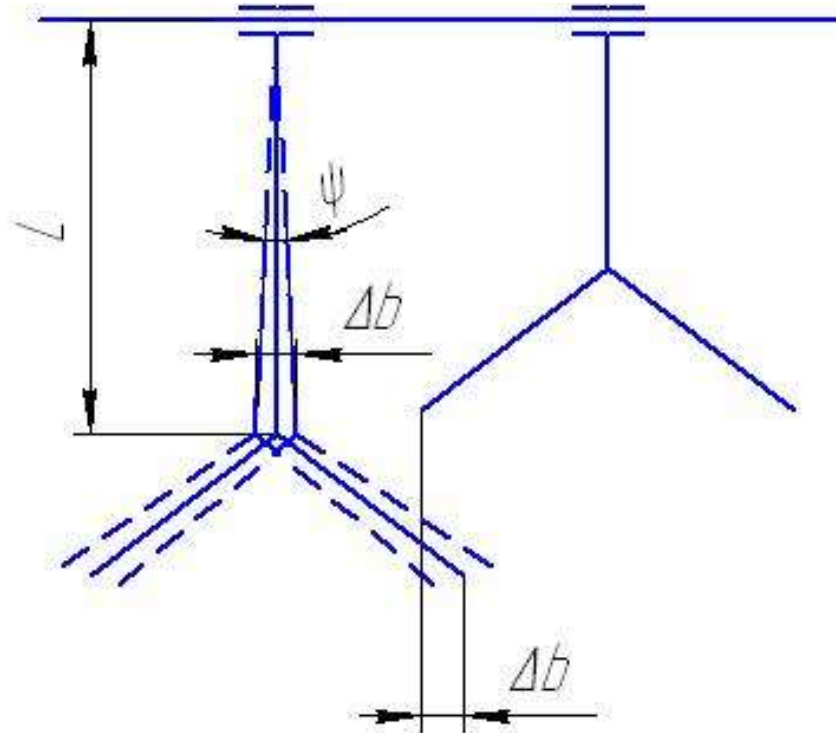


Рис. 4 – Розміщення полільних лап на рамі

Для того, щоб запобігти утворення суцільного вала з ґрунту (нагортання), що приводить до порушення технологічного процесу, розміщення лап у подовжньому напрямку (рис. 5) виконують з умови:

$$M \geq l_0 + l, \quad (6)$$

де M – відстань між рядами лап;

l_0 – виліт носка лапи;

l – довжина ділянки, що сколюється перед лапою.

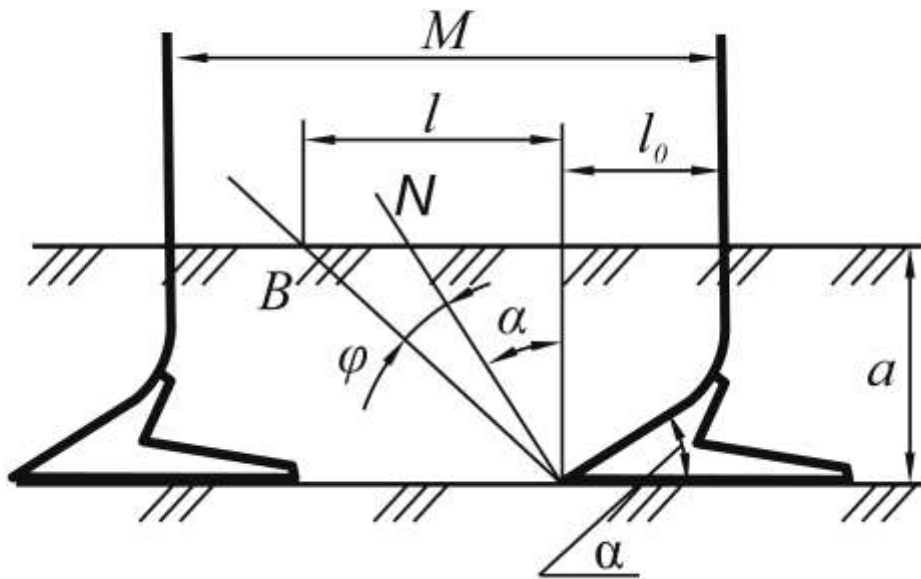


Рис. 5 – До визначення відстані між рядами лап

Якщо точка B перетину з лінією поверхні ґрунту буде занадто близька до передньої лапи, то сколений ґрунт на довжині l і ґрунт, що пересипається через передню лапу, з'єднується і тоді утворюється суцільний вал із ґрунту, що сприяє забиванню культиватора.

З розрахункової схеми (див. рис. 5) можна записати:

$$l = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (7)$$

де a – глибина обробки;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту об поверхню лапи;

α – кут підйому грудей лапи.

Тоді

$$M \geq l_0 + a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (8)$$

2.3.5 Розміщення розпушувальних лап у поперечно-му напрямку

Розміщення виконується з умови забезпечення перекриття зон розпушування поверхні поля. На дні борозни утворюються гребені необробленого ґрунту, грані яких нахилені під кутом θ внутрішнього тертя ґрунту.

На підставі дослідних даних $\theta = 50 \dots 60^\circ$.

Користуючись рисунком 6, ширину зони розпушування на поверхні поля можна виразити так:

$$b = b_0 + 2c, \quad (9)$$

де c – ширина зони розпушування з одного боку лапи, м;

b_0 – ширина стійки, м.

$$c = mn \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (10)$$

З поздовжньо-вертикальної проекції маємо:

$$mn = \frac{a}{\cos(\alpha + \varphi)}. \quad (11)$$

Тоді з урахуванням (10) і (11)

$$b = b_0 + \frac{2a}{\cos(\alpha + \varphi)} \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (12)$$

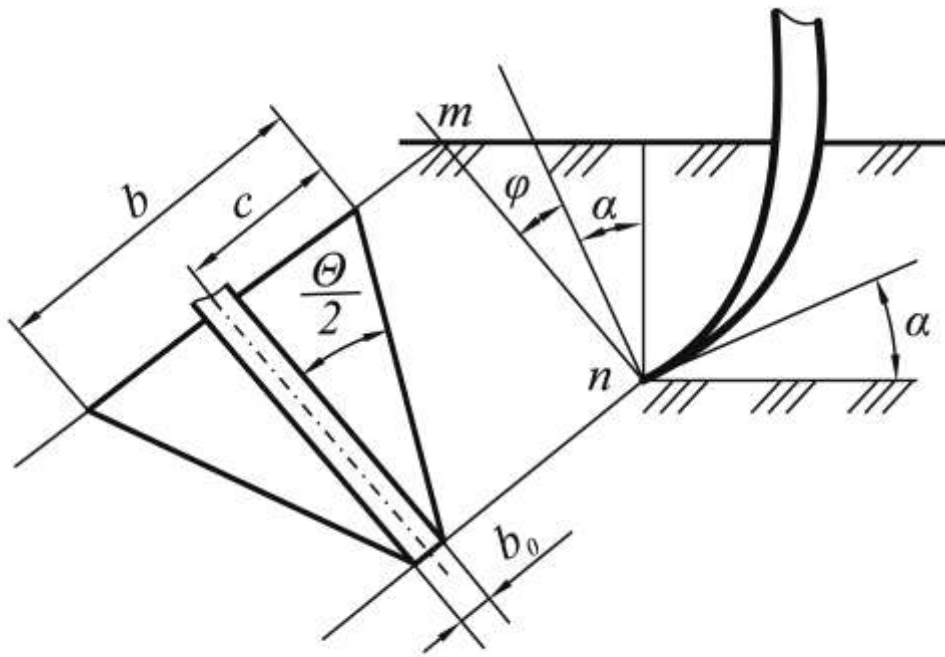


Рис. 6 – До визначення ширини захвату розпушувальної лапи

З поздовжньо-вертикальної проекції маємо:

$$mn = \frac{a}{\cos(\alpha + \varphi)}. \quad (11)$$

Тоді з урахуванням (10) і (11)

$$b = b_0 + \frac{2a}{\cos(\alpha + \varphi)} \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (12)$$

Якщо лапи розташовані в одному ряду, то для забезпечення перекриття відстань між ними $B < b$. Оскільки ця відстань дуже мала, і знаряддя забивається бур'янами, то лапи розташовують у два і більше рядів (рис. 7).

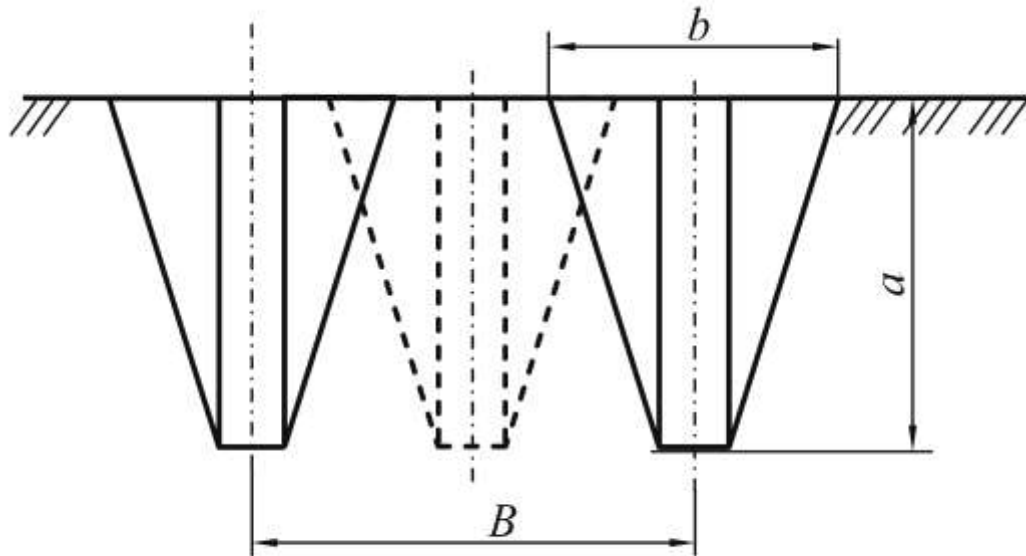


Рис. 7 – Визначення відстані між розпушувальними лапами в ряду

Очевидно, при дворядному розміщенні лап $b < B < 2b$,
при трирядному $2b < B < 3b$,

де B – відстань між лапами в ряду.

2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1 За допомогою лінійки, трикутника і транспортира визначити параметри зразка культиваторної лапи:

- ширину захвату b ;
- кут розхилу лез 2γ ;
- кут підйому грудей лапи α ;
- кут кришення β ;
- виліт носка лапи l_0 .

2.4.2 Визначити кількість стрілочастих і розпушувальних лап для культиваторів у відповідності з варіантом задання (таблиця 1). Стрілочасті лапи розташувати на рамі культиватора у два ряди, а розпушувальні лапи – у три ряди.

2.4.2.1 Визначається ширина захвата розпушувальної лапи (ширина зони деформації ґрунту в напрямку, перпендикулярному руху культиватора) за формулою (12)

$$b_p = b_0 + \frac{2a_p}{\cos(\alpha_p + \varphi)} \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \text{ мм}$$

де b_0 – конструктивна ширина лапи, мм;

a_p – глибина обробітку, мм;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту по поверхні лапи, град;

α_p – кут підйому грудей лапи, град.

2.4.2.2 Ширина захвату стрілочастої лапи першого ряду дорівнює її конструктивній ширині b_1 .

2.4.2.3 Тяговий опір другого ряду лап значно менший ніж першого, тому при установці стрілочастих лап у другому ряді встановлюють лапи з більшою шириною захвату ніж в першому.

Ширина захвату стрілочастої лапи другого ряду b_2 приймається на 30 мм більше ширини захвату стрілочастої лапи першого ряду і дорівнює $b_2 = b_1 + 30$ мм.

