

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Методичні вказівки щодо виконання
лабораторно-практичних робіт**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра АГРОІНЖИНІРИНГУ

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Методичні вказівки щодо виконання
лабораторно-практичних робіт**

**для здобувачів 2 та 1 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія»
денної та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти «бакалавр»**

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна
медицина**
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ Н7 Агроінженерія

Суми – 2026

ББК

М 55

УДК 631 (075.8)

Укладачі: Калнагуз О.М., старший викладач кафедри агроінжинірингу
Л.М. Батюк, завідувач навчальної лабораторії кафедри
агроінжинірингу

М 55 Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Методичні вказівки щодо виконання лабораторно-практичних робіт для здобувачів 2 та 1 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія» денної та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти «бакалавр».. / Укл. Калнагуз О.М., Батюк Л.М. – Суми: СНАУ, 2026. – 58 с..

Методичні вказівки освітнього компоненту «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів» призначені для виконання лабораторно-практичних робіт здобувачами 2 та 1 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання ступеню вищої освіти «бакалавр». У МВ висвітлено теоретичні положення щодо фізико-механічних та технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, наведено методики їх визначення та обробки експериментальних даних. Методичні вказівки спрямовані на формування практичних навичок аналізу властивостей матеріалів та обґрунтування параметрів роботи

Рецензенти:

Харченко Ф.М. – к.т.н., доцент кафедри агроінжинірингу Сумського НАУ;

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування Сумського НАУ

Відповідальний за випуск: **Шуляк М.Л.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Рекомендовано до видання радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету. Протокол № 5 від 12.03.2026 року

© О.М.Калнагуз, Л.М. Батюк
© Сумський національний аграрний
університет, 2026

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Назва теми	Кількість годин
Тема 2. Фізичні властивості ґрунтів <i>ЛПЗ. Визначення вологості сільськогосподарських матеріалів</i>	2
Тема 3. Технологічні властивості ґрунтів <i>ЛПЗ. Визначення твердості і коефіцієнта об'ємного зминання ґрунту</i>	4
Тема 5. Властивості зерна як посівного матеріалу. <i>ЛПЗ. Визначення розмірних характеристик зерна.</i>	2
Тема 6. Механіко-технологічні властивості мінеральних та органічних добрив як об'єкта механізованого внесення в ґрунт. <i>ЛПЗ. Визначення характеристик внутрішнього тертя сипких матеріалів.</i>	4
Тема 7. Механіко-технологічні властивості стебел сільськогосподарських культур у період скошування. <i>ЛПЗ. Тарування пружин приладів з визначення механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів.</i> <i>ЛПЗ. Визначення характеристик перерізання сільськогосподарських матеріалів.</i> <i>ЛПЗ. Визначення основних механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів під час стискання.</i>	8
Тема 8. Властивості компонентів зернової маси як об'єкта збирання, очищення та сушіння. <i>ЛПЗ. Визначення показників обмолочуваності сільськогосподарських культур.</i>	2
Тема 9. Опір сільськогосподарських матеріалів під час приготування кормів. <i>ЛПЗ. Визначення характеристик статичного та динамічного коефіцієнтів тертя сільськогосподарських матеріалів по різних поверхнях.</i>	8
Разом годин:	30

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ОБ'ЄМНОГО ЗМИНАННЯ ҐРУНТУ	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО ТЕРТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ ПО РІЗНИХ ПОВЕРХНЯХ	Помилка! Закладку не визначено.24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6 ТАРУВАННЯ ПРУЖИН ПРИЛАДІВ З ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	32
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕРІЗАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	39
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС СТИСКАННЯ	45
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ОБМОЛОЧУВАНOSTІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ВСТУП

Методичні вказівки з дисципліни «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів» написаний відповідно до чинної програми. Лабораторні-практичні роботи складені так, що охоплюють основні властивості матеріалів, найбільш поширених в сільському господарстві.

Залежно від наявності лабораторного обладнання у вищих навчальних закладах тематику передбачених програмою лабораторних робіт можна скорегувати в обсязі, що не перевищує 20 %.

Відомо, що властивості сільськогосподарських матеріалів залежать від багатьох факторів, тому для отримання достатньо точних результатів досліди іноді потрібно повторювати по декілька десятків разів. Однак на практиці це виконати не завжди можливо. У зв'язку з цим іноді доводиться йти на порушення цього правила.

Студенти мають бути підготовленими до виконання лабораторних робіт. Для цього виділяється час на самостійну роботу, що дає змогу своєчасно виконувати роботу й оформляти звіт.

Для кожної лабораторно-практичної роботи проводять обробку результатів методами математичної статистики з визначенням середньої арифметичної величини, середнього квадратичного відхилення та коефіцієнта варіації.

Середню арифметичну величину обчислюють за формулою

$$M = \frac{\sum k_i \cdot l_{Ci}}{\sum k_i} \quad \text{або} \quad M = \frac{\sum P_i \cdot l_{Ci}}{100}, \quad (1)$$

де k_i , P_i – частота повторення ознаки i -го класу, шт., г, %;

l_{Ci} – середній розмір i -го класу.

Середнє квадратичне відхилення визначають за формулою

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (M - l_{Ci})^2 \cdot k_i}{\sum k_i}} \quad \text{або} \quad \sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (M - l_{Ci})^2 \cdot P_i}{100}}, \quad (2)$$

Величина σ характеризує розбіжність розмірів варіаційного ряду.

Для визначення коефіцієнта варіації (%) застосовують формулу

$$V = \frac{\sigma}{M} \cdot 100. \quad (3)$$

Коефіцієнт варіації дає змогу порівнювати мінливість розмірів ознаки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Навчитися визначати вологість ґрунтів та інших сільськогосподарських матеріалів.

Теоретична частина

Вологість різноманітних сільськогосподарських матеріалів визначають для того, щоб:

- а) характеризувати умови роботи сільськогосподарських машин (вологість повітря, ґрунту, добрив, насіння тощо);
- б) контролювати технологічний процес, що виконується машиною (вологість теплоносія в сушарках, вологість ґрунту в шарах до та після проходу робочого органа машини, динаміку вологості сільськогосподарського матеріалу тощо);
- в) характеризувати умови розвитку сільськогосподарських рослин.

Вологість можна визначати прямим або непрямим способами. Прямі вимірювання вологості ґрунту, насіння та деяких сільськогосподарських матеріалів проводять за допомогою спеціальних електричних приладів. Цей спосіб зручний, оскільки він не потребує багато часу. Однак часто залежно від внутрішньої структури матеріалу та його стану можуть траплятися помилки, тому до таких вимірювань слід вдаватися лише тоді, коли не потрібна висока точність.

Прямі вимірювання вологості повітря або відпрацьованого теплоносія можна виконувати напівпровідниковими електропсихрометрами, непрямі – стаціонарними або аспіраційними психрометрами. У разі потреби реєстрації відносної вологості упродовж деякого часу можна скористатися

гігрографами, що забезпечують вимірювання вологості в межах 30 – 100 % з точністю до 2 %.

Найбільш поширеним способом визначення вологості сільськогосподарських матеріалів є висушування проб в електросушильних шафах за температури 100 – 105 °С. Залежно від стану матеріалу та його фізико-механічних властивостей метод відбирання, розмір проби та наважка мають бути різними.

Висушувати сирий матеріал рослини відразу за високої температури не можна, оскільки від цього на поверхні її частин утворюється кірка, яка порушує нормальний процес сушіння. Крім того, може початися процес обвуглення і втрати маси. Якщо матеріал дуже сирий, то його спочатку підсушують у шафі за температури 50 – 60 °С.

Загальна тривалість висушування проб залежно від виду сільськогосподарського матеріалу та його вологості може становити 4 – 12 год. У разі прискореного сушіння насіння допускається його висушування при 105 °С упродовж 30 – 50 хв. з наступним подрібненням на лабораторному млині та досушуванням протягом 40 хв. при 130 °С.

Точність визначення вологості матеріалу в основному залежить від якості зважування та висушування.

У цій роботі визначають вологість ґрунту. Про вміст води у ґрунті судять за його абсолютною вологістю (%), яку визначають як відношення маси води до маси сухого ґрунту

$$W_A = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100, \quad (1.1)$$

де m_B та m_C – маси відповідно вологого і сухого ґрунту, г.

Зміст роботи

Визначити вологість ґрунту (чи іншого сільськогосподарського матеріалу за завданням викладача), виконати математичну обробку результатів дослідів, написати звіт.

Обладнання, прилади, матеріали

Електрична сушильна шафа, бюкси, терези, проби ґрунту (сільсько-господарського матеріалу за завданням викладача).

Сушильна шафа ШС – 150 призначена для сушіння різних сільсько-господарських матеріалів у лабораторних умовах. Вона складається з робочої камери і підставки (рис. 1.1).

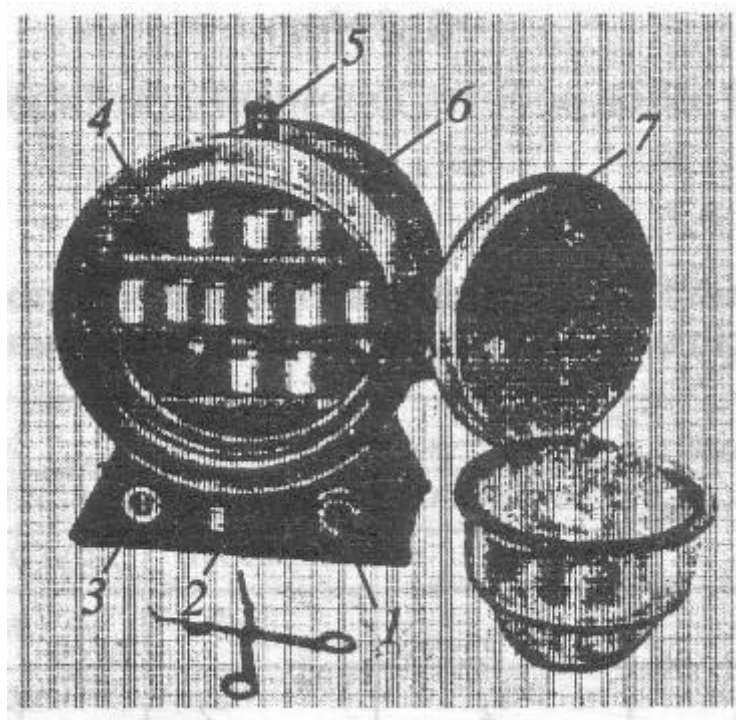


Рис. 1- Сушильна шафа ШС – 150:

- 1 – ручка повзунка реостата; 2 – вимикач; 3 – сигнальна лампа; 4 – полиці;
5 – вентиляційний ковпачок; 6 – металевий корпус; 7 – дверцята

Робоча камера – це металевий корпус 6 циліндричної форми, який зачиняється спереду круглими дверцятами 7. У верхній частині шафи є вентиляційний ковпачок 5. Усередині камери встановлені три полиці 4, які можна знімати, а знизу прикріплений керамічний під, у пазах якого вміщено закритий нагрівний елемент. До нагрівного елемента послідовно приєднана обмотка повзункового реостата, який розміщений усередині підставки і дає змогу змінювати температуру шафи в межах 85 – 150 °С.

Температуру регулюють пересуванням ручки повзунка реостата 1, крайні положення якого позначено написами "Уведений" і "Виведений" на правій стінці підставки.

У середині підставки розміщена сигнальна лампа 3. У разі прикладання напруги до нагрівного елемента сигнальна лампа спалахує.

Після завантаження шафи термометр встановлюють у верхньому отворі вентиляційного ковпачка так, щоб нижній його кінець не торкався до зразків, розміщених на верхній полиці. На передній стінці також розміщений вимикач 2. Під час нагрівання контролюють температуру. У разі потреби зниження температури змінюють опір реостата пересуванням повзунка справа вліво.

Під час сушіння вентиляційний ковпачок слід повернути так, щоб його бічні отвори були повністю відчинені для виходу вологи, яка випаровується.

Порядок виконання роботи

1. З шарів 5, 10 та 15 см взяти в бюкси проби ґрунту (повторити чотири рази).

2. Бюкси з пробами ґрунту зважити з точністю до 0,01 г.

3. Бюкси з пробами ґрунту висушити в електричній сушильній шафі за температури 100 – 105 °С протягом 3 год. Після охолодження зважити з попередньою точністю.

4. Бюкси з ґрунтом знову вмістити у сушильну шафу, через 1 год. дістати і знову зважити з тією ж точністю.

