

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ**

Конспект лекцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра АГРОІНЖИНІРИНГУ

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ**

Конспект лекцій

**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. Конспект лекцій** 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. – 121с..

Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина першого (бакалаврського) рівня вищої освіти призначений для ознайомлення з: з: основними властивостями ґрунту як об'єкта обробітку; основними властивостями насіння та компонентів зернової маси як об'єкта післязбиральної обробки; властивостями добрив як об'єкта механізованого внесення в ґрунт; властивостями пестицидів, які використовують для захисту рослин та методиками визначення основних властивостей рослинних матеріалів під час приготування кормів..

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 1. Вступ. Загальна класифікація механіко-технологічних властивостей с.г. матеріалів	2
Тема 2. Фізичні властивості ґрунтів	2
Тема 3. Технологічні властивості ґрунтів	4
Тема 4. Основи агромеханіки ґрунтів	2
Тема 5. Властивості зерна як посівного матеріалу	2
Тема 6. Механіко-технологічні властивості мінеральних та органічних добрив як об'єкта механізованого внесення в ґрунт	4
Тема 7. Механіко-технологічні властивості стебел сільськогосподарських культур у період скошування"	2
Тема 8. Властивості компонентів зернової маси як об'єкта збирання, очищення та сушіння	4
Тема 9. Опір сільськогосподарських матеріалів під час приготування кормів	4
Тема 10. Механіко-технологічні властивості матеріалів хімічного захисту рослин	4
Разом годин:	30

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1 ВСТУП. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ С.Г. МАТЕРІАЛІВ	5
1.1 Мета і задачі дисципліни. Її місце в підготовці фахівців сільськогосподарського виробництва	5
1.2 Взаємозв'язок з іншими дисциплінами	7
1.3 Види навчальної діяльності студентів, види навчальних занять, форми контрольних заходів	8
1.4 Короткий історичний огляд розвитку дисципліни	9
1.5 Види сільськогосподарських матеріалів, загальна характеристика	11
ЛЕКЦІЯ 2 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ.....	13
2.1 Гранулометричний склад ґрунтів	13
2.2 Структурно-агрегатний склад ґрунтів	14
2.3 Кам'янистість ґрунтів	15
2.4 Об'ємна маса ґрунтів	15
2.5 Пористість ґрунту	16
2.6 Вологість ґрунтів	17
2.7 Колір ґрунтів	17
ЛЕКЦІЯ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ	19
3.1 Здатність ґрунтів кришитись	19
3.2 Твердість та коефіцієнт тертя ґрунтів	20
3.3 Опір деформуванню	22
ЛЕКЦІЯ 4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ	24
4.1 Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів	24
4.2 Опір зсуву, внутрішнє тертя, зв'язність ґрунтів	25
4.3 Питомий опір під час оранки	26
4.4 Липкість ґрунтів	27
ЛЕКЦІЯ 5 ОСНОВИ АГРОМЕХАНІКИ ҐРУНТІВ.....	29
5.1 Поняття про оптимальну об'ємну масу ґрунтів	29
5.2.Завдання і види обробітку ґрунту	30
5.3.Моделі ґрунту за дії на нього робочих органів сільськогосподарських машин	31
5.4 Основи механіки суцільних деформованих середовищ	37
5.5 Реологічна модель ґрунту. Реологічні властивості ґрунту як об'єкта сільськогосподарського виробництва	39
ЛЕКЦІЯ 6 ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯК ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ	43
6.1 Форма, стан поверхні і маса насіння	43
6.2 Фрикційні властивості насіння	45
6.3 Витікання зерна через отвори	46
6.4 Передача руху через сухе тертя в «активному шарі» насіння	48
6.5 Стійкість насіння проти пошкодження висівними апаратами сівалок	49
ЛЕКЦІЯ 7. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ ЯК ОБ'ЄКТА МЕХАНІЗОВАНОГО ВНЕСЕННЯ В ҐРУНТ	52
7.1 Властивості твердих мінеральних добрив: об'ємна маса, гранулометричний склад, гігроскопічність, злеглість, сипкість, розсіюваність, склепінеутворення	52
7.2 Опір зсуву, коефіцієнти тертя, кути природного укосу та обвалу, прилипання, аеродинамічні властивості, розчинність, змішування	57
ЛЕКЦІЯ 8. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ ЯК ОБ'ЄКТА МЕХАНІЗОВАНОГО ВНЕСЕННЯ В ҐРУНТ	60
8.1 Об'ємна маса, опір гною розриванню, міцність при стисканні, опір зсуву	60
8.2 Фрикційні властивості, липкість, аеродинамічні властивості твердого гною	60
ЛЕКЦІЯ 9 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТЕБЕЛ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У ПЕРІОД СКОШУВАННЯ	65
9.1 Механічні властивості	65
9.2 Коефіцієнт взаємодії стебел	70
9.3 Орієнтація стебел в просторі	71
9.4 Фрикційні властивості стебел	72
ЛЕКЦІЯ 10 ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ЯК ОБ'ЄКТА ЗБИРАННЯ, ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ	74
10.1 Структурні характеристики	74
10.2 Аеродинамічні властивості зерен та часточок зернового вороху	75
10.3 Щільність зерен	77
10.3 Електричні властивості зерен. Колір зерен	78
10.5 Пошкодження зерна машинами при очищенні та сортуванні	79
ЛЕКЦІЯ 11 ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ЯК ОБ'ЄКТА ЗБИРАННЯ,	

ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ	80
11.1 Характеристика окремого зерна	80
11.2 Характеристика зернової маси.....	81
11.3 Механіко-технологічні властивості продуктів обмолоту	82
11.4 Умови роботи зернозбиральних машин.....	83
11.5 Теплофізичні властивості зерна.....	84
ЛЕКЦІЯ 12 ОПІР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ МЕХАНІЧНІЙ ДІЇ ПІД ЧАС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ.....	87
12.1 Основи теорії подрібнення кормів.....	87
12.2 Технологічні властивості зернових кормів.....	88
12.3 Технологічні властивості стеблових кормів	89
ЛЕКЦІЯ 13 ОПІР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ МЕХАНІЧНІЙ ДІЇ ПІД ЧАС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ.....	92
13.1 Реологічні властивості кормів.....	93
13.2 Моделювання реологічних властивостей	94
13.3 Вплив основних факторів на якісні та енергетичні показники гранул та брикетів	95
ЛЕКЦІЯ 14 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН	99
14.1 Класифікація пестицидів за об'єктами застосування і складом діючої речовини	99
14.2 Поняття кумуляції, токсичності.....	101
14.3 Форми пестицидів.....	102
14.4 Препаративні та робочі форми.....	103
ЛЕКЦІЯ 15 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН	106
15.1 Властивості робочих матеріалів для хімічного захисту рослин	106
15.2 Обписування	109
15.3 Взаємозв'язок діаметра, кількості крапель і розміру обробленої площі.....	111
15.4 Дисперсність робочої рідини	113
15.4 Показник змочуваності поверхні	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	117

ЛЕКЦІЯ 1 ВСТУП. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ С.Г. МАТЕРІАЛІВ

План лекції

1. Задачі дисципліни. Її місце в підготовці фахівців сільськогосподарського виробництва.
2. Взаємозв'язок з іншими дисциплінами.
3. Види навчальної діяльності студентів, види навчальних занять, форми контрольних заходів.
4. Короткий історичний огляд розвитку дисципліни.
5. Види сільськогосподарських матеріалів, загальна характеристика.
6. Рекомендована навчальна література та інші дидактичні засоби.