2.4.2.4 Перекриття Δb стрілчастих і розпушувальних лап визначається згідно схеми (рис. 4) за формулою (5)

$$\Delta b = L \operatorname{tg} \psi,$$

де L – довжина повідка, мм;

ψ – кут можливого відхилення повідка в горизонтальній площині.

2.4.2.5 Відстань між рядами стрілчастих і розпушувальних лап згідно схеми (рис. 5) відповідно визначається за формулами (8)

$$M_c \geq l_0 + a_c \cdot \operatorname{tg}(\alpha_c + \varphi);$$

$$M_p \geq l_0 + a_p \cdot \operatorname{tg}(\alpha_p + \varphi),$$

де l_0 – виліт носка лапи, мм.

2.4.2.6 При однаковій ширині захвату всіх лап культиватора кількість розпушувальних лап визначається за формулою

$$Z_p = \frac{B}{t_p} = \frac{B}{b_p - \Delta b}, \quad (13)$$

де B – конструктивна ширина захвату культиватора, мм;

$t_p = b_p - \Delta b$ – відстань між слідами розпушувальних лап, мм.

Кількість розпушувальних лап Z_p округляється до цілого більшого. Після цього уточнюється відстань між слідами розпушувальних лап:

$$t_p = \frac{B}{Z_p}. \quad (14)$$

Відповідно перекриття Δb_p розпушувальних лап буде:

$$\Delta b_p = b_p - t_p. \quad (15)$$

2.4.2.7 Відстань між стійками розпушувальних лап в ряду визначається за формулою

$$t'_p = t_p \cdot n, \quad (16)$$

де n – кількість рядів лап (для культиватора з розпушувальними лапами прийняти $n = 3$).

2.4.2.8 При різній ширині захвату стрілчастих культиваторних лап першого і другого рядів кількість лап визначається за формулою

$$Z_c = \frac{B}{t_c} = \frac{B}{\frac{b_1 + b_2}{2} - \Delta b}. \quad (17)$$

Кількість стрілчастих лап Z_c округляється до цілого непарного більшого. Кількість лап у першому ряді приймається на одну лапу менше, чим у задньому, тобто,

$Z_1 = \frac{Z_c}{2} - 0,5$, а $Z_2 = \frac{Z_c}{2} + 0,5$. Після цього уточнюється відс-

тань між слідами стрілчастих лап:

$$t_c = \frac{B}{Z_c}. \quad (18)$$

Відповідно перекриття Δb_c стрілочастих лап буде:

$$\Delta b_c = \frac{b_1 + b_2}{2} - t_c. \quad (19)$$

2.4.2.9 Відстань між стійками стрілочастих лап в ряду визначається за формулою

$$t'_c = t_c \cdot n, \quad (20)$$

де n – кількість рядів лап (для культиватора зі стрілочастими лапами прийняти $n = 2$).

Будуються схеми розміщення культиваторних лап на рамі використовуючи рисунки 8 та 9.

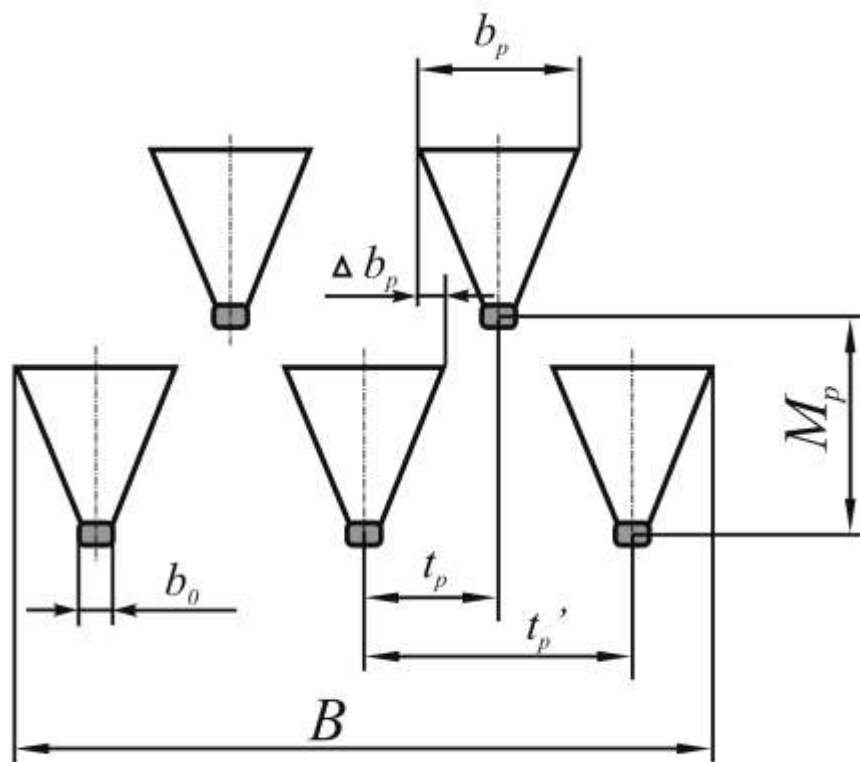


Рис. 8 – Схема розміщення розпушувальних лап на рамі культиватора

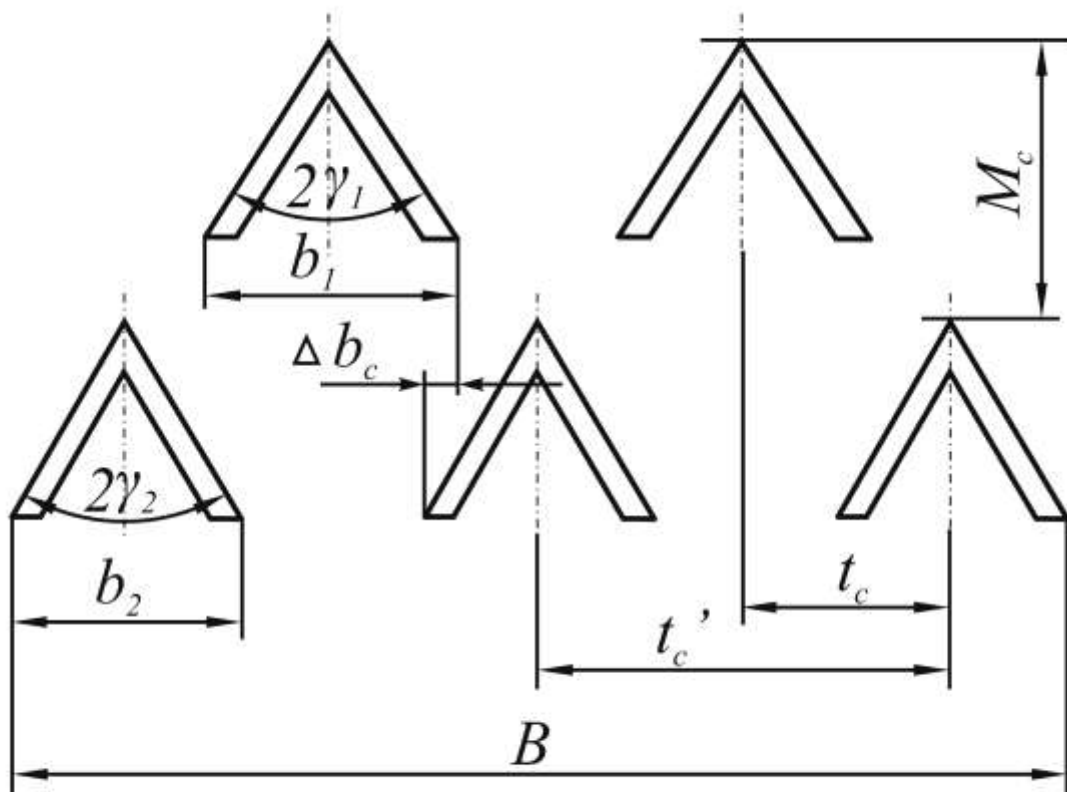


Рис. 9 – Схема розміщення стрілоччастих лап на рамі культиватора

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи.
2. Вихідні дані за варіантом.
3. Надати необхідні розрахунки.
4. Надати схему розміщення стрілоччастих культиваторних лап (на міліметровому папері формату А3).
5. Надати схему розміщення розпушувальних культиваторних лап (на міліметровому папері формату А3).

2.6 Контрольні питання

1. Основні параметри стрілочастих культиваторних лап.
2. Умови визначення кута розхилу лез культиваторних лап.
3. Умови визначення відстані між рядами культиваторних лап.
4. Визначення ширини зони розпушення розпушувальними лапами.
5. Способи заточки лез культиваторних лап.
6. Визначення перекриття культиваторних лап.

Таблиця 1 – Вихідні дані для побудови схеми культиватора.

Параметри	Номер варіанту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ширина захвату культиватора B , м	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Глибина обробітку стрілкою лапою a_c , см	10	11	12	8	9	10	9	10	11	8
Глибина обробітку розпушувальною лапою a_p , см	17	14	16	15	14	15	16	18	17	18
Кут зовнішнього тертя ґрунту по сталі φ , град	30	24	26	29	22	20	28	25	27	23
Кут внутрішнього тертя ґрунту θ , град	40	45	50	42	44	46	48	50	60	63
Кут можливого відхилення гряділя лапи ψ , град	3	4	5	4	3	4	5	3	4	3
Довжина повідка L , мм	500	800	700	500	750	650	550	550	800	750
Ширина розпушувальної лапи b_0 , мм	30	25	30	35	40	45	50	55	30	25
Ширина стрілкової лапи першого ряду b_1 , мм	180	200	250	260	270	300	310	320	350	370
Кут розхилу лез стрілкової лапи 2γ , град	65	65	64	62	60	58	57	56	55	54
Виліт носка лапи відносно стійки l_0 , мм	80	100	120	130	140	150	170	180	200	210
Кут підйому грудей стрілкової лапи α_c , град	18	17	16	15	12	11	10	9	12	12
Кут підйому грудей розпушувальної лапи α_p , град	39	41	40	41	39	40	40	39	41	40

Тестові завдання

1. Для полільних культиваторних лап застосовується

1. комбінована заточка
2. верхня заточка
3. нижня заточка
4. комбінована і верхня заточка

2. Нижня заточка культиваторних лап застосовується для

1. полільних лап
2. універсальних лап
3. одnobічних лап (бритв)
4. розпушувальних лап

3. Тяговий опір культиватора визначається по формулі

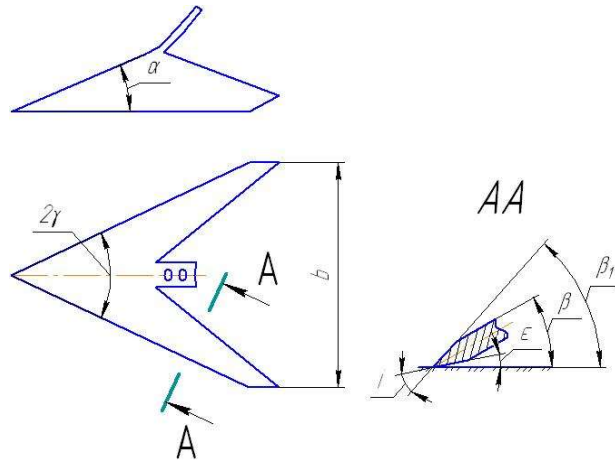
1. $P = K_1 \cdot a \cdot B$ де f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя;
2. $P = K_1 \cdot B$
3. $P = f + K_1 \cdot B$ K_1 – питомий опір знаряддя,
4. $P = f \cdot G + K_1 \cdot B$ B – ширина захвату культиватора,
 G – сила ваги культиватора;
 a – глибина обробітку ґрунту.