5. Різниця маси бюксів після першого і другого висушування не повинна перевищувати 0,05 г. Якщо різниця перевищує 0,05 г, то бюкси знову слід вмістити у сушильну шафу на 1 – 2 год., після чого зважити.

6. Визначити абсолютну вологість ґрунту за формулою (1).

7. Виконати математичну обробку результатів дослідів, визначити середнє арифметичне $\bar{W}_A$ (1), середнє квадратичне відхилення σ (2) та коефіцієнт варіації V (3).

8. За завданням викладача згідно з наведеною методикою визначити вологість іншого сільськогосподарського матеріалу.

Результати дослідів записати в табл. 1.1.

Таблиця 1-Результати дослідів з визначення вологості
сільськогосподарських матеріалів

Матеріал	Повторність дослідів	Номер бюкса	Маса ґрунту, г			W _A , %	$\overline{W}_A$, %	σ, %	V, %
			вологого	після висушування					
				першого	другого				
Ґрунт	1		m _{B1}	m' _{C1}	m'' _{C1}		$\overline{W}_A$	σ	V
	2		m _{B2}	m' _{C2}	m'' _{C2}				
	3		m _{B3}	m' _{C3}	m'' _{C3}				
	4		m _{B4}	m' _{C4}	m'' _{C4}				

Звіт

Навести стислий зміст роботи, формули і розрахунки, таблицю. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Назвіть особливості висушування сирих сільськогосподарських матеріалів.
2. За якою формулою визначають абсолютну вологість сільськогосподарських матеріалів?
3. Розповісти про будову сушильної шафи.
4. Наведіть послідовність визначення вологості ґрунту.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ОБ'ЄМНОГО ЗМИНАННЯ ҐРУНТУ

Мета роботи

Для конкретних умов визначити твердість і коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.

Теоретична частина

Показником опору ґрунту до зминання є середня твердість ґрунту. Твердість ґрунтів вимірюють приладами – твердомірами. Під час введення в ґрунт наконечника твердоміра викреслюється діаграма (рис. 1).

На діаграмі є декілька фаз. Упродовж першої фази (ділянка OA) опір деформації росте пропорційно величині заглиблення наконечника в ґрунт (до $l = l_A = 5...6$ см).

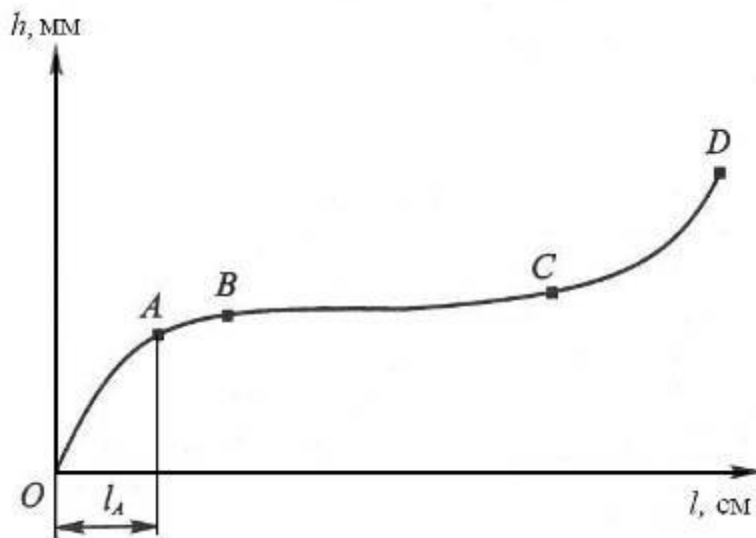


Рис. 1- До визначення твердості ґрунту твердоміром

Друга фаза AB є перехідною. В цей період заглиблення наконечника перед його основою утворюється конусоподібний наріст із сильно ущільненого ґрунту (ущільнене ядро). У третій фазі (ділянка BC) ґрунт деформується конусоподібним наростом, що розклинає його, зсуваючи в боки і зустрічаючи при цьому постійний опір (ґрунт "тече"). Перша фаза в

декілька разів коротша за третю, однак має велике практичне значення, оскільки деформація ґрунту сільськогосподарськими машинами, як правило, не виходить за межі першої ділянки діаграми. Лише після проходження наконечником орного шару крива CD стрімко здіймається вгору, оскільки на його шляху зустрічається щільніша "плужна підшва". Твердість ґрунту (кПа) визначають за формулою

$$T = \frac{10 \cdot \bar{h} \cdot m}{S}, \quad (1)$$

де $\bar{h}$ – середня ордината діаграми, мм;

m – масштаб пружини (береться з тарувальної характеристики), у цьому приладі $m = 10$ Н/мм;

S – площа основи наконечника, см^2 .

Для характеристики ґрунту використовують також коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту (Н/см³)

$$q = \frac{F_A}{S \cdot l_A} = \frac{h_A \cdot m}{S \cdot l_A}, \quad (2)$$

де F_A – зусилля, потрібне для вдавлювання наконечника до межі пропорційності, Н;

l_A – заглиблення наконечника, що відповідає F_A , см;

h_A – ордината діаграми, яка відповідає межі пропорційності (точка A), мм.

Зміст роботи

Записати за допомогою твердоміра декілька діаграм твердості ґрунту (3 – 5), обробити отримані діаграми, виконати математичну обробку результатів дослідів, написати звіт.

Обладнання, прилади, матеріали

Твердомір, штангенциркуль, досліджуваний ґрунт, міліметровий папір.

Твердомір (рис. 2) складається з двох напрямних штанг 1, телескопічної штанги 2 зі змінним наконечником 3, пружини 4, планки 8 для кріплення паперу 7, записувального пристрою 5 і натискних тримачів 6. Записувальний пристрій сполучений із пружиною 4. Ланки цього пристрою розраховані так,

що олівець переміщується у вертикальному напрямку (вісь y) на величину заглиблення наконечника і в горизонтальному напрямку (вісь x) на величину стискання пружини.

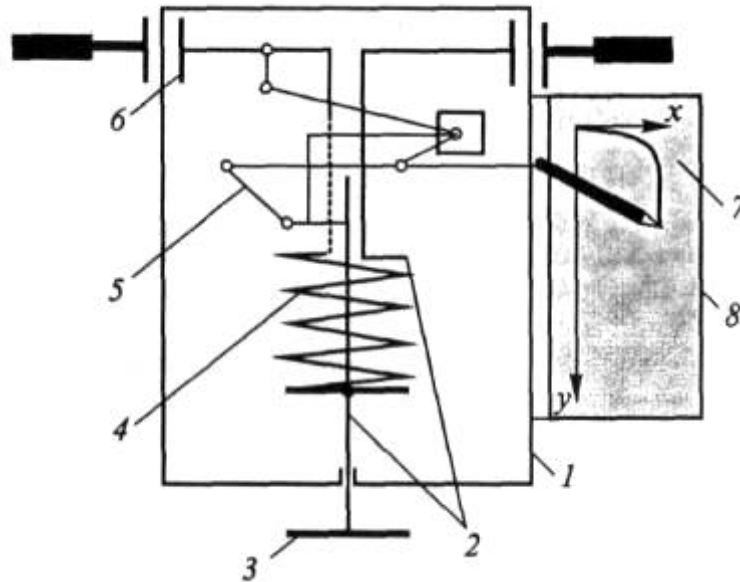


Рис. 2- Схема твердоміра:

1 – напрямні штанги; 2 – телескопічна штанга; 3 – наконечник; 4 – пружина;
5 – записувальний пристрій; 6 – натискні тримачі; 7 – папір; 8 – планка

Порядок виконання роботи

1. Записати 3 – 5 діаграм твердості.

2. Твердість ґрунту змінюється з глибиною. Тому зазвичай вимірюють твердість ґрунту на глибині 0 – 10 см, 12 – 20 см, 22 – 30 см. Для певних меж глибини через кожні 2 см на діаграмі визначають величину h_i . Значення меж глибини та інтервалів h можна прийняти іншими. Знайти h_{Ci} , $\bar{h}$, σ , V , T . Отримані значення занести в табл. 1.4.

3. Виконати обробку результатів дослідів методами математичної статистики з визначенням середньої арифметичної величини T (1), середнього квадратичного відхилення σ (2) і коефіцієнта варіації V (3). Приклад математичної обробки результатів дослідів по визначенню твердості ґрунту за програмою Microsoft Excel наведено в додатку 3.

4. Визначити коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.

Таблиця 1 - Результати вимірювання твердості ґрунту

Глибина, см	Заглиблення наконечника l , см	h_i , мм, для діаграми				h_{Ci} , мм, для діаграми				$\bar{h}$, мм	σ , мм	V , %	T , кПа
		1	2	3	4	1	2	3	4				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0 – 10	0	h_1	h_2	h_3	h_4								
	2	h_1	h_2	h_3	h_4								
	4	h_1	h_2	h_3	h_4	h_{C1}	h_{C2}	h_{C3}	h_{C4}	$\bar{h}$	σ	V	T
	6	h_1	h_2	h_3	h_4								
	8	h_1	h_2	h_3	h_4								
	10	h_1	h_2	h_3	h_4								
12 – 20	12	h_1	h_2	h_3	h_4								
	14	h_1	h_2	h_3	h_4								
	16	h_1	h_2	h_3	h_4	h_{C1}	h_{C2}	h_{C3}	h_{C4}	$\bar{h}$	σ	V	T
	18	h_1	h_2	h_3	h_4								
	20	h_1	h_2	h_3	h_4								
22 – 30	22	h_1	h_2	h_3	h_4								
	24	h_1	h_2	h_3	h_4								
	26	h_1	h_2	h_3	h_4	h_{C1}	h_{C2}	h_{C3}	h_{C4}	$\bar{h}$	σ	V	T
	28	h_1	h_2	h_3	h_4								
	30	h_1	h_2	h_3	h_4								

Звіт

Навести стислий зміст роботи, схему та опис твердоміра, формули і розрахунки, таблицю. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. За якою формулою визначають твердість ґрунту?
2. Розповісти про фази діаграми, отриманої в разі вимірювання твердості ґрунту.
3. За якою формулою визначають коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту?
4. Зазначити одиниці вимірювання твердості і коефіцієнта об'ємного зминання ґрунту. Розповісти про будову твердоміра.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА

Мета роботи

Навчитися розподіляти насіння сільськогосподарських культур на варіаційні ряди з використанням математичної обробки результатів дослідів, будувати варіаційні криві розподілу за даною ознакою.

Теоретична частина

Насіння основної культури і бур'янів мають той чи інший ступінь мінливості, що потрібно враховувати під час розробки технологічної схеми очищення і сортування зернових сумішей. Мінливість розмірів насіння (та інших властивостей) розділюваних сумішей можна подати варіаційними рядами або варіаційними кривими. Для побудови варіаційного ряду чи кривої слід зробити 300—500 вимірювань вибраного розміру (товщини, ширини чи довжини) або іншого показника властивостей і розподілити отримані виміри за класами.

Класовий проміжок l для зернових культур відповідно за товщиною, шириною і довжиною насіння зазвичай приймають 2, 3 і 4 мм. Встановивши максимальний $x_{\max}$ і мінімальний $x_{\min}$ розміри і поділивши різницю $x_{\max} - x_{\min}$ на класовий проміжок l , знаходять загальне число класів. Зазвичай число класів становить 5-10.

Розподілити насіння на класи за товщиною і шириною можна не лише шляхом вимірювання, а й перепусканням наважки насіння крізь решітний класифікатор.

Кожний клас характеризується крайніми значеннями розміру насіння (межа класу) і середнім значенням.

Біологічні ознаки зазвичай характеризують кривою нормального розподілу.

Варіаційні криві розподілу якогось розміру — це графіки, по осі абсцис яких відкладено середні значення класу x_i , а по осі ординат частоту ознаки

mi.. Частотою називають кількість насіння (за масою, числом або відсотком) у кожному класі.

Варіаційні ряди і крива характеризуються середньою арифметичною величиною $\bar{x}$, середнім квадратичним відхиленням s та коефіцієнтом варіації V .

У разі, коли характеристика модифікації розмірів насіння описується законом нормального розподілу, в межах $\bar{x} \pm 3s$ укладається 99,7 % усієї кількості матеріалу. Тому можна прийняти, що розміри насіння змінюються від мінімального $\bar{x} - 3s$ до максимального $\bar{x} + 3s$.

За розміщенням варіаційних кривих двох компонентів, наприклад насіння основної культури і домішок, можна оцінити можливість розподілу зернової суміші за ознакою, що розглядається. Якщо криві не перекривають одна одну, можна досягнути повного розподілу насіння. В разі, коли низхідна гілка однієї кривої перетинається з висхідною гілкою другої можливий лише частковий розподіл насіння. Якщо ж криві повністю перекривають одна одну, розподіл за даною ознакою неможливий.