4. Культиваторні лапи з кутом розхилу лез 2γ 70...110° застосовуються на ґрунтах

1. суглинистих
2. піщаних
3. глинистих
4. супіщаних і суглинистих

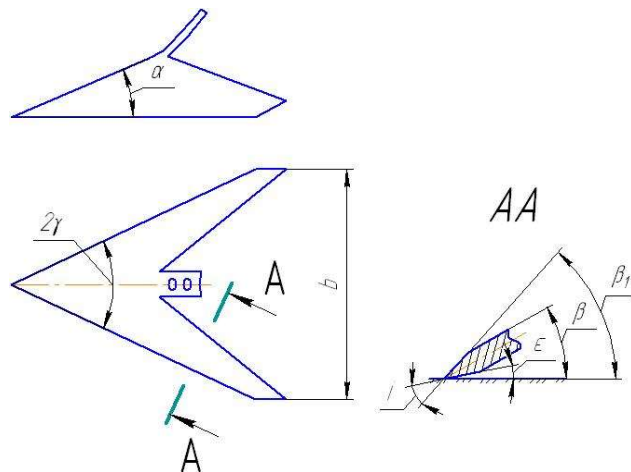
5. На рисунку на лапі культиватора кут α – це кут

1. затилковий
2. кришення
3. підйому грудей лапи
4. різання



6. На рисунку на лапі культиватора кут i – це кут

1. загострення
2. затилковий
3. різання
4. кришення

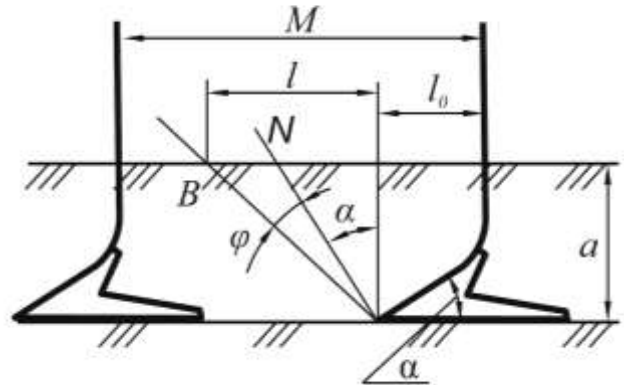


7. Кут розхилу лез стрілкової культиваторної лапи визначається з умови

1. перекриття зон розпушування
2. збільшення ширини захвату лапи
3. ковзання зрізаних бур'янів по лезу
4. самозагострювання леза лапи

8. Нормаль N до поверхні культиваторної лапи проводиться під кутом

1. 90° до поверхні лапи
2. α до поверхні лапи
3. φ до поверхні лапи
4. $\alpha + \varphi$ до поверхні лапи

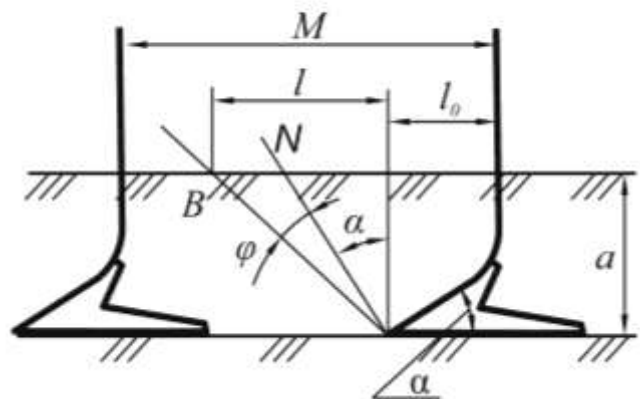


9. Розміщення розпушувальних лап у поперечному напрямку виконується з умови

1. пропускання крупних грудок ґрунту
2. симетричного розміщення
3. не забивання пожнивними залишками
4. перекриття зон розпушування

10. На рисунку φ – це

1. кут тертя ґрунту об поверхню лапи
2. кут внутрішнього тертя ґрунту
3. коефіцієнт тертя ґрунту об поверхню лапи
4. коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту



Лабораторна робота №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СФЕРИЧНИХ ДИСКІВ

Мета роботи – вивчення методики технологічного розрахунку сферичних дисків.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- дискові знаряддя;
- основні параметри сферичного диску.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- знаряддя, які мають робочі органи у вигляді сферичних дисків;
- основні параметри сферичних дисків.

1.2 Питання для самопідготовки

1 Чим відрізняються дискові плуги від дискових борін та луцильників?

2 Що таке «кут атаки»?

3 Які параметри сферичних дисків визначаються аналітично, а які приймаються на основі дослідних даних?

4 Який вплив має кут атаки сферичного диску на якість його роботи?

5 Чому дискові борони працюють у два сліду, а луцильники у один?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

1 Ознайомитись з основними відомостями з теорії сферичних дисків.

2 Визначити основні параметри сферичного диска згідно вихідних даних за варіантом призначеним викладачем (таблиця 1).

3 Згідно розрахунків та вихідних даних побудувати розрахункові схеми:

- 1) схему визначення параметрів сферичного диска;
- 2) схему розміщення дисків на рамі знаряддя.

4 По визначеним параметрах та з вихідних даних визначити тип дискового знаряддя.

5 Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

Диск сферичний;

прямокутник;

лінійка;

транспортир.

2.3 Теоретичні відомості

2.3.1 Загальні відомості

В даний час розрізняють такі дискові знаряддя:

1. дискові плуги, що мають незначне практичне застосування;
2. дискові луцильники;
3. дискові борони, які бувають польові, садові і важкі, двослідні (однослідні не одержали поширення);
4. дискові секції і приставки в складі комбінованих агрегатів. Останнім часом одержали значне поширення.

Крім того, диски використовують як сошники сівалок, загортачів картоплесаджалок і інших робочих органів і знарядь.

Особливість дискових плугів – індивідуальна система кріплення дисків, що встановлюються під кутом (кутом атаки) $40...45^{\circ}$ до напрямку руху і під кутом $15...25^{\circ}$ до вертикалі на окремих осях (валах), що обертаються в конічних або кулькових підшипниках. Така установка дозволяє домогтися не тільки обертального руху дисків, але і певного обrotу скибу. Відстань між дисками приблизно така ж, як і між лемішними корпусами – приблизно 600 мм. Відстань між дисками і кути їх установки, як правило, регулюють.

Перед дисками найчастіше встановлюють стійки-розпушувачі, що не тільки розпушують ґрунт, але й одночасно виконують роль польових дошок і сприяють гарному заглибленню дисків навіть на щільних ґрунтах.

У луцильниках і боронах на відміну від плугів диски збирають у батареї, тобто насаджують на квадратну вісь, чергуючи з розпірними катушками, і стягують гайкою.

2.3.1 Параметри сферичних дисків

Основні параметри сферичного диска показані на рисунку 1:

D – діаметр диска;

R – радіус сфери диска;

β – кут атаки;

$n-n$ – напрямок руху машини;

2α – центральний кут ;

i – кут загострення (заточення);

ε – задній кут (затилковий)

β_0 – кут різання;

H – висота конуса, по якому заточується робоча крайка диска;

δ – кут нахилу твірної конуса заточки до площини диска.

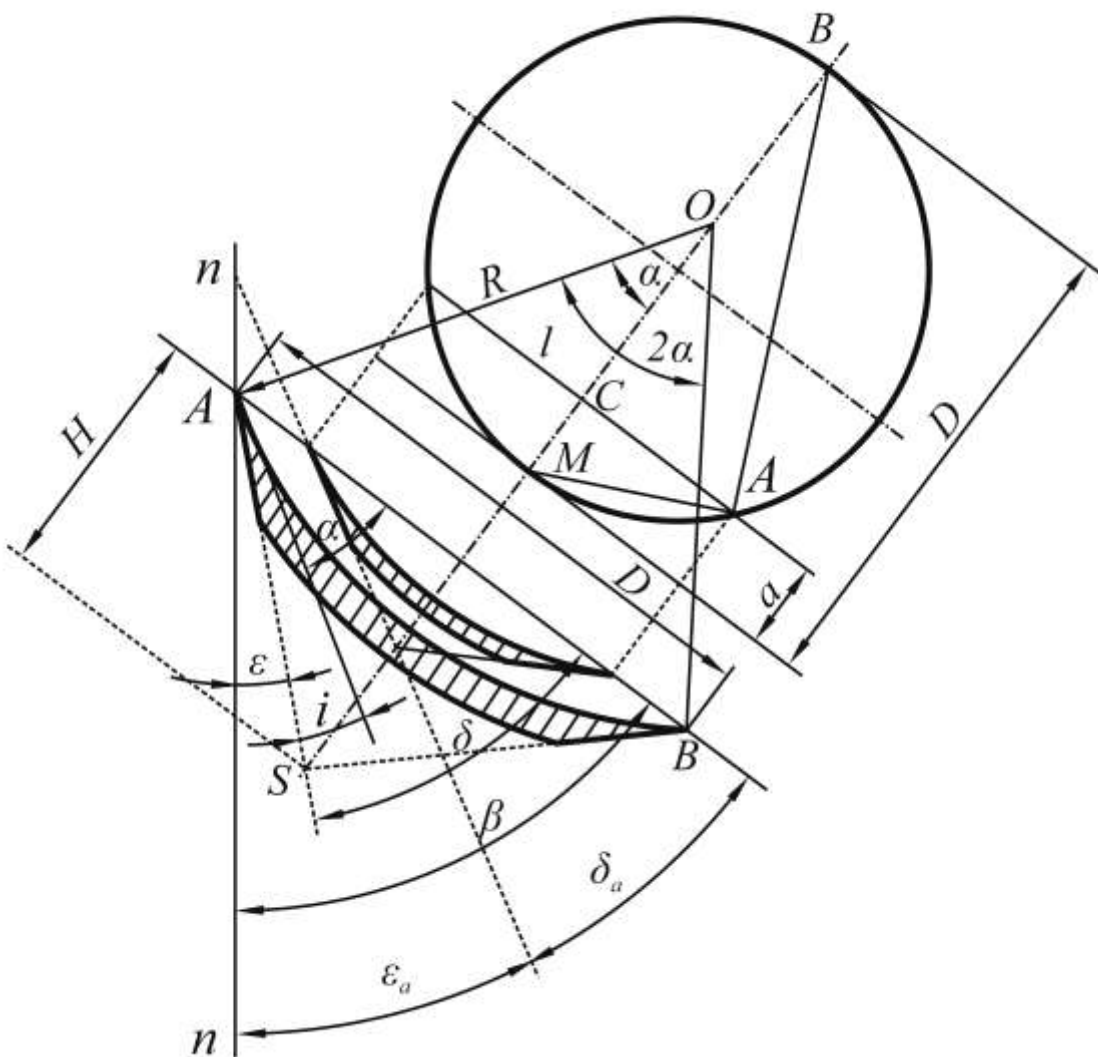


Рис. 1 – Основні параметри диска

Діаметр диска визначається зі співвідношення

$$D = k a , \quad (1)$$

де a – глибина обробки, $k = 3 \dots 4$ – для плугів, $k = 4 \dots 6$ – для луцильників, $k = 6 \dots 8$ – для борін.

Радіус сфери визначається з розрахункової схеми:

$$R = \frac{D}{2 \sin \alpha}. \quad (2)$$

Для визначення R необхідно визначити кут α . З розрахункової схеми :

$$\alpha = \delta - i, \quad (3)$$

де δ – кут нахилу твірної конуса, по якому заточується робоча крайка диска, до площини диска.