Якщо неможливо розподілити насіння за даною ознакою, вибирають іншу ознаку.

Методика виконання роботи

Побудувати варіаційні ряди модифікації розмірів насіння заданих культур за товщиною. Побудувати варіаційні криві. Оцінити отримані результати.

Прилади і матеріали: Штангенциркуль; насіння двох сільськогосподарських культур.

Хід роботи Відлічити 50-100 шт. насіння заданої культури. Виміряти товщину кожної зернини штангенциркулем з точністю 0,1 мм. Записати отримані значення в порядку зростання, визначивши мінімальне і максимальне значення товщини.

Розбити інтервал отриманих значень на 5 – 7 класів.

Для цього визначити ширину класу за формулою:

$$\lambda = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5(7)}$$

Тоді межі класів будуть дорівнювати: $x_{\min} - \lambda$; $x_{\min} + \lambda$; $x_{\min} + 2\lambda$; і т.д.

Визначити середню товщину насіння в класі x_i і частоту повторення товщини m_i .

Для характеристики варіаційного ряду визначити середню арифметичну величину $\bar{x}$, середнє квадратичне відхилення σ та коефіцієнт варіації V .

Побудувати варіаційну криву товщини насіння заданої культури.

Повторити пункти для насіння іншої сільськогосподарської культури.

Таблиця – Дані варіаційного ряду товщини насіння сільськогосподарської культури

Показник	Номер класу						
	1	2	3	4	5	6	7
Межі класу, мм							
Середня товщина насіння в класі X_i , мм							
Частота повторення товщини m_i , шт.							
P_i , %							
X_i t_i							
Середня товщина насіння $\bar{x}$, мм	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{N}$						
$Q_1 = X_1 - \bar{X}$, мм							
Q_1^2							
$Q_1^2 m_1$							
Середнє квадратичне відхилення σ , мм	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n m_i a_i^2}$						
Коефіцієнт варіації V , %	$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$						

Звіт

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Теоретична частина.
4. Методика виконання роботи.
5. Результати розрахунків.
6. Висновки.

Навести стислий зміст роботи, результати вимірювань, розрахунки (таблиці варіаційних рядів товщини насіння заданих сільськогосподарських культур), варіаційні криві розподілу насіння сільськогосподарських культур за товщиною.

Контрольні запитання

1. Як знаходять число класів варіаційного ряду?
2. Як визначають середнє значення класу?
3. Що розуміють під частотою ознаки класу?
4. Скільки сільськогосподарського матеріалу знаходиться в межах $x + 3s$ у разі, коли за даною ознакою зерно підлягає закону нормального розподілу?
5. За якими формулами визначають середню арифметичну величину, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Визначити коефіцієнти і кути внутрішнього тертя сільськогосподарських матеріалів і оцінити отримані результати.

Теоретична частина

Різні сільськогосподарські матеріали мають властивості сипкості (піщані і супіщані ґрунти, зерно, мінеральні добрива). Характер взаємного переміщення часточок матеріалу в основному залежить від фрикційних властивостей цих часточок, що характеризуються коефіцієнтом внутрішнього тертя. Кути внутрішнього тертя сипких матеріалів дорівнюють кутам твірної конуса (рис. 1).

Взаємне переміщення часточок сипкого матеріалу припиниться, якщо

$$mg \sin \alpha = F'_{\max}, \quad (1)$$

де mg – сила гравітації часточки;

α – кут природного укосу;

$F'_{\max}$ – сила тертя, що виникає під час взаємного переміщення часточок.

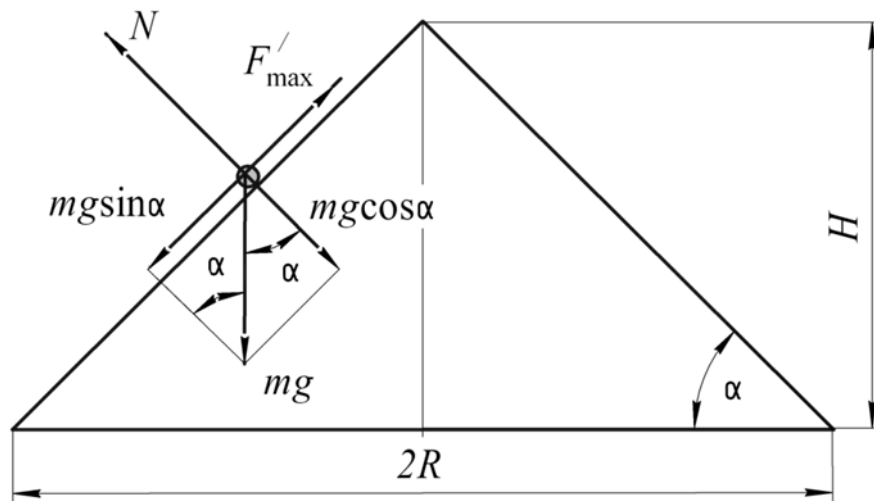


Рис. 1- До визначення коефіцієнта внутрішнього тертя

Сила тертя $F'_{\max} = f' N = \operatorname{tg} \varphi' N$, де f' – коефіцієнт внутрішнього тертя; φ' – кут внутрішнього тертя; N – нормальна сила.

Оскільки $N = mg \cos \alpha$, то $mg \sin \alpha = f' mg \cos \alpha$, або $\operatorname{tg} \alpha = f' = \operatorname{tg} \varphi'$.

Рівновага настає за умови

$$\alpha = \varphi'. \quad (2)$$

Зміст роботи

Визначити значення коефіцієнта внутрішнього тертя для двох – трьох видів сипких матеріалів (насіння різних сільськогосподарських культур, різні види добрив, піску), написати звіт.

Обладнання, прилади, матеріали

Лабораторний пристрій для насипання конуса із сипких матеріалів, набір різних сипких сільськогосподарських матеріалів. Основними частинами пристрою (рис. 2) є плита 1, шухляда 2, на дні якої є чотири радіально розміщені міліметрові шкали з початком відліку від центра, місткість 4 із заслінкою 3, напрямна 6, на яку нанесено шкалу з початком відліку, що відповідає збігу нижнього краю місткості з дном шухляди, і гвинтовий механізм 5 для підймання місткості.

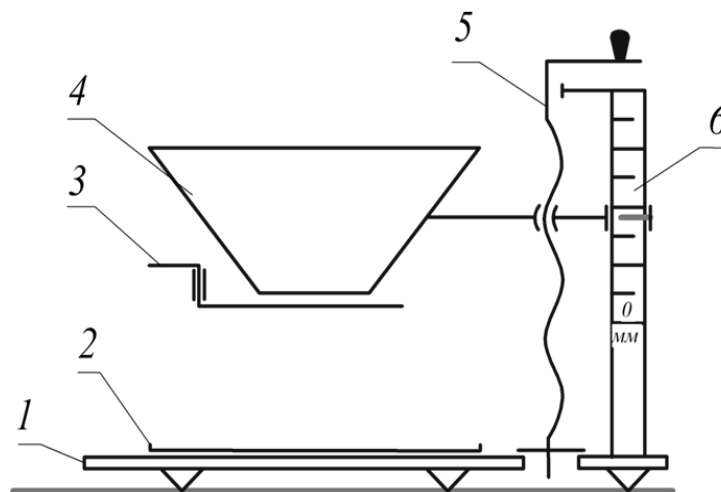


Рис. 2- Схема пристрою для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя сипких матеріалів:

1 – плита; 2 – шухляда; 3 – заслінка; 4 – місткість; 5 – гвинтовий механізм;
6 – напрямна із шкалою

Порядок виконання роботи

1. Підготувати пристрій до роботи, для цього виставити плиту 1 в горизонтальне положення, перемістити місткість 4 в нижнє положення, заповнити її досліджуванним матеріалом.

2. Насипати конус із досліджуваного матеріалу на дно шухляди 2. Для цього відкрити заслінку 3 місткості, після початку витікання матеріалу поступово переміщати місткість вгору до утворення конуса заввишки 100 – 150 мм.

3. Закрити заслінку місткості.

4. Виміряти висоту насипаного конуса та радіус його основи в чотирьох радіальних напрямках. Для кожного сипкого матеріалу дослід повторювати 3 – 5 разів.

5. Обчислити значення коефіцієнтів внутрішнього тертя за результатами вимірювань за формулою

$$f_i' = \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{H_i}{R_{Ci}}, \quad (3)$$

де H_i – висота конуса, мм;

R_{Ci} – середній радіус основи конуса, виміряний у чотирьох радіальних напрямках, мм;

i – номер дослід.

6. Оцінити значення коефіцієнта внутрішнього тертя сипких сільсько-господарських матеріалів, для чого визначити середню арифметичну величину $\bar{f}'$ (1), середнє квадратичне відхилення σ (2), коефіцієнт варіації V (3).

7. Повторити пункти 5.1 – 5.6 для іншого сипкого матеріалу.

8. Результати дослід записати в табл. 1.

9. Визначити кут тертя за формулою:

$$\bar{\varphi}' = \arctg \bar{f}', \quad (4)$$

Таблиця 1-Результати вимірювань і обчислень коефіцієнта внутрішнього тертя сипких матеріалів

Матеріал	Номер досліджу	H_i , мм	R_i , мм	f_i'	$\bar{f}'$	σ	V, %	$\bar{\varphi}'$, град.
Зерно сільськогосподарської культури	1	H_1	R_1	f_1'	$\bar{f}'$	σ	V	$\bar{\varphi}'$
	2	H_2	R_2	f_2'				
	3	H_3	R_3	f_3'				
	4	H_4	R_4	f_4'				

Звіт

Навести стислий зміст роботи, схему та опис пристрою, формули і розрахунки, таблицю. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Довести, що кут внутрішнього тертя сипкого сільськогосподарського матеріалу дорівнює куту укусу твірної конуса.
2. За якою формулою визначають коефіцієнти і кути внутрішнього тертя сипких матеріалів?
3. Описати будову пристрою для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя сипких матеріалів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ ПО РІЗНИХ ПОВЕРХНЯХ

Мета роботи

Визначити статичний і динамічний коефіцієнти тертя по різних поверхнях, коефіцієнти і кути внутрішнього тертя сільськогосподарських матеріалів і оцінити отримані результати.

Теоретична частина

Статичний коефіцієнт тертя (коефіцієнт тертя спокою) можна визначити а умови, що тіло переходить із стану спокою в стан руху, коли рухома сила дорівнює максимальному значенню сили тертя (рис.1). Тіло, що перебуває на похилій площині, намагається утриматися на ній за рахунок сили тертя, яка зрівноважує складову сили гравітації. У момент початку ковзання тіла по площині

$$Y \sin \alpha = F_{c \max} \quad (1)$$

Сила тертя

$$F_{c \max} = f_c N = \operatorname{tg} \varphi_c Y \cos \alpha, \quad (2)$$

де f_c і φ_c – відповідно статичний коефіцієнт і кут тертя; N – сила, що діє вертикально вниз; Y – сила гравітації; α — кут нахилу площини.

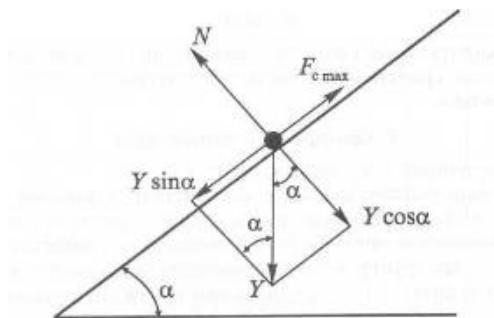


Рис. 1- До визначення статичного коефіцієнта тертя

Отже,

$$Y \sin \alpha = \operatorname{tg} \varphi_c Y \cos \alpha ,$$

Звідки

$$\varphi_c = \alpha , \quad f_c = \operatorname{tg} \alpha .$$

Для визначення динамічного коефіцієнта тертя використовують такі теоретичні положення. Між максимальними значеннями сили тертя і сили нормального тиску N існує залежність

$$F_{d \max} = f_d N ,$$

де f_d — динамічний коефіцієнт тертя.

Кут між напрямками сил N і $F_{d \max}$ завжди дорівнює 90° (рис. 2). У раз додавання сил N і $F_{d \max}$ результуюча сила R відхилиться від напрямку вектора N на деякий кут. З рис. 1 випливає, що

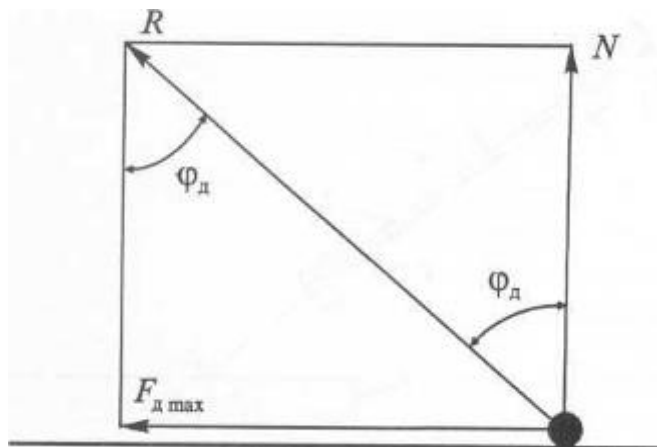


Рис. 2- До визначення динамічного коефіцієнта тертя

Різні сільськогосподарські матеріали мають властивості сипкості (піщані і супіщані ґрунти, зерно, мінеральні добрива). Характер взаємного переміщення часточок матеріалу в основному залежить від фрикційних властивостей цих часточок, що характеризуються коефіцієнтом внутрішнього тертя. Кути внутрішнього тертя сипких матеріалів дорівнюють кутам твірної конуса (рис. 3).

Взаємне переміщення часточок сипкого матеріалу припиниться, якщо

$$mg \sin \alpha = F'_{\max} ,$$

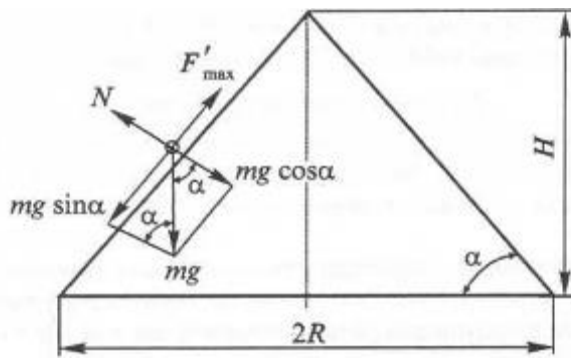


Рис. 3- До визначення коефіцієнта внутрішнього тертя

Методика виконання роботи

Визначити статичний та динамічний коефіцієнти тертя сільськогосподарських матеріалів по різних поверхнях, оцінити отримані результати порівняти значення статичних та динамічних коефіцієнтів тертя для однакових пар тертя.

Прилади і матеріали

Прилади для визначення статичного та динамічного коефіцієнтів тертя; пластини з різних матеріалів, що використовуються в сільгоспмашинобудуванні; косинець; транспортер; папір; кнопки; зразки сільськогосподарських матеріалів.

Лабораторний пристрій для насипання конуса із сипких матеріалів, набір різних сипких сільськогосподарських матеріалів.

Для визначення статичного коефіцієнта тертя використовують прилад (рис. 4), який складається з горизонтальної плити 7, похилої площини 5, на якій закріплено матеріал досліджуваної поверхні 4, та гвинта 2, поворотом якого змінюють кут нахилу площини 3. На закріплену поверхню вміщують досліджуваний матеріал 5. Якщо повільним обертанням гвинта 2 збільшувати кут нахилу площини 5, то моменту початку ковзання пар тертя відповідатиме умова $\varphi_s = \alpha$.

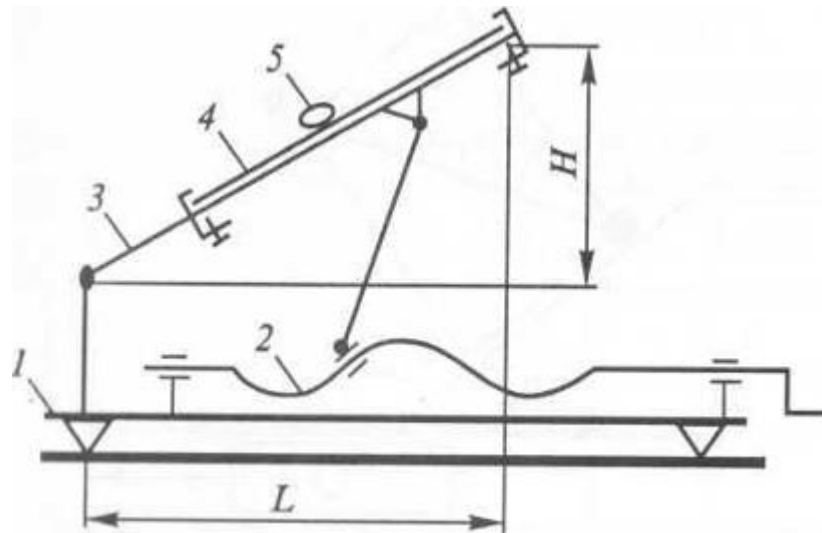


Рис. 4- Схема приладу для визначення статичного коефіцієнта тертя

Динамічний коефіцієнт тертя визначають на приладі академіка В. А.

Желіговського (рис. 5). Прилад складається з креслярської дошки лінійки та каретки. Колодка 1 лінійки 2 ковзає по краю креслярської дошки а вільний кінець лінійки 2 спирається на полозок 3, підтримуючи цей кінець лінійки на деякій висоті над поверхнею креслярської дошки.

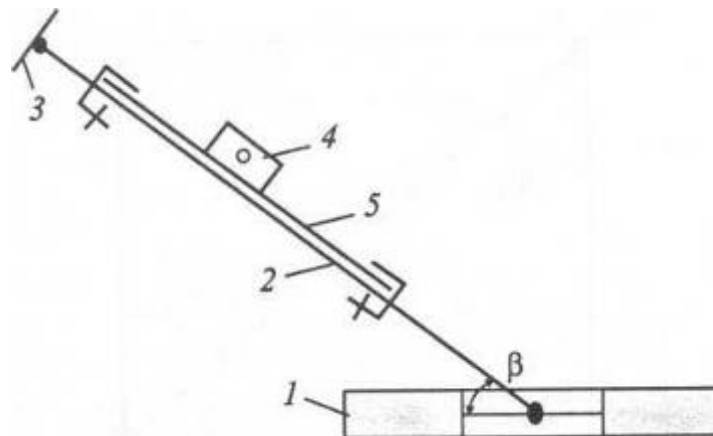


Рис. 5- Схема приладу для визначення динамічного коефіцієнта тертя

Перед початком експерименту один із досліджуваних матеріалів прикріплюють до лінійки, а інший матеріал фіксують у каретці 4. Лінійку закріплюють під деяким кутом до колодки 1. Каретка 4 має олівець для записування траєкторії її руху. Під час переміщення колодки вздовж краю креслярської дошки лінійка 2 приводить у рух каретку 4. Якщо $\beta < \pi/2 - \varphi_d$ (рис. 6), то під час руху лінійки досліджувані матеріали дотикаються, внаслідок

чого між ними виникає сила тертя, а олівець приладу креслить напрямок рівнодійної сили. Знявши з приладу каретку, продовжують напрямок лінійки і встановлюють перпендикуляр до цього напрямку з точки перетину з траєкторією руху каретки.

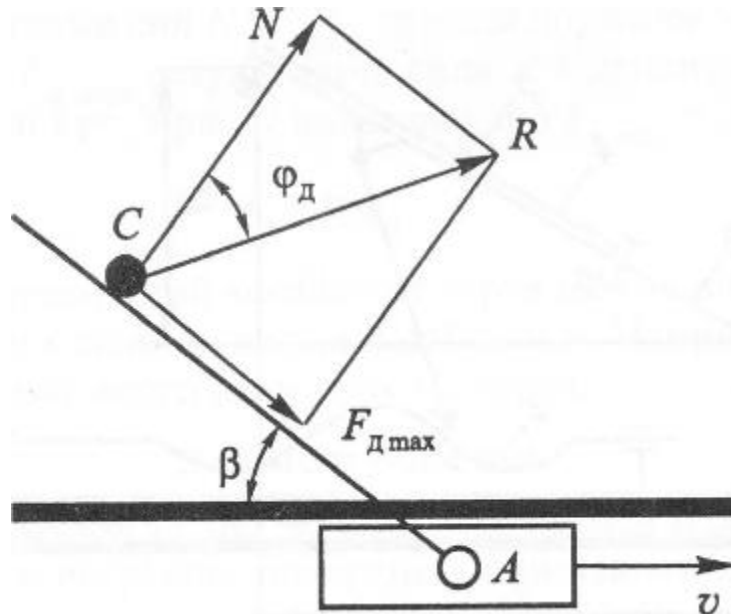


Рис. 6- До визначення динамічного кута тертя

Визначення статичного коефіцієнта тертя

Закріпити на похилій площині 3 (див. рис. 3) пластину 4 з досліджуваного матеріалу і, обертаючи рукоятку гвинта 2, встановити площину 3 в положення, близьке до горизонтального.

Помістити на пластину досліджуваний матеріал 5.

Повільно обертаючи рукоятку гвинта 2, збільшити кут нахилу площини 3 до початку ковзання досліджуваного матеріалу 5.

Виміряти величини H і L (див. рис. 3).

Обчислити статичний коефіцієнт тертя за формулою

$$f_{c_i} = \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{H_i}{L}$$

Дослід повторити 4 рази для кожної пари тертя.

Оцінити значення статичного коефіцієнта тертя, визначити середню арифметичну величину f_c (1), середнє квадратичне відхилення σ (2) та коефіцієнт варіації ν (3).

Визначити кут тертя за формулою

$$\bar{\varphi}_c = \arctg \bar{f}_c.$$

Результати вимірювань і обчислень записати в табл. 1.

Таблиця 1 – Оформлення результатів дослідження статичного коефіцієнта тертя

Пара тертя	Номер досліду	L , мм	H_i , мм	f_{ci}	$\bar{f}_c$	σ	V , %	$\bar{\varphi}_d$, град
	1	L	H_1	f_{c1}	$\bar{f}_c$	σ	V	$\bar{\varphi}_d$
	2		H_2	f_{c2}				
	3		H_3	f_{c3}				
	4		H_4	f_{c4}				

Визначення динамічного коефіцієнта тертя

1. Закріпити пластину 5 з досліджуваного матеріалу на лінійці 2 (див. рис. 4).
2. Закріпити на креслярській дошці аркуш паперу.
3. Встановити лінійку 2 під кутом $\beta < \pi/2 - \varphi_d$ і закріпити її на колодці.
3. Помістити прилад на креслярську дошку, сумістивши колодку з краєм креслярської дошки.
4. Заповнити каретку приладу досліджуваним матеріалом і підвести її до закріпленої на лінійці пластини.
5. Повільно перемістити колодку приладу вздовж краю креслярської дошки. При цьому олівець каретки запише траєкторію її переміщення.
6. Зняти каретку з приладу, продовжити напрямком лінійки і встановити до цього напрямку перпендикуляр у точці перетину з траєкторією руху каретки (див. рис. 5). Кут між нормальною силою і траєкторією каретки і буде кутом тертя φ_d .

7. Виміряти транспортиром кут тертя φ_d .
8. Обчислити динамічний коефіцієнт тертя за формулою. Дослід повторити 4 рази для кожної пари тертя.
9. Оцінити значення динамічного кута тертя, визначити середню арифметичну величину φ_d (1), середнє квадратичне відхилення σ (2) і коефіцієнт варіації ν (3).
10. Визначити коефіцієнт тертя за формулою

$$\bar{f}_d = \arctg \bar{\varphi}_d.$$

11. Результати вимірювань і обчислень записати в табл. 2.

Таблиця 2 – Оформлення результатів визначення динамічного коефіцієнта тертя

Пара тертя	Номер досліду	β , град	f_{d_i}	$\bar{\varphi}_d$	σ	$V, \%$	$\bar{f}_d$
	1	β	f_{d_1}	$\bar{\varphi}_d$	σ	V	$\bar{f}_d$
	2		f_{d_2}				
	3		f_{d_3}				
	4		f_{d_4}				

Звіт

Навести стислий зміст роботи, схему та опис пристрою, формули і розрахунки, таблицю. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під статичним і динамічним коефіцієнтами тертя?
2. Довести, що кут тертя спокою сільськогосподарського матеріалу дорівнює куту нахилу площини, за якого зразок переходить із стану спокою в стан руху.
3. Яку будову мають прилади для визначення статичного та динамічного коефіцієнтів тертя сільськогосподарських матеріалів?
4. Написати формули для розрахунку коефіцієнтів і кутів статичного і динамічного тертя сільськогосподарських матеріалів.
5. Довести, що кут внутрішнього тертя сипкого сільськогосподарського матеріалу дорівнює куту укосу твірної конуса.

6. За якою формулою визначають коефіцієнти і кути внутрішнього тертя сипких матеріалів?