Для визначення δ скористаємося геометричним співвідношенням

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{D}{l} \operatorname{tg} \delta_a, \quad (4)$$

де l – довжина хорди диска на поверхні ґрунту при зануренні його на глибину обробки “ a ”.

l визначаємо з розрахункової схеми. Оскільки $\triangle ABC \sim \triangle ACM$ то $\frac{a}{0,5l} = \frac{0,5l}{D-a}$ звідки

$$l = 2\sqrt{a(D-a)}. \quad (5)$$

Для визначення δ_a скористаємося тим, що $\beta = \delta + \varepsilon = \text{const}$ не залежно від глибини занурення, тобто може змінюватися тільки кут ε при різному зануренні диска в ґрунт.

Тоді

$$\delta_a = \beta - \varepsilon_a, \quad (6)$$

де ε_a – затилковий кут на заданій глибині занурення.

Приймають $\varepsilon_a = 3...5^0$ – для плугів і луцильників,

$\varepsilon_a = 0...3^0$ – для борін.

Кут атаки залежить від типу дискового знаряддя:

$\beta = 45...50^0$ – для плугів,

$\beta = 30...35^0$ – для луцильників,

$\beta = 15...20^0$ – для борін.

Кут загострення $i = 10...25^0$, $i_{cp} = 15^0$.

Зі збільшенням кута β здатність розпушування знаряддя зростає і навпаки.

Висота конуса заточки крайки диска визначається з розрахункової схеми:

$$H = \frac{D}{2} \operatorname{tg} \delta. \quad (7)$$

2.3.2 Розміщення дисків на рамі дискових знарядь

При роботі за дисками утворюються борозенки глибиною «а», а між дисками – гребені висотою h ; відстань між борозенками L дорівнює відстані між гребенями; $L=C$.

З розрахункової схеми (рис. 2) $C = l_1 \sin \beta$, $L = b \cos \beta$,
(де b – відстань між дисками).

Тоді $l_1 \sin \beta = b \cos \beta$,

звідки $b = l_1 \operatorname{tg} \beta$.

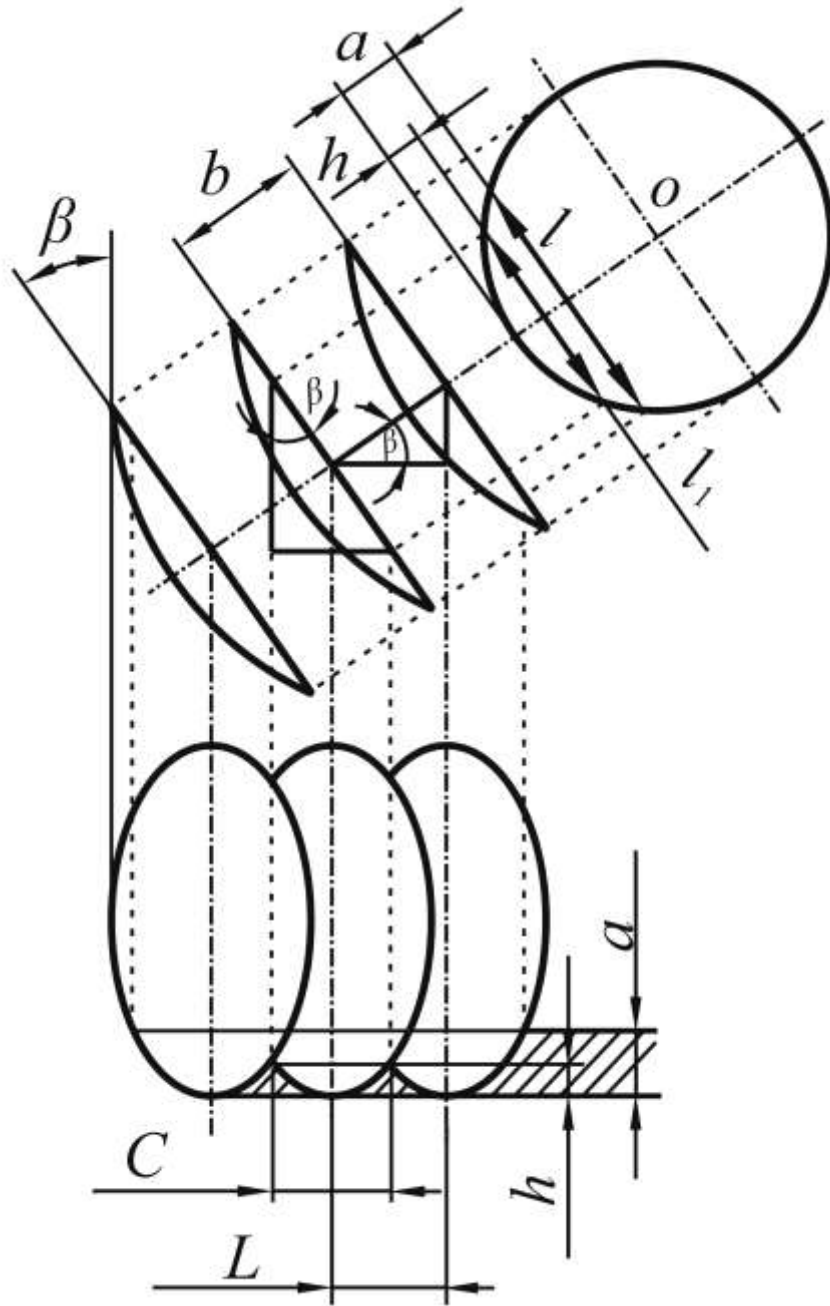


Рис. 2 – Схема розміщення дисків на рамі знаряддя

Визначаємо l_1 з розрахункової схеми: $\frac{h}{0,5l_1} = \frac{0,5l_1}{D-h}$

(на підставі подоби $\Delta ABC \sim \Delta ACM$),

звідки $l_1 = 2\sqrt{h(D-h)}$, тоді

$$b=2\sqrt{h(D-h)} \operatorname{tg} \beta . \quad (8)$$

Для дискових плугів висота гребенів $h \leq 0,4 a$;

для луцильників $h < 0,5 a$;

для борін $h = a$.

Осьова відстань між дисками на рамі в запобіганні забивання повинна бути не менш $1,5a$, тобто $b \geq 1,5a$. Воно приймається для плугів 600 мм; для луцильників $b = 170 \dots 250$ мм і для борін $b = 170$ мм. Щоб усунути забивання дисків ґрунтом, них розставляють на рамі дискових борін у два ряди і більш.

2.3.3 Стійкість ходу дискових знарядь.

2.3.3.1 Стійкість ходу дискових знарядь у горизонтальній площині.

При симетричному розташуванні дискових батарей (рис. 3а) і однакої глибини обробки рівнодіючі сили опору лівої $\Sigma R'_{xy}$ і правої $\Sigma R''_{xy}$ батарей рівні за значенням, а точка їх перетинання I лежить на подовжній осі симетрії луцильника. Рівнодіюча ΣR_{xy} проходить через точку причепа π , тому луцильник повинен рухатися прямолінійно. Однак мінливість технологічних властивостей ґрунту по ширині захвата викликає безперервні зміни значень і напрямків сил $\Sigma R'_{xy}$ і $\Sigma R''_{xy}$, що приводить до зсуву точки I , зміні сили ΣR_{xy}

і появі моменту, що прагне повернути луцильник у горизонтальній площині. Підвищенню стійкості ходу сприяють збільшення довжини причепа і навантаження на ходові колеса луцильника.

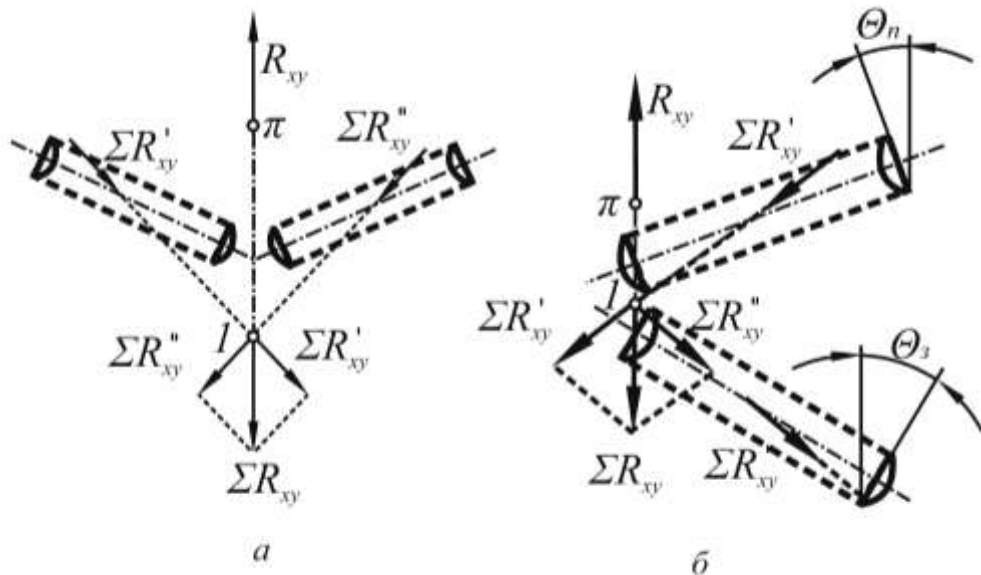


Рис. 3 – Умови рівноваги дискових знарядь: а – симетричного; б – несиметричного

Рівновага несиметричної садової борони (рис. 3б) може бути досягнуто правильним вибором лінії тяги без застосування польових дошок і коліс з ребордами. При певних значеннях кутів атаки β_n і β_z напрямком лінії тяги $\pi-I$ може збігатися з напрямком рівнодіючої ΣR_{xy} . При цьому $\beta_z > \beta_n$, таким чином стійкість ходу несиметричних дискових борін досягається правильним вибором кутів атаки передньої і задньої батарей.

2.3.3.2 Стійкість ходу дискових знарядь у вертикальній площині.

У вертикальній площині діюча на диски осьова сила R'' (рис. 4) розташована значно нижче осі батареї, унаслідок чого створює момент, що прагне заглибити той кінець батареї, до якого диски звернені своєю увігнутою стороною, і виглибити той, до якого вони звернені опуклою стороною. Щоб вирівняти батарею у вертикальній площині, користуються регулюванням рамки батареї в отворах знижувачів. Для цього кінець батареї, до якого диски звернені своєю увігнутою стороною, приєднуються до знижувачів вище, ніж протилежний.

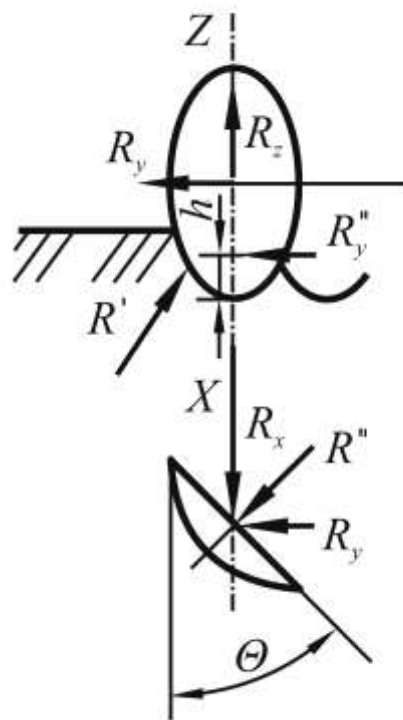


Рис. 4 – Сили, що діють на сферичний диск

2.4 Порядок виконання роботи:

2.4.1 Визначення основних параметрів сферичних дисків.