7. Описати будову пристрою для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя сипких матеріалів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6
ТАРУВАННЯ ПРУЖИН ПРИЛАДІВ З ВИЗНАЧЕННЯ
МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Навчитися тарувати силові пружини, які застосовуються на приладах для визначення механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів.

Теоретична частина

На деяких приладах (твердомір, прилади для визначення механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів під час розтягання, стискання, обмолочування, зусиль відривання колосків від плодоніжок волоті та ін.) застосовують пружини як пружні елементи.

Величина сили, яка прикладається до пружини, залежить від виду деформації (розтяг, стиск, кручення) і її масштабу. Масштабом пружини m називають силу, яка необхідна для зміни деформації пружини на одиницю довжини.

Більшість пружин незалежно від величини деформації мають постійний масштаб. При навантаженні таких пружин між силою P та величиною деформації H існує залежність

$$m = \frac{P}{H}. \quad (1)$$

Вибір сили P обумовлюється технічними міркуваннями.

На твердомірах, приладах для визначення механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів під час розтягання, стискання, перерізання та ін. застосовуються пружини стиску (рис. 1.2), на приладах для визначення показників обмолочування сільськогосподарських культур – пружини розтягу (рис. 1).

Масштаб силової пружини m може бути одержаний статичним і динамічним способами на приладах для тарування пружин. Статичний спосіб визначення масштабу обґрунтовується на статичному навантаженні пружини.

Динамічний спосіб визначення масштабу обґрунтовується на динамічному навантаженні пружини і здійснюється за допомогою фізичного маятника.

Міцність сільськогосподарських матеріалів при розтязі (розриванні) та стиску (роздавлюванні) визначається на приладах, які дозволяють спостерігати в статичних умовах зусилля і відповідні їм подовження (або скорочення) протягом всього процесу розтягування (або стискання) зразка до руйнування.

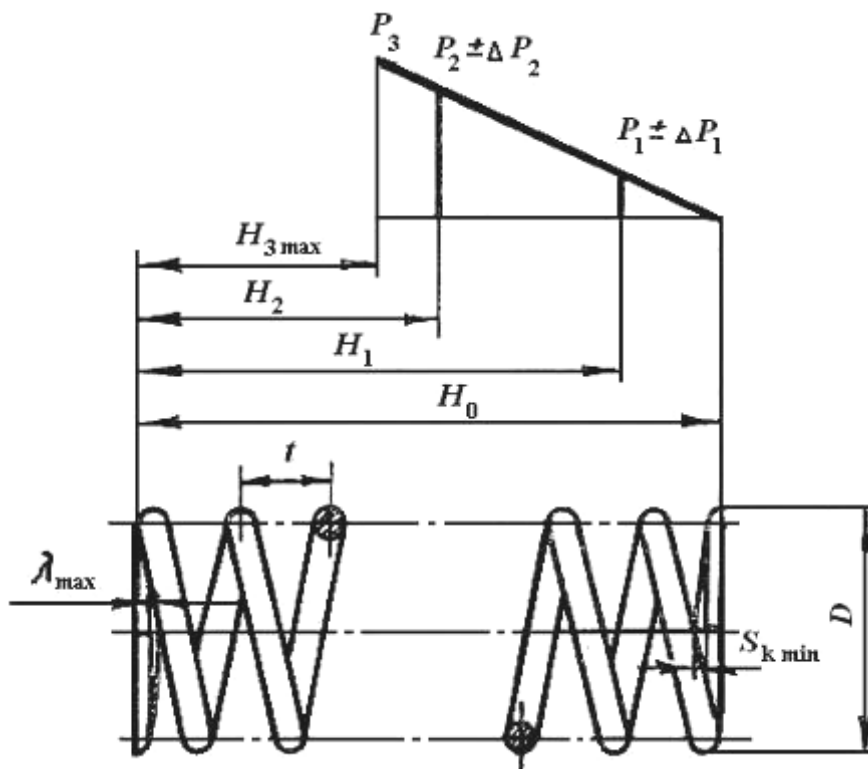


Рис. 1- Пружина стиску

Тому в цій роботі буде розглянутий статичний спосіб тарування силової ланки (пружини) приладів.

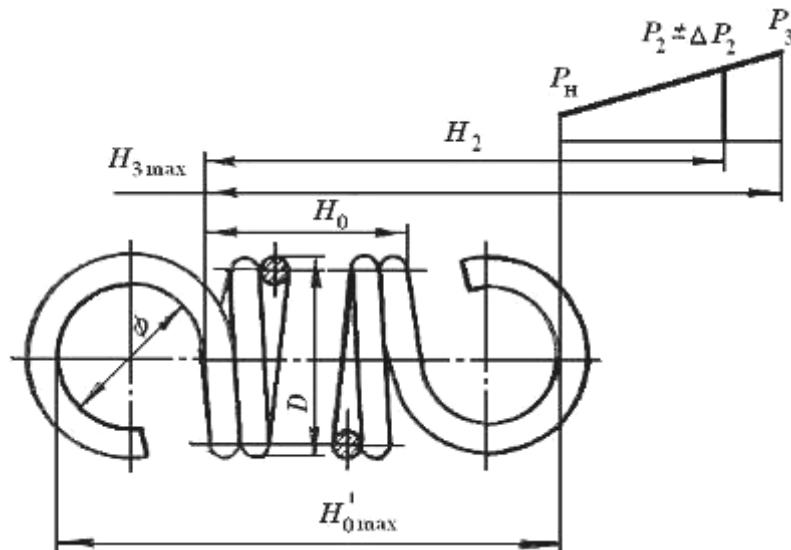


Рис. 2- Пружина розтягу

Зміст роботи

1. Зняти розміри силової пружини.
2. Скласти таблицю тарування пружини.
3. Визначити похибку приладу.
4. Визначити масштаб пружини.
5. Побудувати тарувальну криву.

Обладнання, прилади, матеріали

Для тарування необхідні пристрої. На рис. 3 представлена схема пристрою для тарування пружини стиску. Він складається із підвіски 1 для вантажу, вантажу 3 та вимірювальної лінійки 4.

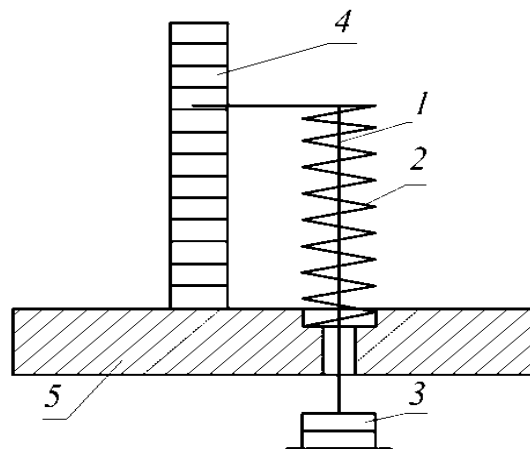


Рис. 3- Схема приладу для тарування пружини стиску:

- 1 – підвіска для вантажу з показчиком; 2 – пружина стиску; 3 – вантаж;
4 – вимірювальна лінійка; 5 – основа

На рис. 4 представлена схема пристрою для тарування пружини розтягу. Він складається із стійки 1, підвісок 2 (для пружини) та 4 (для вантажу), вантажу 5 та вимірювальної лінійки 6.

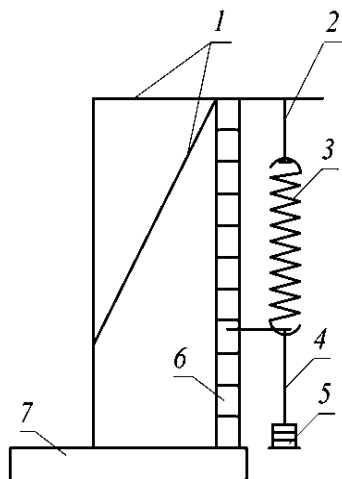


Рис. 4- Схема пристрою для тарування пружини розтягу:

1 – стійка; 2 – підвіска для пружини; 3 – пружина розтягу; 4 – підвіска для вантажу з показчиком; 5 – вантаж; 6 – вимірювальна лінійка; 7 – основа

Порядок виконання роботи

6. Зняти розміри силових пружин. Результати записати в табл. 1.

Таблиця 1- Вихідні дані силових пружин

Тип пружини	Діаметр проволочи d , мм	Зовнішній діаметр D , мм	Внутрішній діаметр D_1 , мм	Довжина гачка зачепа l_k , мм	Число робочих витків n	Довжина пружини H_0 , мм

2. Провести навантаження і розвантаження пружини. Пружину встановлюють на прилад і приводять вимірювальну систему в вихідне положення. При цьому лінійка встановлюється в нульове положення. Навантажують пружину ступенями $P_1, P_2 \dots P_n$ з інтервалом ΔP (P_1 і P_n –

відповідно мінімальна і максимальна сили, H). Число ступенів навантаження може відрізнятися від числа, яке показано на рис. 1, 2.

Навантаження кожного наступного ступеня повинно бути більшим на величину інтервалу. Після того, як буде досягнута верхня межа навантаження, пружину поступово розвантажують в зворотній послідовності з тим же інтервалом. Довжину пружини вимірюють на кожному ступеню навантаження і розвантаження.

Цикл повторюють 3 рази.

3. За одержаними даними скласти таблицю тарування приладу (табл. 1) для визначення похибки приладу, яка викликається тертям, і отримання величин, необхідних для побудови тарувальної кривої.

На кожному ступеню навантаження і розвантаження визначається середня довжина пружини $H_{\text{СЕР}}$. Для кожного ступеня визначається також максимальна різниця

$$f = H_{\text{СЕР}} - H_{\text{МИН}} \quad \text{або} \quad f = H_{\text{МАКС}} - H_{\text{СЕР}}. \quad (2)$$

Похибка приладу (%) для кожного ступеня навантаження і розвантаження визначається за формулою

$$\alpha_{\text{СТ}} = \frac{f}{H_{\text{СЕР}}} \cdot 100. \quad (3)$$

Середня похибка $\alpha_{\text{СЕР}}$ визначається як середня арифметична із похибок $\alpha_{\text{СТ}}$, одержаних для кожного ступеня

$$\alpha_{\text{СЕР}} = \frac{\sum \alpha_{\text{СТ}i} \cdot K_i}{\sum K_i}, \quad (4)$$

де $\alpha_{\text{СТ}i}$ – величина похибки i – го класу, %;

K_i – частота повторення похибки i – го класу, шт.

4. За формулою (2) визначити масштаб пружини. Побудувати тарувальну криву.\

Таблиця 2-Результати тарування силової пружини приладу

Зусилля P , Н	Деформація пружини H , мм при						Середня деформація $H_{\text{СЕР}}$, мм	Максимальна різниця f , мм	Похибка $\alpha_{\text{Сті}}$, %
	навантаженні			розвантаженні					
	1	2	3	1	2	3			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4,3	4,4	4,4	4,3	4,5	4,5	4,4	0,1	2,3
10	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3	9,3	9,2	0,1	1,1
15	13,7	13,8	13,8	14,0	14,1	13,9	13,9	0,2	1,4
20	18,2	18,3	18,6	18,4	18,4	18,6	18,4	0,2	1,1
25	22,6	22,7	22,8	22,9	22,9	23,0	22,8	0,2	0,9
30	26,6	26,7	26,8	26,6	26,7	26,8	26,7	0,1	0,4

Середня похибка приладу $\alpha_{\text{СЕР}} = 1,03$ %.

7. Тарувальна крива (рис. 5), яка виражає залежність деформації пружини приладу від навантаження, креслять на міліметровому папері за величинами P і $H_{\text{СЕР}}$, взятих із табл. 1.3 і використовується при обробці діаграм, одержаних при роботі приладу.

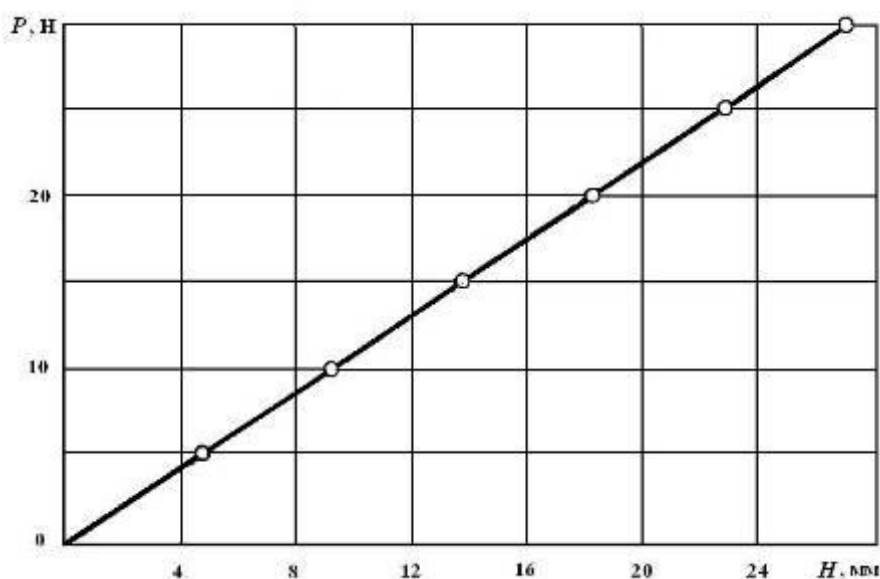


Рис. 5-Тарувальна крива силової пружини приладу

У табл. 2 наведені результати тарування силової пружини одного із приладів статичним способом і обробки цих результатів за приведеними вище формулами.

8. Оцінити результати дослідів.

Звіт

Звіт повинен включати:

1. Стислий зміст роботи.
2. Характеристику силової пружини.
3. Схему пристрою.
4. Таблицю тарування пружини.
5. Необхідні розрахунки.
6. Тарувальну криву.
7. Висновки.

Контрольні запитання

1. Як визначається масштаб пружини?
2. Що розуміють під статичним та динамічним способами тарування пружини?
3. Розповісти про будову пристрою для тарування пружини.
4. Розповісти про порядок тарування пружини.
5. Як визначаються похибка для кожного ступеня навантаження і розвантаження та середня похибка пружини?
6. Як будується тарувальна крива силової пружини?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕРІЗАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Навчитися визначати максимальне і середнє зусилля перерізання, роботу і питому роботу різання стебла рослини.

Теоретична частина

На рис. 1 наведена приблизна діаграма, яка знята під час перерізання стебла сільськогосподарської культури за допомогою приладу. Відрізок O_1O є нульовою лінією, точка O відповідає моменту зустрічі робочого органа з зразком; точка Y_1 – моменту максимального опору зразка.

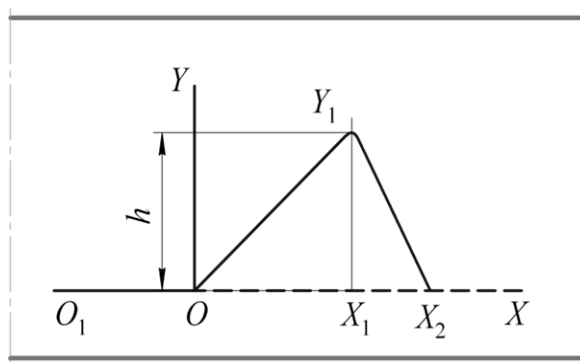


Рис. 1- Діаграма перерізання стебла

Величина максимального зусилля

$$P_{\text{MAX}} = m \cdot h, \quad (1)$$

де h – максимальна висота ординати, мм; m – масштаб пружини, Н/мм.

Величина середнього зусилля

$$P_{\text{СЕР}} = \frac{S \cdot m}{l}, \quad (2)$$

де S – площа діаграми, мм²; $l = OX_2$ – шлях робочого органа, мм.

Робота різання (Дж) визначається за формулою

$$A = 10^{-3} \cdot P_{\text{СЕР}} \cdot l. \quad (3)$$

Питома робота різання, кДж/м²

$$a = \frac{10^3 \cdot A}{S_{\text{ст}}}, \quad (4)$$

де $S_{\text{ст}}$ – площа перерізу стебла, мм².

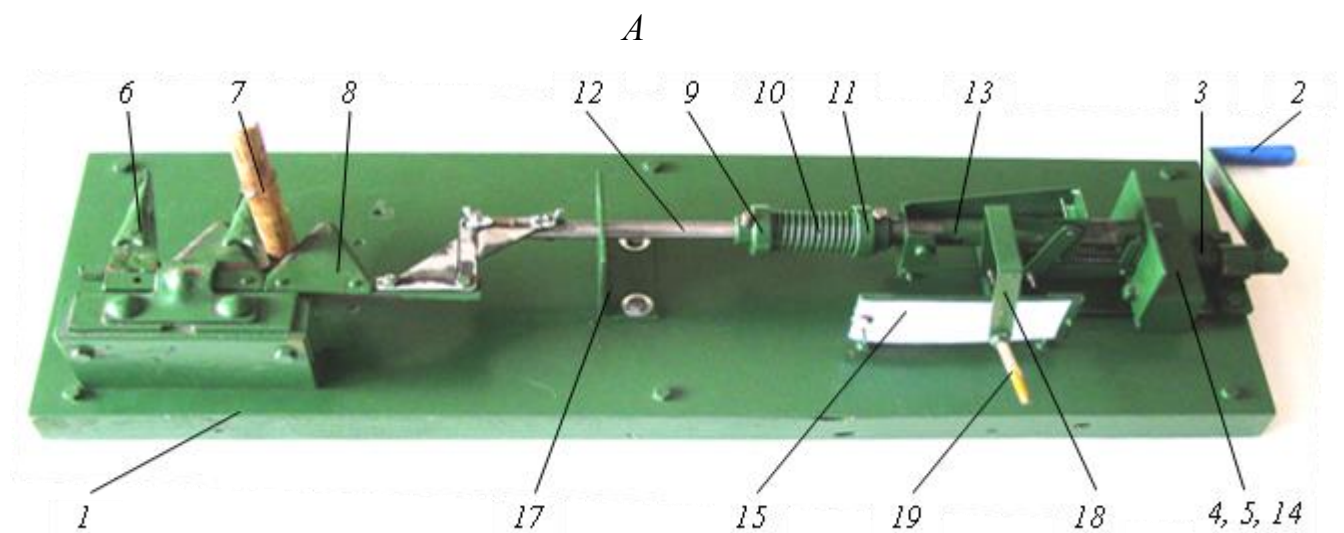
Зміст роботи

Отримати діаграми перерізання стебел або гілок сільськогосподарської культури, визначити основні механічні характеристики, виконати математичну обробку результатів дослідів, зробити висновок, написати звіт.

Обладнання, прилади, матеріали

Прилад для визначення опору рослин перерізанню, штангенциркуль, стебла рослин.

Обертанням рукоятки 2 (рис. 2) через ходовий гвинт 3 за рахунок гайки 4 і напрямних 5, які розташовані на підставці 1, приводиться в рух кронштейн 14. Кронштейн жорстко з'єднаний зі штовхачем 13. Силова пружина 10 розташована між двома втулками, які жорстко закріплені. Це відповідно права 11 на штовхачу, ліва 9 — на штокові. Останній з'єднаний з тримачем сегмента.



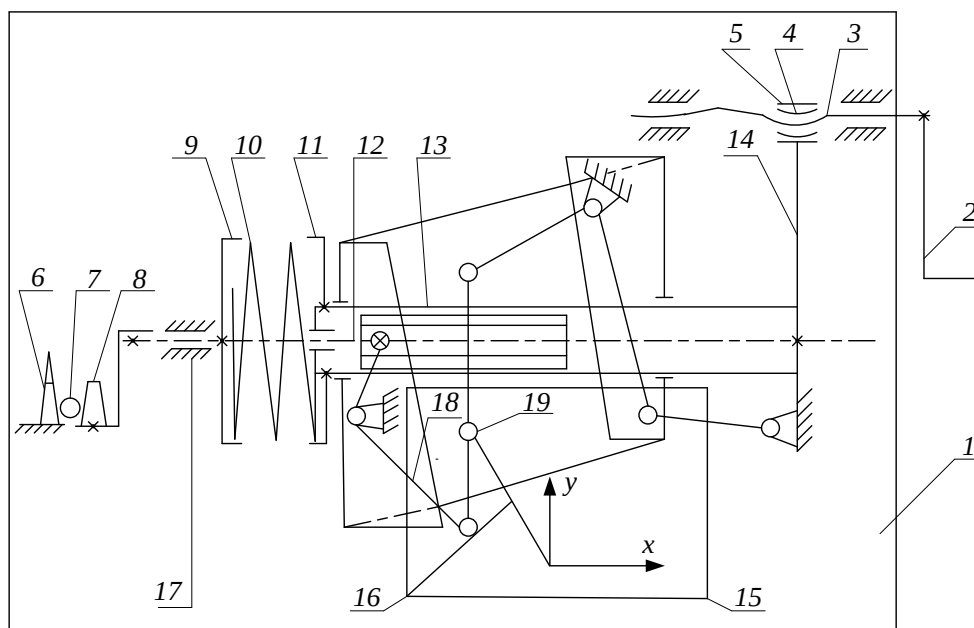


Рис. 2- Прилад для визначення характеристик перерізаня
сільськогосподарських матеріалів:

а – загальний вигляд; *б* – схема приладу; 1 – підставка; 2 – рукоятка;
3 – ходовий гвинт; 4 – гайка; 5 – напрямна; 6 – палець з протиризальною
пластиною; 7 – зразок стебла; 8 – сегмент; 9 і 11 – втулки; 10 – пружина;
12 – шток; 13 – штовхач; 14 – кронштейн; 15 – паперова стрічка; 16 –
діаграма; 17 – нерухомий кронштейн; 18 – записувальний пристрій; 19 –
олівець

Принцип роботи приладу полягає в тому, що сила опору зразка стебла 7 передається через сегмент 8 тримача і втулку 9 на силову пружину 10 і стискує її. Величина стискання пружини пропорційна силі опору зразка стебла перерізання і записується на паперовій стрічці 15.

З моменту дотикання робочого органу зі зразком останній чинить опір переміщенню штоку 12. Шток переміщується в нерухомому кронштейні 17. Сила опору передається на силову пружину і змушує її стискуватись. Величина стискання пружини записується пристроєм 18 за допомогою олівця 19 на паперовій стрічці 15 у вигляді діаграми 16.

Записувальний пристрій 18 сполучений зі штоком. Ланки цього пристрою розраховані так, що олівець переміщується у вертикальному

напрямку (вісь Y) на величину стискання пружини і в горизонтальному напрямку (вісь X) на величину переміщення штока.

При переміщенні штока до миті зустрічі робочого органа зі зразком 7 олівець записує нульову лінію в напрямку осі X .

У разі подальшого обертання рукоятки пружина долає опір зразка і він перерізується. Після цього пружина миттєво розвантажується, вона розтискується і подає шток вперед. Для зм'якшення удару штока передбачений амортизатор.

Для здійснення процесу перерізання на шток приладу закріплюють тримач ножа (рис. 3). Різальним елементом є стандартний сегмент 8, протирізальним елементом є також стандартний палець 6 з протирізальною пластиною.

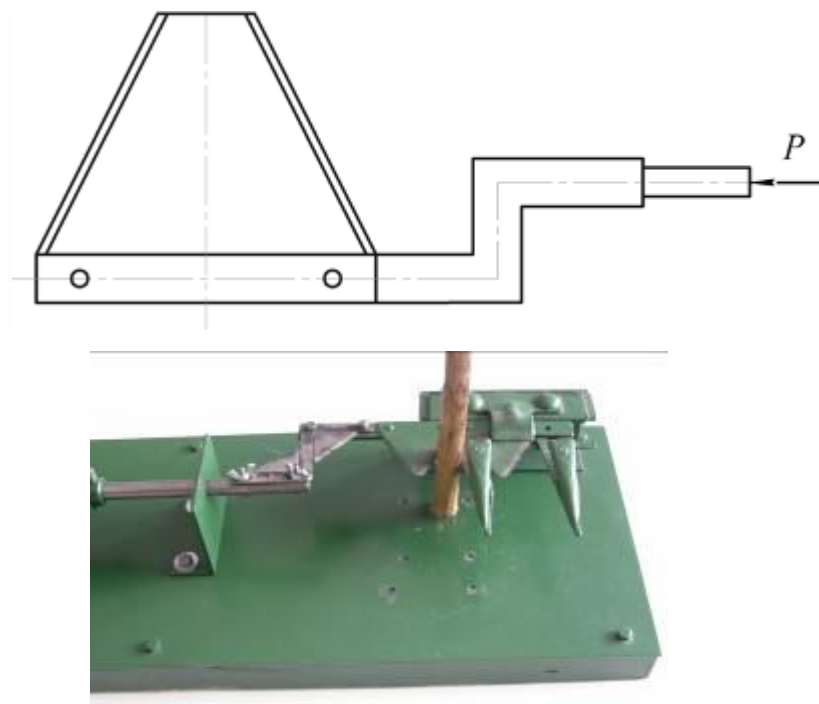


Рис. 3- Схема тримача ножа

Сегмент до тримача закріплюють гвинтами, для цього використовують два стандартних отвори в ньому.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати прилад до роботи. Для цього потрібно:

а) закріпити на передньому кінці штока тримач ножа і попереду нього змонтувати протирізальний пристрій;

б) закріпити паперову стрічку;

в) підвести до різальної пари стебло.