1. Діаметр диска визначають за формулою (1)

$$D = k a .$$

2. Кут нахилу твірної конуса заточки робочої крайки диска на рівні хорди диска при роботі його на глибині обробітку ґрунту a визначається за формулою (6)

$$\delta_a = \beta - \varepsilon_a .$$

3. Довжина хорди на поверхні ґрунту при роботі диска на глибині a визначається за формулою (5)

$$l = 2\sqrt{a(D - a)} .$$

4. Кут нахилу твірної конуса заточки на рівні діаметра диска визначається з формули (4)

$$\delta = \operatorname{arctg} \left(\frac{D}{l} \operatorname{tg} \delta_a \right)$$

5. Висота конуса заточки крайки диска визначається за формулою (7)

$$H = \frac{D}{2} \operatorname{tg} \delta .$$

6. Центральний кут сфери диска визначається за формулою (3)

$$\alpha = \delta - i .$$

7. Радіус сфери диска визначається за формулою (2)

$$R = \frac{D}{2 \sin \alpha} .$$

8. Відстань між дисками на рамі знаряддя визначається за формулою (8)

$$b = 2 \sqrt{h(D-h)} \operatorname{tg} \beta .$$

2.4.2 За результатами обчислень та з вихідних даних викреслюються схема сферичного диска та схема розташування дисків на рамі знаряддя. (рис. 1, 2).

2.4.3 За результатами обчислень визначається тип дискового знаряддя.

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи.
2. Надати розрахунок параметрів диска згідно вихідних даних.
3. Надати схему сферичного диска до визначення параметрів диска.
4. Надати схему розміщення дисків на рамі знаряддя.
5. Схеми виконуються в масштабі 1:5 та 1:10 на міліметровому папері формату А3 та А4.

2.6 Контрольні питання

1. Чим відрізняються дискові плуги від дискових борін та лушпильників?
2. Які параметри сферичних дисків визначаються аналітично, а які приймаються на основі дослідних даних?
3. Який вплив має кут атаки сферичного диску на якість його роботи?

Таблиця 1 - Вихідні дані до розрахунку

Вариант	Значення вихідних даних					
	a , см	k	β , град.	ε_a , град.	i , град.	h , см
1	8	7	25	3	10	8
2	10	6	26	4	11	10
3	12	4	27	5	12	12
4	18	4	30	3	13	9
5	20	3	45	4	14	10
6	22	3	47	5	15	8
7	24	3	48	3	16	9
8	26	3	50	4	17	10
9	12	6	15	2	16	12
10	10	6	16	0	15	10
11	10	6	20	3	14	10
12	10	7	18	1	12	10
13	20	4	50	4	11	10
14	22	4	45	5	10	9
15	24	4	46	4	15	10

Тестові завдання

1. Кут атаки диска дискового луцильника дорівнює

1. 12...21°
2. 30...35°
3. 40...45°
4. 50...60°

2. Кут атаки диска легкої дискової борони дорівнює

1. 40...45°
2. 12...21°
3. 30...35°
4. 50...60°

3. Кут атаки сферичного диска 40...45° встановлюється для

1. дискового плуга
2. дискового луцильника
3. легкої дискової борони
4. важкої дискової борони

4. Кут атаки сферичного диска 12...21° встановлюється для

1. всі відповіді не вірні
2. дискового луцильника
3. дискового плуга
4. легкої дискової борони

5. Кут атаки дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь це

1. кут між віссю обертання диска і напрямком поступального руху знаряддя
2. кут між площиною обертання диска і напрямком поступального руху знаряддя
3. кут між віссю і площиною обертання диска
4. кут між площиною обертання диска і поперечною площиною

6. Параметри сферичних дисків ґрунтообробних машин, які приймаються на основі дослідних даних:

1. кут загострення, радіус сфери диска, задній кут
2. діаметр диска, кут атаки, задній кут
3. кут загострення, кут атаки, задній кут
4. кут загострення, кут атаки, діаметр диска

7. Параметри сферичних дисків ґрунтообробних машин, які визначаються аналітично:

1. кут атаки, радіус сфери диска
2. діаметр диска, радіус сфери диска
3. діаметр диска, кут атаки;
4. діаметр диска, задній кут, радіус сфери диска

8. Діаметр сферичного диска визначається по формулі

$$1. D = k \cdot a$$

$$2. D = k / a$$

$$3. D = k \cdot a^2$$

$$4. D = k / a^2$$

де k – коефіцієнт у залежності від виду знаряддя;
 a – глибина обробки.

9. Радіус сфери сферичного диска визначається по формулі

$$1. R = \frac{D}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$2. R = \frac{D}{2}$$

$$3. R = \frac{D}{2 \cdot \sin 2\alpha}$$

$$4. R = \frac{D}{\sin 2\alpha}$$

де D – діаметр диска;
 2α – центральний кут.

10. Висота конуса заточки крайки сферичного диска визначається по формулі

$$1. H = D \cdot \sin \delta$$

$$2. H = D \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$3. H = \frac{D}{2} \cdot \sin \delta$$

$$4. H = \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta$$

де D – діаметр диска;
 δ – кут нахилу твірної конуса заточки до площини диска.

Лабораторна робота №7

ПРОЕКТУВАННЯ ЗУБОВОГО ПОЛЯ БОРОНИ

Мета роботи – вивчення методики проектування зубового поля борони.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- призначення зубових борін і їх типи;
- агротехнічні вимоги щодо роботи борони;
- регулювання зубових борін.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- призначення зубових борін і їх типи;
- регулювання зубових борін.

1.2 Питання для самопідготовки

1 Які бувають борони в залежності від навантаження на один зуб?

2 Які агротехнічні вимоги ставляться щодо роботи борони?

3 Як установити зубову борону на задану глибину обробки?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

2.1.1 Ознайомитись з основними відомостями про конструкцію, параметри і проектування зубових борін.

2.1.2 Визначити параметри учбового зразка зубової борони.

2.1.3 Спроекувати ланку зубової борони, визначити форму та конструктивні розміри борони.

2.1.4 Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

Борона зубова;

ваги ВТ 8908-100У;

прямокутник;

лінійка.

2.3 Теоретичні відомості

Зубові борони переважно застосовують для розпушення верхніх шарів ґрунту після оранки або культивації, знищення бур'янів а також загортання насіння та добрив при сівбі в розкид.

В залежності від навантаження на один зуб, борони бувають: легкі ($q < 10$ Н/зуб); середні ($q = 10 \dots 15$ Н/зуб) та важкі ($q > 15$ Н/зуб). Основними вимогами при проектуванні зубового поля борін є:

1. Для рівномірного обробітку ґрунту та стійкості ходу зуби борони необхідно розміщувати так, щоб кожний зуб мав свою самостійну борозну та щоб відстань між окремими борознами була однаковою.

2. Щоб зменшити ймовірність забивання борони скибками ґрунту та рослинними залишками, зуби повинні розміщуватися як можна далі один від одного.
3. При забезпеченні суцільного розпушування поля кількість зубів повинна бути мінімальною, а борона як можна коротша.
4. Для забезпечення стійкості ходу борони сила тяги повинна проходити через слід центру ваги борони.

Ці вимоги можуть бути виконанні, якщо розстановка зубів борони виконується по методу інженера Розмана С.Д. (1934 р.), тобто, в точках перетину розгортки гвинтових ліній двох багатходових гвинтів – основного (правого) та допоміжного (лівого).

При проектуванні зубового поля борони користуються двома методами:

1. Зуби розміщують в точках перетину розгортки гвинтових ліній з твірними циліндра гвинта (поперечними планками), розташованими на однаковій відстані одна від одної. При цьому отримують широко розповсюджену борону «зигзаг», яка складається з повздовжніх та поперечних планок, з'єднаних між собою зубами, вставленими в отвори в місцях їх перетину. Повздовжні планки виконують по розгортках основного та

допоміжного гвинтів, від чого вони мають зигзагоподібну форму. Поперечні планки прямолінійні.

2. Зуби розміщують в точках перетину розгорток гвинтових ліній правого та лівого гвинтів. В точках перетину планок закріплюються зуби борони. В передній та задній частинах борони всі планки з'єднують поперечними штабами. За такою схемою виготовляють сучасні важкі та середні швидкісні зубові борони.

При цьому в обох випадках визначення кількості заходів основного та допоміжного гвинтів, кількості поперечних планок, або кількості поперечних рядів зубів виконується з умови:

$$k + k_1 = M, \quad (1)$$

де k, k_1 – кількість заходів правого та лівого гвинтів відповідно;

M – кількість рядів планок, або поперечних рядів зубів;

k, k_1 – цілі числа не кратні M .

2.4 Порядок виконання роботи:

2.4.1 Накреслити схему та зняти характеристику з учебного зразка зубової борони. При цьому визначити:

Q – силу ваги борони;

M – кількість поперечних рядів зубів борони;

b – відстань між зубами в ряду;

a – відстань між слідами зубів за формулою

$$a = \frac{b}{M}; \quad (2)$$

h – відстань між рядами зубів;

N – кількість зубів в поперечному ряді;

k, k_1 – кількість заходів основного та допоміжного багатоходових гвинтів;

q – навантаження на один зуб;

– габаритні розміри та тип зубової борони.

2.4.2 Спроекувати зубове поле борони згідно варіанту, запропонованого викладачем з таблиці 1 (масштаб 1:10 або 1:20).

В таблиці 1 наведенні такі вихідні дані:

a – відстань між слідами зубів борони;

M – кількість поперечних планок для борони «зигзаг», або кількість поперечних рядів зубів для швидкісних борін;

k – кількість заходів основного багатоходового гвинта;

h – відстань між поперечними планками або між поперечними рядами зубів;

q – навантаження на один зуб;

P_0 – тяговий опір одного зуба;

l – довжина зуба;

N – кількість зубів в поперечному ряді.

Проектування зубового поля борони проводити в такій послідовності:

2.4.2.1. На міліметровому папері (формат А4) нанести твірні 1-1, 2-2 і т.д. в кількості $(M+1)$ на відстані h одна від одної (рис. 1, 3).

2.4.2.2. Визначити відстань між зубами в ряду:

$$b = M \cdot a. \quad (3)$$

2.4.2.3. Визначити крок основного гвинта:

$$t = b \cdot k. \quad (4)$$

2.4.2.4. Визначити кількість заходів допоміжного гвинта:

$$k_1 = M - k. \quad (5)$$

2.4.2.5. Визначити крок допоміжного гвинта:

$$t_1 = b \cdot k_1. \quad (6)$$

2.4.2.6. На твірній 1-1 відкласти відрізки $AB=t$; $BC=t_1$, розділивши їх на відповідну кількість рівних частин b згідно формули (3).

2.4.2.7. З точки B провести перпендикуляр BD , а точку D перетину його з твірною $1'-1'$ з'єднати з точками A і C .

Прямі лінії AD і CD є розгортки гвинтових ліній основного та допоміжного гвинтів. Праворуч та ліворуч від точки D провести кілька прямих паралельних AD і CD на відстані b одна від одної.

Зубове поле, яке побудоване на $M+1$ твірних являє собою повну розгортку гвинта, в якій верхня твірна $1'-1'$ повторює твірну $1-1$. Тому M планок повинні бути розташовані на M твірних.

2.4.2.8. Побудувати контур ланки борони, розташовуючи середню частину повздовжніх планок між другою та четвертою твірними вздовж розгорток гвинта з меншим кроком. Короткі частини повздовжніх планок повинні бути розташовані вздовж розгорток гвинта з більшим кроком. Для перевірки правильності побудови зубового поля необхідно спроектувати на твірну $1-1$ всі точки, в яких мають бути закріплені зуби борони. Якщо по одному сліду проходить один зуб та відстань між окремими борознами однакова і дорівнює a , то форма ланки відповідає поставленим вимогам.

Крайні ряди зубів борони менше схильні до забивання рослинними залишками. Тому для зменшення габаритів бо-

рони типу «зигзаг» вони можуть бути розташовані ближче до середніх на відстань h_1 (див. таблицю 1). Для цього необхідно провести додатково твірні 1"-1" та 5"-5" на відстані h_1 (див. рис. 1) та спроектувати на них точки розташування зубів з 1-ї та 5-ї твірних.

2.4.2.9. Визначити загальну кількість зубів на ланці борони за формулою

$$Z = M \cdot N. \quad (7)$$

2.4.2.10. Визначити конструктивну ширину ланки зубової борони:

$$B_0 = (Z - 1) \cdot a. \quad (8)$$

2.4.2.11. Визначити експлуатаційну ширину ланки зубової борони:

$$B = B_0 + a, \text{ або } B = Z \cdot a. \quad (9)$$

2.4.2.12. Визначити довжину ланки борони за формулами:

– для борони «зигзаг»

$$L = h(M - 3) + 2h_1; \quad (10)$$

– для швидкісної борони

$$L = h(M - 1). \quad (11)$$

2.4.2.13. Для стійкого ходу борони необхідно, щоб лінія тяги проходила через слід центру ваги борони (рис. 2, 4). Ця умова забезпечується при

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot l}{L}\right). \quad (12)$$

Тоді потрібна вага борони визначається за формулою

$$G = q \cdot Z + p_0 \cdot Z \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ або } G = q \cdot Z + p_0 \cdot Z \cdot \frac{2 \cdot l}{L}. \quad (13)$$

2.5 Зміст звіту

1. Зміст роботи.
2. Вихідні дані за варіантом.
3. Параметри учбового зразка зубової борони.
4. Необхідні розрахунки.
5. Кресленик контуру ланки борони (формат А4).
6. Визначення основних параметрів ланки борони.
7. Схеми сил, які діють на борону.

2.6 Контрольні питання

1. Які типи борін Ви знаєте?
2. Які вимоги ставляться при проектуванні зубового поля борони?

3. Які методи проектування зубового поля борони Ви знаєте?

4. Який зв'язок між кількістю поперечних планок і кількістю заходів основного і допоміжного гвинтів?

5. В чому особливість побудови зубового поля борони «зигзаг»?

6. Від чого залежить потрібна вага борони?

Таблиця 1 - Вихідні дані до розрахунку

№ вар.	Тип борони	k	M	N	h , мм	a , мм	q , Н/зуб	P_0 , Н/зуб	l , мм
1	Легка «зигзаг»	3	5	4	200	25	9	12	120
2	Легка «зигзаг»	2	5	5	300	35	8	10	100
3	Важка шв.	3	5	5	325	50	16	45	150
4	Важка шв.	2	5	4	375	60	20	50	200
5	Середня шв.	3	5	5	250	40	12	22	140
6	Середня «зигзаг»	2	5	4	275	45	15	25	175
7	Легка «зигзаг»	3	5	6	300	25	7	12	125
8	Легка «зигзаг»	2	5	6	275	30	6	15	150
9	Середня «зигзаг»	3	5	5	275	40	14	24	175
10	Середня шв.	2	5	4	300	50	13	25	200
11	Важка шв.	3	5	4	450	75	20	45	250
12	Важка шв.	2	5	5	400	70	18	47	275
13	Легка «зигзаг»	3	5	6	300	30	9	15	125
14	Легка «зигзаг»	2	5	5	250	25	10	15	100
15	Середня шв.	3	5	5	350	45	13	21	125
16	Важка шв.	2	5	5	400	55	20	45	300
17	Важка шв.	3	5	4	450	70	17	48	250
18	Легка «зигзаг»	2	5	6	275	25	8	12	120
19	Легка «зигзаг»	3	5	5	225	30	10	14	125
20	Важка шв.	2	5	4	425	60	16	45	250
21	Важка шв.	3	7	5	400	55	18	49	225
22	Середня шв.	2	5	6	325	50	15	24	175
23	Середня шв.	3	5	5	300	40	14	23	200
24	Легка «зигзаг»	2	5	6	300	25	6	11	130
25	Легка «зигзаг»	3	5	5	250	30	7	14	140
26	Важка шв.	3	7	5	400	50	20	50	200
27	Важка шв.	5	7	4	350	60	18	45	225
28	Легка «зигзаг»	4	7	6	250	25	7	12	125
29	Легка «зигзаг»	2	7	5	275	30	9	15	150
30	Середня шв.	3	7	6	250	40	12	20	150

$h_1 = 100$ мм – для легких борін;

$h_1 = 150$ мм – для середніх борін.

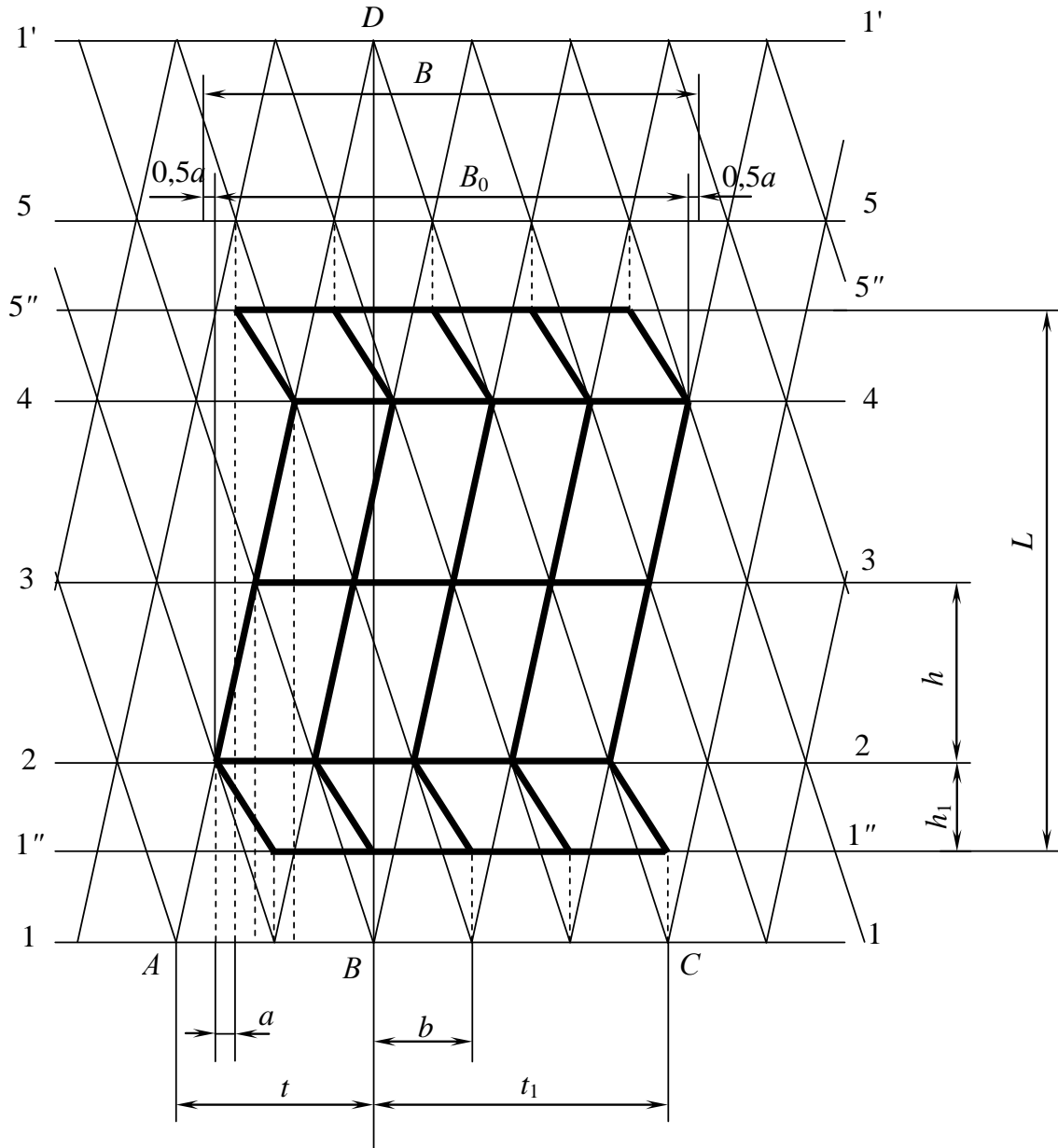


Рис. 1 – Схема розташування зубів на рамі борони «зигзаг»

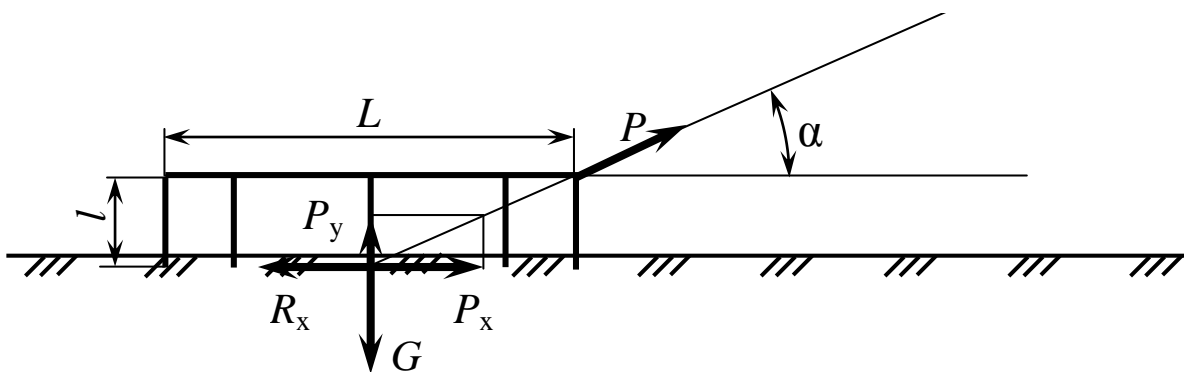


Рис. 2 – Схема сил, що діють на зубову борону «зигзаг»