2. Плавним обертанням рукоятки зі швидкістю 20 хв.-1 рухому систему подати вперед до зустрічі з зразком. Одержати діаграму перерізання зразка.

3. Визначити максимальне зусилля перерізання зразка за формулою (1.).

4. Визначити середнє зусилля перерізання зразка за формулою (2).

5. Визначити роботу перерізання зразка за формулою (3).

6. Визначити питому роботу перерізання зразка за формулою (4).

7. Результати досліду записати в табл. 1.

8. Дослід провести в повторності, запропонованій викладачем.

9. Оцінити результати досліду, визначивши середньоарифметичну величину $\bar{P}$ (1), середньоквадратичне відхилення σ (2) і коефіцієнт варіації V (3).

Таблиця 1-Визначення характеристик перерізання стебел рослини

1. Сільськогосподарська культура					
2. Параметри зразка:	1	2	3	4	Середня величина
діаметр $d_{ст}$, мм					
площа перерізу $S_{ст}$, мм ²					
3. Максимальна висота ординати h , мм					
4. Максимальне зусилля $P_{МАХ}$, Н					
5. Шлях леза сегмента l , мм					
6. Середнє значення $\bar{l}$, мм					
7. Площа діаграми S , мм ²					
8. Середнє зусилля $P_{СЕРі}$, Н					
9. Середньоарифметична величина $\bar{P}$, Н					
10. Середньоквадратичне відхилення σ , Н					
11. Коефіцієнт варіації V , %					
12. Робота різання A , Дж					
13. Питома робота різання a , кДж/м ²					

Звіт

Навести стислий зміст роботи, формули і розрахунки, схему приладу, таблицю, зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Розповісти про будову і роботу приладу по перерізанню зразків стебел рослин.
2. Як визначають максимальне зусилля перерізання стебла рослини?
3. Як визначають середнє зусилля перерізання стебла рослини?
4. Як визначають роботу різання стебла рослини?
5. Як визначають питому роботу різання?
6. В яких одиницях вимірюють зусилля перерізання, роботу і питому роботу різання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС СТИСКАННЯ

Мета роботи

Визначити абсолютне і відносне подовження зразків стебел рослин, тимчасове напруження і напруження за ступенями, модуль пропорційності.

Теоретична частина

Механічні властивості сільськогосподарських культур дуже мінливі і залежать від сорту рослини, фаз її розвитку, кліматичних умов, агротехніки тощо. У зв'язку з цим слід провести багато дослідів, щоб отримати об'єктивну характеристику механічних властивостей окремих рослин. Однак практично під час проведення лабораторних робіт зробити це неможливо.

Рослинні тканини характеризуються волокнистістю, неоднорідністю великою відмінністю за опором уздовж і уперек волокон. У міру підсихання рослинні тканини набувають дедалі більшої гігроскопічності. У зв'язку з цим на їх характеристики значною мірою впливає вологість навколишнього середовища.

Для рослинних матеріалів лінійна залежність зусилля і подовження стебла має місце майже до початку його руйнування. Межа пропорційності і межа міцності настільки близькі одна до одної, що різницю між ними не завжди можна виявити. Це дає змогу застосовувати закон Гука під час аналізу руйнування рослин. Під час визначення напруження важко встановити площу поперечного перерізу стебла. У товщині стебла є внутрішня порожнина, яка порушує неперервність матеріалу. Крім геометричної площі перерізу іноді доводиться обчислювати фізичну площу поперечного перерізу стебла.

Стебло рослини закріплюють у затискачах, конструкція яких має забезпечувати якомога менше розплющування його кінців.

На величину розривного зусилля істотно впливає тривалість дії навантаження. Збільшення тривалості навантаження супроводжується зменшенням руйнівного зусилля. У зв'язку з цим під час дослідів на розривному обладнанні приймають швидкість навантаження при опусканні нижнього затискача 200 мм/хв.

Довжина стебел також впливає на величину руйнівного зусилля, оскільки довге стебло має велику різницю поперечних перерізів кінців зразка. У разі досліджень на розрив зразки беруть із певного місця висоти стебла. Для кожної сільськогосподарської культури встановлено власні величини затискної довжини стебла. Для більшості сільськогосподарських культур - це 100 мм.

Основні характеристики визначають за діаграмою Р-Δl (рис. 1), яку отримують під час розтягання зразка.

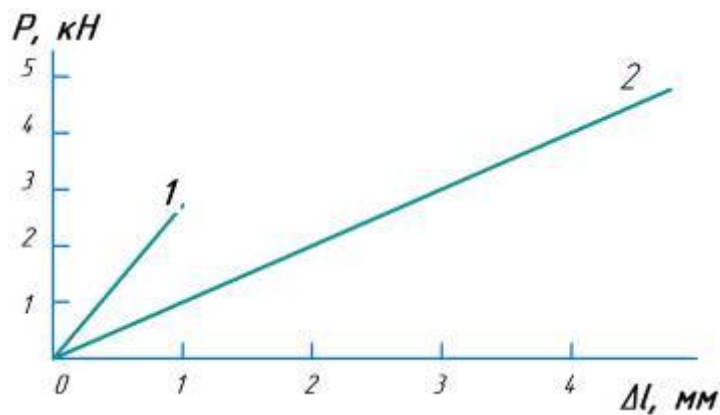


Рис. 1- Діаграма розтягування стебел кукурудзи (1) та соняшнику (2).

Відносне подовження зразка (%) стебла визначають за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \quad (1)$$

Де Δl — абсолютне подовження зразка стебла, мм; l — початкова зразка стебла, мм.

Нормальне напруження (межа міцності, МПа):

$$\sigma_p = \frac{P_{max}}{F} \quad (2)$$

Де $P_{\max}$ - максимальне (руйнівне) зусилля, Н; P - площа перерізу зразка стебла, мм². Модуль пропорційності (МПа):

$$E = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (3)$$

де: σ_i – напруження зразка на i -му ступені розтягання, МПа; ε_i – відносна деформація i -го ступеня розтягання.

Методика виконання роботи

Отримати діаграму розтягання зразка стебла сільськогосподарської культури, визначити основні механічні характеристики, виконати математичну обробку результатів дослідів.

1. Приготувати прилад до випробування.

Для цього потрібно, установити прилад горизонтально (за рівнем); підійняти рукоятку ексцентрика для переведення силовиміральної частини в неробоче положення; відкрити кожух і встановити на призми потрібну пружину, закрити кожух і опусканням рукоятки ексцентрика перевести прилад у робоче положення; перевірити правильність зіткнення гвинта кронштейна з ніжкою індикатора; установити шкалу індикатора на нуль.

2. Приготувати зразок для дослідів. Довжину зразка стебла визначити за формулою (6). Зазвичай із стебла рослини вирізають певну частину, *наприклад середнє* міжвузля. Виміряти діаметр середньої частини зразка (місце, де очікується розривання). Зразок оглянути, ушкоджені зразки відкинути.

3. Зразок закріпити у затискачах: спочатку у верхньому, потім у нижньому.

Щоб уникнути ушкодження зразка в затискачах, у кінці порожнистих стебел рослин уставляють дерев'яні шпильки, після чого затискачі міцно згвинчують.

4. Випрямити зразок обертанням рукоятки маховика до початку переміщення стрілки індикатора. Цей момент вважати початком дослідів.

Зафіксувати покази лічильника та індикатора.

5. Постійно через певне число обертів рукоятки фіксувати покази лічильника та індикатора. Результати досліду записати в табл. 1.

Навантаження зразка проводити до його руйнування. Якщо зразок розірветься (МПа) в зразку, яке виникає на кожному ступені розтягання, за формулою

$$\sigma_i = \frac{P_i}{F}, \quad (6)$$

де: P - сила, прикладена до зразка на даному ступені навантаження, Н;
 F - площа поперечного перерізу зразка, мм².

6. Визначити тимчасовий опір зразка стебла за формулою (2).

7. Визначити відносне подовження зразка стебла за формулою (1).

8. Визначити модуль пропорційності за формулою (3).

9. Результати обчислень записати в табл. 1.

Таблиця 1– Результати визначення характеристик міцності зразків стебел рослин під час розтягування

1. Сільськогосподарська культура	Номер досліду				
2. Параметри зразка стебла затискна довжина 1,мм діаметр, мм площа перерізу г, мм	I	2	3	4	Середня величина
3. Ступені дослідів	1	2	3	4	5
4. Величина деформації пружини h , мм					
5. Середня величина h , мм					
6. Сила навантаження P_i , Н					
7. Середня арифметична величина P_i , Н					
8. Середнє квадратичне відхилення σ , Н					
9. Коефіцієнт варіації V , %					
10. Напруження на ступені а., МПа					
11. Тимчасове напруження σ I, МПа					

12. Переміщення нижнього затискача H_i , мм					
13. Абсолютне подовження зразка Δl мм					
14. Відносне подовження зразка E , %					
15. Модуль пропорційності E , МПа					

10. Дослід повторити запропоноване викладачем число разів.

11. Оцінити результати досліду, визначити середню арифметичну величину (1), середнє квадратичне відхилення σ (2) і коефіцієнт варіації V (3).

12. Побудувати залежність $P_i(o_i) = f(\Delta l)$ або $P_i(o_i) = F(E)$.

Звіт

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Теоретична частина.
4. Методика виконання роботи.
5. Результати розрахунків.
6. Висновки.

Контрольні запитання

1. Розповісти про будову і роботу приладу для розтягання зразків стебел рослин.
2. За якою формулою визначають довжину зразка стебла?
3. Як визначають абсолютне подовження зразка стебла?
4. Як визначають відносне подовження зразка стебла?
5. Як визначають тимчасовий опір зразка стебла рослини?
6. Як визначають зусилля, прикладене до зразка стебла на даному етапі розтягання?
7. Як визначають модуль пропорційності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ОБМОЛОЧУВАНOSTІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Мета роботи

Навчитися визначати показники обмолочування сільськогосподарських культур.

Теоретична частина

Якість роботи молотильних пристроїв залежить насамперед не стільки від самого молотильного пристрою, скільки від фізико-механічних властивостей і стану обмолочуваної культури. Під час обмолочування робота в основному витрачається на протягування соломи крізь зазори між барабаном і декою, оскільки соломи переробляється більше, ніж зерна за масою в середньому в 1,5 рази, за об'ємом - у 50 разів.

В результаті цього молотильний пристрій на відділення однієї зернини витрачає енергії приблизно в 100 разів більше, ніж її потрібно для подолання зв'язку зерна за ідеального процесу.

Одним із приладів, який дає змогу визначити роботу, потрібну для відділення однієї зернини від колоса і встановити вплив на величину цієї роботи різних факторів (сорт, стиглості, вологості, розміру і маси зерна, морфологічних особливостей колоса (волоті) та ін.), є класифікатор обмолочування.

У приладі за допомогою пружини колосу надають певної швидкості. Отримана зерном кінетична енергія витрачається на видалення його з колоса. Швидкість змінюється в широкому діапазоні. Знаючи кінцеву швидкість (момент удару важеля об обмежувач) і масу зернини, можна обчислити кінетичну енергію, яку мала зернина перед відділенням із колоса. Обчислену так енергію приблизно приймають за роботу відділення зерна від колоса.