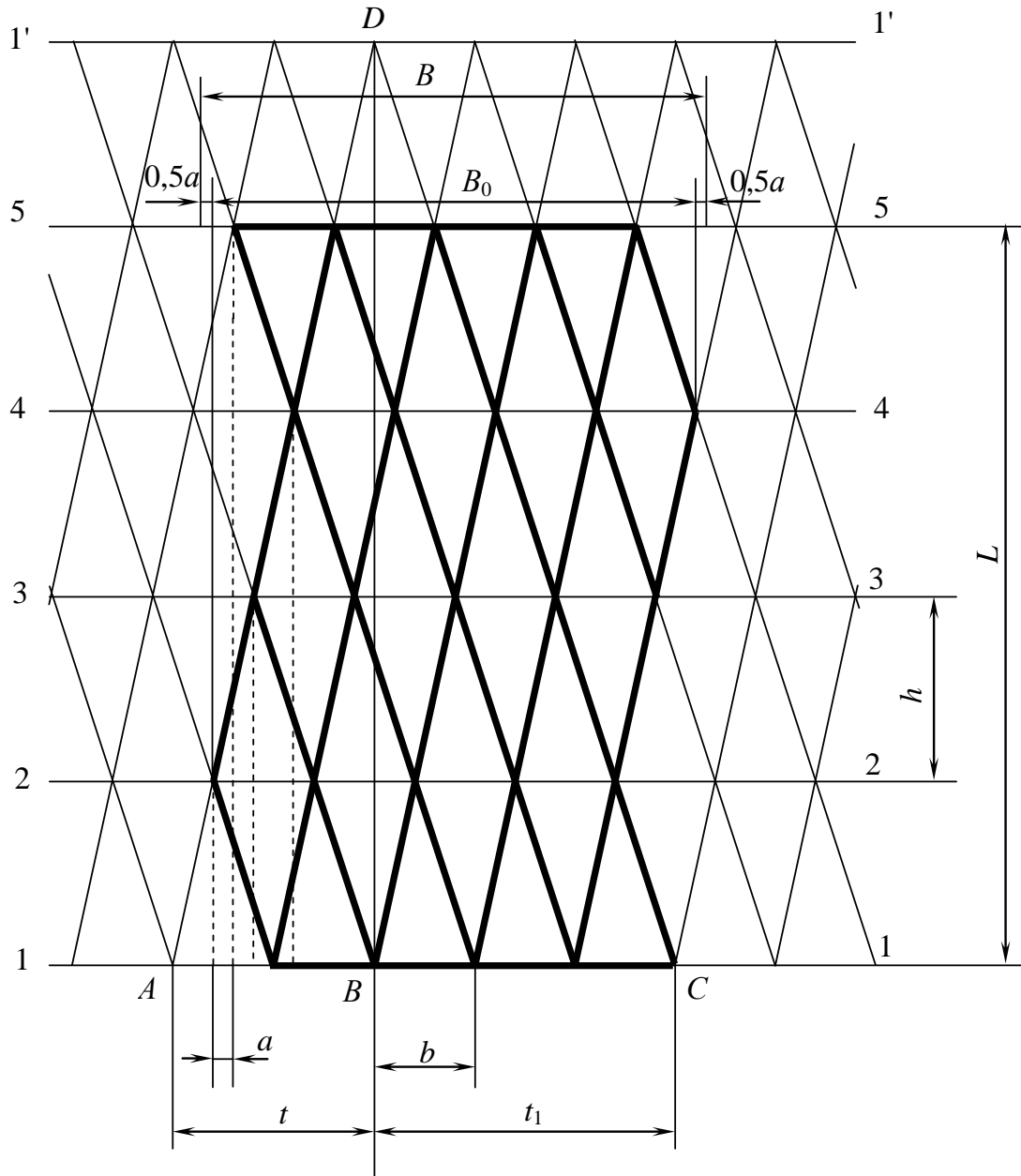


Рис. 3 – Схема розташування зубів на рамі важкої борони

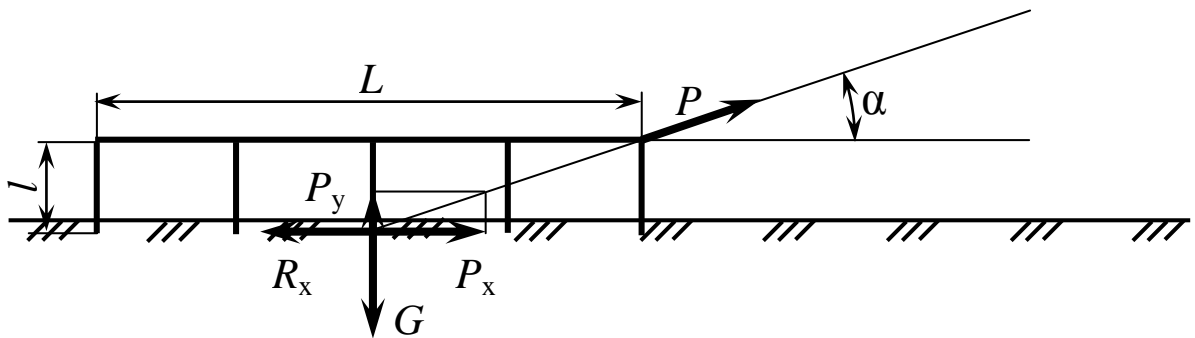


Рис. 4 – Схема сил, що діють на важку зубову борону

Тестові завдання

1. Навантаження на один зуб середньої борони складає

1. 15...20 Н
2. 10...15 Н
3. < 10 Н
4. > 20 Н

2. Кількість поперечних рядів зубів борони визначається з умови

1. $M = k + k_1$ де k – кількість заходів основного багатозахідного гвинта;
2. $M = k + k_1 + 1$ багатозахідного гвинта;
3. $M = k + k_1 - 1$ k_1 – кількість заходів допоміжного багатозахідного гвинта.
4. $M = k - k_1$ го багатозахідного гвинта.

3. Правильно прийняті значення k і k_1 у відповіді під номером

1. $k = 2; k_1 = 4$ де k – кількість заходів основного багатозахідного гвинта;
2. $k = 1; k_1 = 3$ багатозахідного гвинта;
3. $k = 2; k_1 = 3$ k_1 – кількість заходів допоміжного багатозахідного гвинта.
4. $k = 4; k_1 = 1$ го багатозахідного гвинта.

4. Відстань між зубами в ряду борони визначається по формулі

1. $b = M \cdot a + 1$ де M – кількість поперечних рядів зубів борони;
2. $b = M / a$ зубів борони;
3. $b = M / a + 1$ a – відстань між слідами зубів.
4. $b = M \cdot a$

5. Крок багатозахідного гвинта при проектуванні зубового поля борони визначається по формулі

1. $t = b / k$ де b – відстань між зубами в ряду;
2. $t = b \cdot a$ a – відстань між слідами зубів;
3. $t = a \cdot k$ k – кількість заходів багатозахідного
4. $t = b \cdot k$ гвинта.

6. Загальна кількість зубів на ланці борони визначається по формулі

1. $Z = M \cdot a + 1$ де M – кількість поперечних рядів зубів борони;
2. $Z = M \cdot N$ a – відстань між слідами зубів;
3. $Z = M \cdot N + 1$ N – кількість зубів у поперечному ряді.
4. $Z = M \cdot a$

7. Конструктивна ширина ланки зубової борони визначається по формулі

1. $B_0 = (Z+1) \cdot a$
2. $B_0 = (Z-1) \cdot a$ де Z – загальна кількість зубів на ланці борони;
3. $B_0 = Z \cdot a$
4. $B_0 = Z \cdot a + 1$ a – відстань між слідами зубів.

8. Експлуатаційна ширина ланки зубової борони визначається по формулі

1. $B = B_0 + a$
2. $B = B_0 \cdot a$ де B_0 – конструктивна ширина ланки зубової борони;
3. $B = B_0 - a$
4. $B = B_0 \cdot a + 1$ a – відстань між слідами зубів.

9. Довжина ланки середньої швидкісної зубової борони визначається по формулі

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. $L = h \cdot (M-3) + h_1$ 2. $L = h \cdot (M-1)$ 3. $L = h \cdot (M+3) + h_1$ 4. $L = h \cdot (M+1)$ | <p>де M – кількість поперечних рядів зубів борони;</p> <p>h – відстань між середніми поперечними рядами зубів;</p> <p>h_1 – відстань між крайніми поперечними рядами зубів.</p> |
|--|--|

10. Довжина ланки середньої зубової борони «зигзаг» визначається по формулі

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. $L = h \cdot (M-3) + 2 \cdot h_1$ 2. $L = h \cdot (M+1)$ 3. $L = h \cdot (M+3) + 2 \cdot h_1$ 4. $L = h \cdot (M-1)$ | <p>де M – кількість поперечних рядів зубів борони;</p> <p>h – відстань між середніми поперечними рядами зубів;</p> <p>h_1 – відстань між крайніми поперечними рядами зубів.</p> |
|--|--|

Лабораторна робота №8
РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ГРУНТООБРОБНОЇ ФРЕЗИ

Мета роботи – закріпити теоретичні знання по розрахунку ґрунтообробної фрези;

– одержати практичні навички розрахунку ґрунтообробної фрези.

1 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- призначення ґрунтообробних фрез і їх типи;
- агротехнічні вимоги щодо роботи ґрунтообробної фрези;
- робочі органи фрез;
- процес роботи ґрунтообробної фрези.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- призначення ґрунтообробних фрез і їх типи;
- робочі органи фрез.

2. Питання для самопідготовки

2.1 Які бувають ґрунтообробні фрези за призначенням?

2.2 Які показники характеризують якість роботи ґрунтообробної фрези?

2.3 Які ножі ставляться на ґрунтообробних фрезах?

2 Вказівки до виконання роботи

2.1 Програма роботи

- вивчити теорію руху ножа ґрунтообробної фрези;
- обґрунтувати оптимальні умови заглиблення ножа ґрунтообробної фрези;
- визначити параметри ґрунтообробної фрези;
- накреслити траєкторію руху двох суміжних ножів фрези у відповідності до варіанту;
- визначити максимальну висоту гребенів при роботі ґрунтообробної фрези;
- скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця:

- циркуль;
- лінійка;
- трикутник;
- транспортир;

2.3 Теоретичні відомості

Робочі органи фрез здійснюють складний рух: поступальний (переносний) разом з машиною зі швидкістю V_m та обертальний (відносний) з коловою швидкістю ωR . Абсо-

лютна траєкторія руху кожного ножа фрези є подовжена циклоїда (трохоїда), форма якої залежить від співвідношення колової та поступальної швидкості ножа фрези, або величини показника кінематичного режиму роботи фрези λ :

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_m}, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість барабану фрези, рад/с;

R – радіус барабану, м;

V_m – швидкість машини, м/с.

Для того щоб ножі фрези входили в ґрунт різальною кромкою повинна виконуватись умова: $\lambda > 1$. Оптимальні умови роботи фрези забезпечуються при $\lambda = 8...10$.

З рисунку 1 параметричні рівняння траєкторії руху ножа мають такий вигляд:

$$x = V_m \cdot t + R \cdot \cos \omega t; \quad (2)$$

$$y = R - R \cdot \sin \omega t, \quad (3)$$

де x, y – координати будь-якої точки траєкторії леза ножа фрези, м;

t – час руху ножа, с;

ωt – кут повороту барабана за час t , рад.

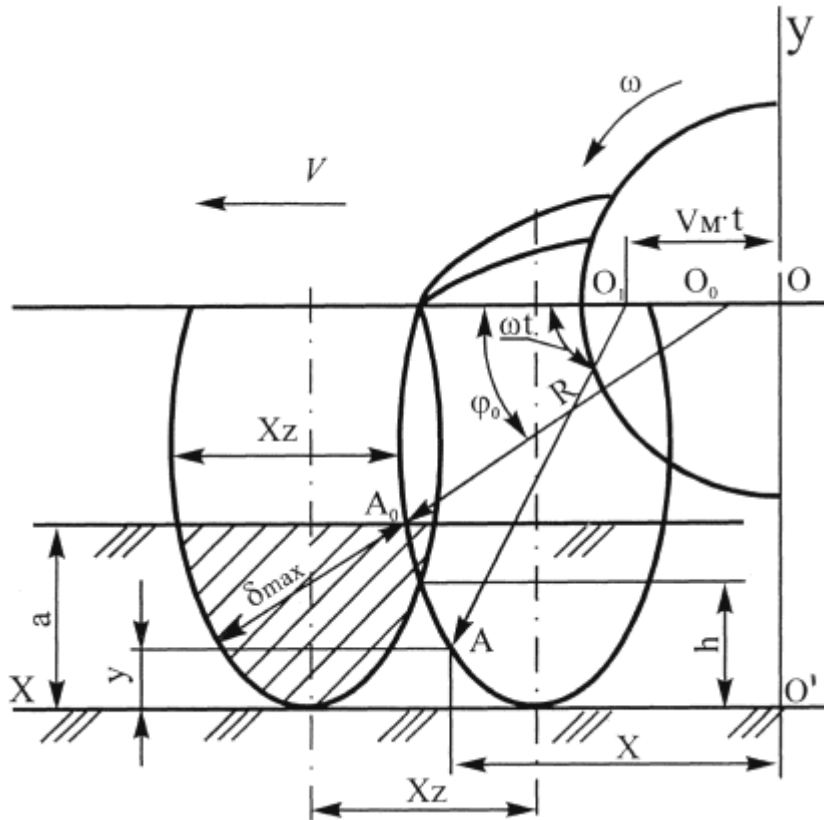


Рис. 1 – Схема до визначення основних параметрів роботи фрези

Для забезпечення оптимальних умов заглиблення ножа необхідно, щоб його лезо входило в ґрунт в самій опуклій частині траєкторії руху ножа (точка A_0) (див. рис. 1).