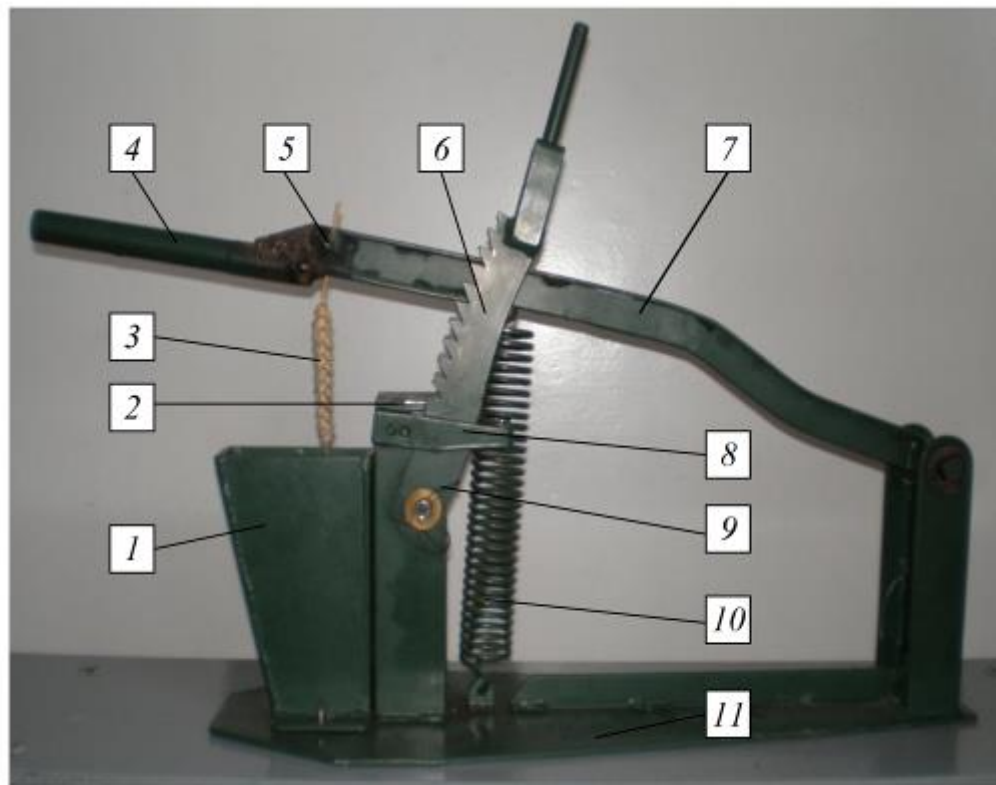


Рис. 1 - Класифікатор обмолочування зернових культур

1 – знімний стакан; 2 – амортизатор; 3 – колос; 4 – рукоятка; 5 – цанга; 6 – гребінка; 7 – важіль; 8 – обмежувач; 9 і 10 – пружини; 11 – корпус

Зміст роботи

Вивчити прилад для визначення обмолочування сільськогосподарських культур, визначити відносні та енергетичні показники обмолочування, оцінити отримані результати досліду.

Побудувати криві відносних та енергетичних показників обмолочування.

Обладнання, прилади, матеріали

Класифікатор обмолочування, зразки колосків сільськогосподарських культур, терези.

Схему приладу подано на рис. 1. Прилад складається з таких основних частин: корпуса 11, важеля 7, стакана 1, рукоятки 4, гребінки 6, лівого і правого обмежувачів 8, затискної цанги 5 з гайкою, пружини 10 та амортизатора 2.

Корпус 11 приладу складається з опорної плити, стояка та опорного бруса.

До верхнього кінця стояка шарнірно приєднаний важіль.

Вільний кінець важеля спирається на амортизатор 2, закріплений на опорному брусі. У вільний кінець важеля встановлено цангу 5, до якої прилаштовано гайку, призначену для затискання колоса.

Важелю надано зігнутої форми з таким розрахунком, щоб центр ваги закріпленого колоса за його нульового положення розташовувався приблизно на горизонтальній лінії, яка проходить через центр обертання важеля, тобто щоб швидкість центра ваги колоса була спрямована вертикально.

Гребінка 6 зі штирем прикріплена до опорного бруса; на кінцях штиря встановлено пружину 8, кінці якої обхоплюють праву і ліву планки гребінки.

Пружина 9 забезпечує заціпання гребінки, а обмежувачі 8, встановлені у верхній частині опорного бруса, обмежують її відхід у разі опускання важеля.

Стакан 1 знімний. Важіль із нульового положення підіймають у робоче рукояткою 4, при цьому кінці пластинки важеля з обох боків кладуться відповідно на зубці опорної частини гребінки. Кожна планка гребінки має по 10 зубців, що відповідає 10 ступеням (класам) приладу.

Підіймання важеля на наступну пару зубців відповідає певному розтягу пружини 10.

Легким поштовхом руки на верхню частину гребінки важіль вивільняють і, залежно від ступеня розтягу пружини і ступеня його підіймання він набуває певної швидкості.

У нижньому положенні важіль ударяється об гумовий амортизатор і миттєво зупиняється. Разом із важелем зупиняється і закріплений на його кінці колос, а запас кінетичної енергії кожної зернини витрачається на роботу відділення її від колоса.

Зерно виділяється з колоса в тому разі, коли сила інерції, що діє на зернину в момент зупинки колоса, за величиною перевищує силу зв'язку її з колосом.

Сила інерції зернини дорівнює добутку її маси на прискорення, а останнє залежить від величини швидкості перед ударом, пружності амортизатора і пружності самого колоса.

Зерна падають у стакан. Вимолочені зерна підраховують і зважують.

Порядок виконання роботи

1. Колос за допомогою цанги і гайки закріпити в приладі за кінець соломини верхівкою вниз.

2. Колос підлягає одноразовому удару послідовно, починаючи з першого ступеня (класу), і на кожному наступному ступені до повного вимолочування всього зерна. На останньому, десятому ступені приладу у разі потреби допускається триразовий удар. Усе зерно, яке залишилося після цього в колосі, вважають недомолотом.

3. Після кожного удару вимолочене зерно вийняти із стакана, порохувати і зважити з точністю до 0,01 г. Недомолот вимолотити вручну. Дослід повторити чотири рази (для чотирьох колосів).

Результати дослідів записати в табл. 1.

4. Оцінити результати дослідів, визначити середню арифметичну величину, середнє арифметичне відхилення і коефіцієнт варіації.

5. Визначити відносні показники обмолочування для кожного ступеня приладу (швидкості) так, щоб маса зерна, яке відділилося на цьому ступені, була виражена у відсотках до загальної маси зерна в досліджуваних колосах. Недомолот також виразити у відсотках.

6. За відносними показниками побудувати криву обмолочування сільськогосподарської культури в координатах ступінь приладу (швидкість, м/с) - відносні показники обмолочування, %.

7. Оцінити якість обмолочування за такими елементами:

- ступінь, на якому починається вимолочування зерна сільськогосподарської культури (поріг обмолочування);
- число ступенів, на яких досягається певне вимолочування зерна з колоса (діапазон обмолочування);
- ступінь, на якому зафіксовано максимальне вимолочування зерна (вища точка кривої);
- наявність і розмір недомолоту.

8. Визначити енергетичні показники обмолочування для кожного ступеня приладу (швидкості) за формулою

$$A = \frac{m_z \cdot v_k^2}{2000},$$

де m_z - маса однієї зернини, кг; v_k - швидкість центра ваги колоса перед ударом для даного ступеня (класу), м/с.

9. Побудувати графічну залежність енергетичних показників обмолочування від швидкості удару.

Таблиця 1 - Результати вимірювань і обчислень показників обмолочування колоса сільськогосподарської культури

Ступінь	Швидкість, м/с	Вимолочування зерна за число повторень дослідів										Маса однієї зернини, г	Показник обмолочування	
		1		2		3		4		Всього на ступені			Відносні, %	Енергетичні, Дж
		шт.	г	шт.	г	шт.	г	шт.	г	шт.	г			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,8													
2	3,6													
3	5,4													
4	7,2													
5	9,0													
6	10,8													

7	11,6													
8	14,4													
9	16,2													
10	18,0													
Всього														
Недомотот														
Разом														

Звіт

Навести стислий зміст роботи, схему та опис приладу, формули і необхідні розрахунки, результати вимірювань і обчислень відносних та енергетичних показників вимолочування зерна з колоса сільськогосподарської культури (табл.1). Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Розповісти про принцип роботи класифікатора обмолочування.
2. Як визначають відносні показники обмолочування? В яких одиницях визначають цей показник?
3. Як визначають енергетичні показники обмолочування? В яких одиницях визначають цей показник?
4. Дати оцінку якості обмолочування сільськогосподарської культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навч. посібник О.М. Царенко, С. С. Яцун, М. Я. Довжик, Г. М. Олійник; За редакцією С. С. Яцуна. – К.: Аграрна освіта, 2000. – 243 с.
2. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум: Навч. посібник Д. Г. Войтюк, О.М. Царенко, С. С. Яцун, М. Я. Довжик, Г. М. Олійник; За редакцією С. С. Яцуна. – К.: Аграрна освіта, 2000. – 93 с.
3. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник: О.М. Царенко, Д. Г. Войтюк та ін.; За редакцією С. С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум: Навч. посібник С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.С. Головченко, О.М.Калнагуз, Ю.В.Сіренко; За редакцією С.С. Яцуна. – Суми.: СНАУ, 2011.– 143 с.
5. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : Курс лекцій. / К. М. Думекно, І. С. Павлюченко. –Миколаїв : МНАУ, 2014. – 39с.
6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Конспект лекцій (частина 3) для студентів 1 с.т. та 3 курсів, денної форми навчання галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство», напряму підготовки: 208 «Агроінженерія». – Суми: СНАУ, 2021. – 71 с., 40 рис., (укладач: ст.. викладач Калнагуз О.М.) Протокол НМР ІТФ № 5 від 30.04.21.
7. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Конспект лекцій (частина 2) для студентів 1 с.т. та 3 курсів, денної форми навчання галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство», напряму підготовки: 208 «Агроінженерія». – Суми: СНАУ, 2020. – 47 с., 40 рис., (укладач: ст.. викладач Калнагуз О.М.) Протокол НМР ІТФ № 5 від 30.03.20.
8. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи для студентів 1 с.т. та 3 курсів, денної форми навчання галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство», напряму підготовки: 208 «Агроінженерія». – Суми: СНАУ, 2020. – 58 с., 14 рис. Укладач: ст. викладач Калнагуз О. М., Протокол НМР ІТФ № 5 від 30.03.20.
9. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи з дисципліни «Механіко-технологічні властивості с.г. матеріалів» на тему: «Фізико-механічні властивості луб'яних культур» для студентів 3 курсу ІТФ з напряму підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання АПВ», денної форми навчання ОКР «БАКАЛАВР» Автори: старші викладачі

Головченко Г.С., Калнагуз О.М.; асистент Сіренко Ю.В. Протокол № 9_. Вчена рада ННІТІ від « 22 » травня 2012 року.

10. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи на тему: «Фізико-механічні властивості луб'яних культур» для студентів 1 курсу (скороченого терміну навчання) інженерно-технологічного факультету з напрямку підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання АПВ», денної форми навчання ОКР «БАКАЛАВР». Автори старші викладачі: Головченко Г.С., Калнагуз О.М.; асистент Сіренко Ю.В. Протокол № 7_. Вчена рада ННІТІ від « 18 » березня 2013 року.

11. Конспект лекцій з дисципліни механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів для студентів 4 курсу заочної форми навчання з напрямку підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання АПВ», ОКР «БАКАЛАВР». Автори старші викладачі: Головченко Г.С., Калнагуз О.М.; асистент Сіренко Ю. В. Протокол № 7_. Вчена рада ННІТІ від « 18 » березня 2013 року.

12. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи на тему: «Фізико-механічні властивості кормових трав» для студентів 3 курсу ІТФ з напрямку підготовки 6.100102 «Процеси, машини та АПВ», денної форми навчання ОКР «БАКАЛАВР». Автори старші викладачі: Головченко Г.С., Калнагуз О.М.; асистент Сіренко Ю. В. Протокол № 7. Вчена рада ННІТІ від « 18 » березня 2013 року.

13. Механіко-технологічні властивості с.г. матеріалів. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт для студентів 4 курсу заочної форми навчання з напрямку підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання АПВ», освітньо-кваліфікаційного рівня «БАКАЛАВР». Автори старші викладачі: Головченко Г.С., Калнагуз О.М.; асистент Сіренко Ю.В. Протокол № 7. Вчена рада ННІТІ від «18» березня 2013 року..

14. Конспект лекцій (частина 1) з дисципліни «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів» для студентів 3 курсу інженерно-технологічного факультету з напрямку підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання АПВ», денної форми навчання ОКР «БАКАЛАВР». Автори: старші викладачі Головченко Г.С., Калнагуз О. М.; асистент Сіренко Ю. В. Протокол № 9_. Вчена рада ННІТІ від « 22 » травня 2012 року.

15. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Механіко-технологічні властивості с.г. матеріалів" для студентів аграрних вузів зі спеціальності 6.091902- "Механізація с.г." / Національний аграрний університет (К.); Уклад. А. Г. Куценко. - К. : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2007.- 52 с.

КАЛНАГУЗ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

БАТЮК ЛЮДМИЛА МИКОЛАЇВНА

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки до виконання лабораторно- практичних робіт

**для здобувачів 2 та 1 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія»
денної та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти
«бакалавр»**

Суми, РВВ, Сумський НАУ, вул. Герасима Кондратьєва, 160

Підписано до друку „ ____ “ _____ 2026 рік. Тираж 50 прим.

Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 5,0. Формат А5. Замовл. __.