При цьому $\omega t = \varphi_0$ – оптимальний кут входження ножа в ґрунт, $y = a$ – глибина обробітку ґрунту фрезою.

На основі рівнянь 1...3 та розрахункової схеми (рис. 1) визначаються такі технологічні параметри фрези:

- частота обертання барабана – n , хв^{-1} ;
- подача на один оберт барабана (переміщення машини за час одного оберту барабану фрези) – $X_{об}$, см;

– подача на один ніж (переміщення машини за час повороту фрезерного барабану на центральний кут між сусідніми ножами по колу барабану) – X_z , см;

– кількість ножів по колу барабану – Z , шт.

Якість роботи фрези оцінюється товщиною стружки δ_{max} та висотою гребенів ґрунту h , які залишаються на дні борозни після проходу фрези.

2.4 Порядок виконання роботи:

У відповідності з варіантом приймаються вихідні дані по таблиці 1:

1	Радіус барабана	R	мм
2	Глибина обробітку ґрунту	a	см
3	Максимальна товщина стружки	δ_{max}	см
4	Показник кінематичного режиму роботи фрези	λ	
5	Швидкість машини	V_m	км/год
6	Максимальна висота гребенів ґрунту	h_{max}	см

Згідно вихідних даних визначаються такі параметри фрези:

Визначається частота обертання фрезерного барабана:

$$n = \frac{30\lambda V_m}{\pi R}, \quad (4)$$

де n – частота обертання фрезерного барабана, хв^{-1} ;

λ – показник кінематичного режиму роботи фрези;

V_m – швидкість машини, м/с ;

R – радіус барабану, м .

2.4.2 Визначається подача на один оберт фрезерного барабана:

$$X_{об} = \frac{2\pi R \cdot 100}{\lambda}, \quad (5)$$

де $X_{об}$ – подача на один оберт фрезерного барабана, см .

2.4.3 Визначається розрахункова подача на один ніж:

$$X'_z = \frac{\delta_{\max}}{\sqrt{1 - \frac{1}{\lambda^2}}}, \quad (6)$$

де X'_z – подача на один ніж, см ;

δ_{\max} – максимальна товщина стружки, см .

2.4.4 Визначається розрахункова кількість ножів по колу барабана Z' :

$$Z' = \frac{X_{об}}{X'_Z}. \quad (7)$$

2.4.5 Приймається фактична кількість ножів по колу барабана Z (ціле).

2.4.6 Визначається фактична подача на один ніж:

$$X_Z = \frac{X_{об}}{Z}. \quad (8)$$

2.4.7 Уточнюється максимальна товщина стружки δ_{\max} :

$$\delta_{\max} = X_Z \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda^2}}. \quad (9)$$

Результат порівнюється з допустимою товщиною стружки згідно завдання.

2.4.8 Згідно вихідних даних та параметрів, визначених за формулами (4) – (9), будується траєкторія руху ножа фрези в такій послідовності. На міліметровому папері формату А3 (рис. 2) в масштабі 1:2 викреслюється коло зовнішнім радіусом фрезерного барабану і від його центру в напрямку руху машини відмічається відрізок, який дорівнює подачі на один оберт фрези $X_{об}$. Потім цей відрізок, а також коло барабану поділяють на однакову кількість частин (12). З точок, розміщених на відрізку $X_{об}$ проводять відрізки, які паралельні і

дорівнюють радіусу відповідних точок на колі барабану. З'єднавши крайні точки відрізків одержується траєкторія руху ножа фрезерного барабану. З метою графічного аналізу необхідно побудувати траєкторії двох суміжних ножів барабану. Траєкторія сусіднього ножа барабану зміщується у напрямку руху фрези на крок X_z .

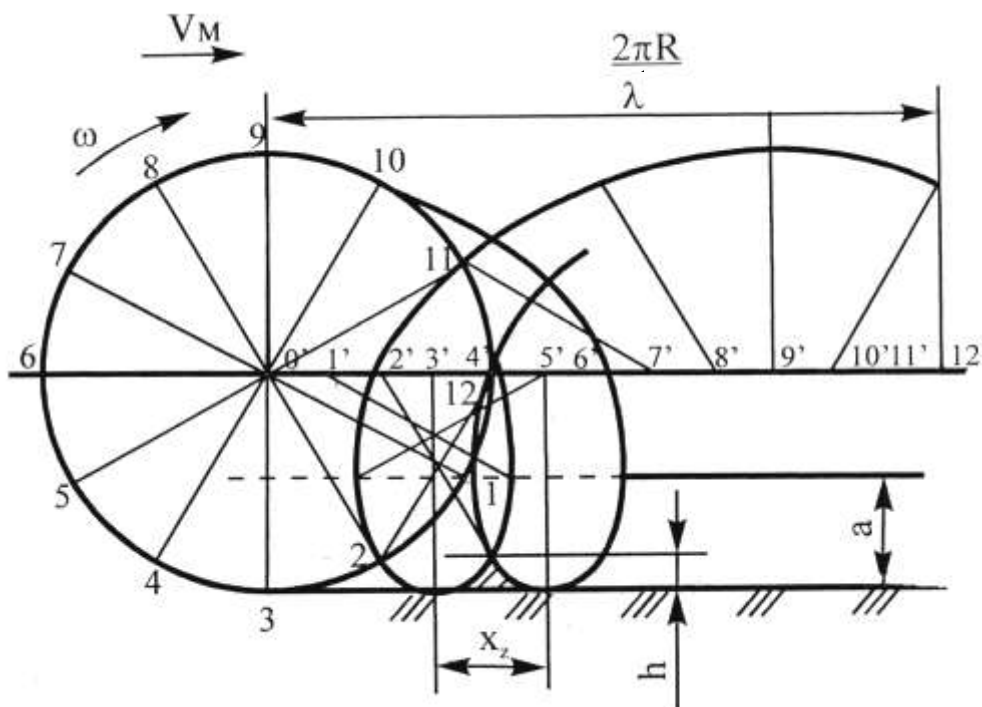


Рис. 2 – Траєкторія руху двох суміжних ножів фрезерного барабану

2.4.9 Вимірюється на кресленику висота гребеня ґрунту h на дні борозни та результат порівнюється з допустимою висотою гребенів згідно агротехнічних вимогам $h_{дон}$ (по завданню). При $h < h_{дон}$ якість обробітку задовольняє агротехнічним вимогам.

2.5 Зміст звіту

1. Записати тему і мету роботи.
2. Надати вихідні дані за варіантом.
3. Надати необхідні розрахунки.
4. Надати траєкторії руху двох суміжних ножів фрези (на міліметровому папері формату А3).

2.6 Контрольні питання

1. Який вид руху здійснює ніж ґрунтообробної фрези при її роботі у абсолютному рухові?
2. Який вид руху здійснює ніж ґрунтообробної фрези при її роботі у переносному рухові?
3. Який вид руху здійснює ніж ґрунтообробної фрези при її роботі у відносному рухові?
4. Траєкторія відносного руху ножа ґрунтообробної фрези при її роботі.
5. Траєкторія абсолютного руху ножа ґрунтообробної фрези при її роботі.
6. Траєкторія переносного руху ножа ґрунтообробної фрези при її роботі
7. Умови працездатності ґрунтообробної фрези.
8. Показник кінематичного режиму роботи ґрунтообробної фрези і як він впливає на роботу фрези.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів
грунтообробної фрези

Варіант	R	a	δ_{max}	λ	V_m	h_{max}
	ММ	СМ	СМ		КМ/ГОД	СМ
1	320	14	4	9,3	5,3	2,8
2	330	13	3,3	9,3	5,3	2,6
3	320	13	2,4	10	3,5	2,6
4	330	17	4,1	8,9	4,8	3,4
5	310	12	3,1	8,2	4	2,4
6	270	11	2	9,3	5,3	2,2
7	180	8	2,3	9,3	5,3	1,6
8	310	14	3,1	8,2	4	2,8
9	220	11	1,7	8,7	4,5	2,2
10	280	13	3,5	8,2	4	2,6
11	200	11	2	8,9	4,8	2,2
12	290	15	2,2	8	3,8	3
13	290	12	3,6	8,2	4	2,4
14	260	12	2,6	9,1	5	2,4
15	180	7	1,4	8,7	4,5	1,4

Тестові завдання

1. Ніж ґрунтообробної фрези при її роботі у переносному рухові здійснює

1. поступальний рух
2. обертальний рух
3. коливальний рух
4. складний рух

2. Ніж ґрунтообробної фрези при її роботі у відносному рухові здійснює

1. поступальний рух
2. складний рух
3. обертальний рух
4. коливальний рух

3. Траєкторією переносного руху вала барабана ґрунтообробної фрези при її роботі є

1. пряма лінія
2. окружність
3. циклоїда
4. синусоїда

4. Траєкторією абсолютного руху ножа ґрунтообробної фрези при її роботі є

1. циклоїда
2. окружність
3. пряма лінія
4. синусоїда

5. Ґрунтообробна фреза працездатна, якщо

1. $U < V_m$
 2. $U > V_m$
 3. $U = V_m$
 4. $U \leq V_m$
- де U – колова швидкість ножа фрези;
 V_m – поступальна швидкість машини (знаряддя).

6. Грунтообробна фреза працездатна, якщо траєкторією абсолютного руху її ножа є

1. спіраль
2. укорочена циклоїда
3. звичайна циклоїда
4. подовжена циклоїда

7. Грунтообробна фреза працездатна, якщо

1. $V_m = U$
2. $V_m > U$ де U – колова швидкість ножа фрези;
3. $V_m < U$ V_m – поступальна швидкість маши-
4. $V_m \geq U$ ни (знаряддя).

8. Практично показник кінематичного режиму роботи грунтообробної фрези приймається

1. $\lambda = 1,2 - 1,8$
2. $\lambda = 0,5 - 1,0$
3. $\lambda = 1$
4. $\lambda = 8 - 10$

9. Показник кінематичного режиму роботи грунтообробної фрези визначається за формулою

1. $\lambda = \frac{V_m}{\omega}$
 2. $\lambda = \frac{V_m}{U}$
 3. $\lambda = \frac{\omega}{V_m}$ де U – колова швидкість ножа фрези;
 4. $\lambda = \frac{U}{V_m}$ V_m – поступальна швидкість машини
(знаряддя);
- ω – кутова швидкість барабана фрези.

10. Показник кінематичного режиму роботи ґрунтообробної фрези визначається за формулою

$$1. \lambda = \frac{V_m \cdot R}{U}$$

$$2. \lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_m}$$

$$3. \lambda = \frac{\omega}{V_m \cdot R}$$

$$4. \lambda = \frac{U}{\omega \cdot R}$$

де U – колова швидкість ножа фрези;
 R – радіус ножа фрези;
 V_m – поступальна швидкість машини (знаряддя);
 ω – кутова швидкість барабана фрези.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: У 2 т. – Т. 1 (частина 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту / П.М. Заїка; – Харків: ОКО, 2001. – 443 с.

2. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Саун; – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.:Колос, 1994. – 751 с.

3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев; – 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: Л.: Гос. изд-во с.х. лит., 1995. – 764 с.

4. Морозов І.В. Основи теорії сільськогосподарських машин / І.В. Морозов; – Харків. Вид. „Оригінал”. -1992.

5. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / за редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2010. – 640 с.

6. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.; Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: «Агропромиздат,» 1986. – 688с.: ил.

7. Сельскохозяйственные машины. Теория, конструкция и расчет / Б.Г.Турбин, А.Б.Лурье, С.М.Григорьев и др.; Под общ. ред. Б.Г.Турбина. - Л.: Машиностроение, 1967.- 584 с., ил.

8. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.: іл.

9. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г.Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