1.1 Мета і задачі дисципліни. Її місце в підготовці фахівців сільськогосподарського виробництва

Мета: є вивчення впливу механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів на робочі процеси сільськогосподарських машин, визначення оптимальних параметрів і режимів роботи сільськогосподарських машин, пов'язаних з властивостями сільськогосподарських матеріалів, пошуки шляхів використання цих властивостей для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, пошуки альтернативних технологій обробки ґрунту, посіву, внесення добрив, обробки з шкідниками, збирання кормових і зернових культур, їх переробка і зберігання.

Знання механіко-технологічних властивостей с.-г. матеріалів дозволить поліпшити структуру ґрунтів, зменшення їх руйнації під колесами МТА, вивчити фактори, які впливають на зміну цих властивостей – фізичних, хімічних, біологічних, природних, антропогенних та зменшити їх дію на сільськогосподарські матеріали

В результаті вивчення освітнього компонента здобувачі вищої освіти

отримують знання з фізичних, технологічних властивостей ґрунту та основ агромеханіки; характеристики і параметрів сипких матеріалів, властивостей зерна як посівного матеріалу, властивостей компонентів зернової маси як об'єктів сушіння та очищення, механіко-технологічні властивості добрив як об'єкта механізованого внесення в ґрунт, матеріалів хімічного захисту рослин; з фізико-механічних властивостей елементів стебла, загальних методів визначення показників механічних та технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, умов роботи зернозбиральних машин, механіко-технологічних властивостей стебел і продуктів обмолоту під час збирання, з опору сільськогосподарських матеріалів механічній дії під час приготування кормів, з механіко-технологічних властивостей коренебульбоплодів, овочево-баштанних, лубоволокнистих і наркотичних культур, кормових трав

Реалізації кожного технологічного процесу сприяють: знання властивостей об'єктів обробки; конкретизація вимог до виду і стану продукту, який одержують у результаті обробки; розуміння суті технологічного процесу, який потрібно організувати відповідно до специфічних властивостей об'єкта обробки.

Завдання:

- оволодіння студентами навиками проведення експериментальних досліджень з визначення механіко технологічних властивостей с.г. матеріалів і застосування цих показників при проектуванні сільськогосподарської техніки.

- ознайомитись з методиками визначення основних властивостей ґрунту; визначення основних параметрів і властивостей сипких матеріалів; з методиками визначення основних властивостей рослинних матеріалів під час збирання;

- набути навичок по визначенню вологості, твердості, коефіцієнта об'ємного зминання, липкості методами відривання та зсуву ґрунту; по визначенню залежності граничного дотичного напруження сипкого матеріалу

від нормального напруження, кутів насипання, обвалення сипких матеріалів та параметрів склепінеутворювального отвору, характеристик внутрішнього тертя сипких матеріалів, розмірних характеристик зерна, аеродинамічних властивостей компонентів насіннєвих сумішей; по визначенню характеристик статичного і динамічного тертя рослинних матеріалів по різних поверхнях, по таруванню пружин приладів з визначення механічних характеристик перерізання, під час стискання, розтягання, при згинанні консольно закріпленого стебла, показників обмолочуваності сільськогосподарських культур, зусиль відриву колосків від плодоніжок волоті

Дисципліна є базовою для формування професійних компетентностей майбутнього фахівця з освітньої програми «Агроінженерія».

Вона забезпечує:

- розуміння фізичної сутності технологічних процесів;
- правильний вибір технічних засобів;
- обґрунтування параметрів машин;
- підвищення ефективності виробництва;
- зниження енерговитрат.

1.2 Взаємозв'язок з іншими дисциплінами

Основа освітнього компонента базується на використанні знань із землеробства, рослинництва, математики, фізики, тощо.

Компетентності, розвинені в освітньому компоненті, необхідні для формування у здобувачів вищої освіти системи знань і вмінь з розкриття взаємозв'язку і взаємо-зумовленості сукупності закономірностей, які пояснюють основні явища і процеси, що відбуваються в машині.

Освітній компонент базується на освітніх компонентах: «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Машини і обладнання для тваринництва», «Машини і обладнання для переробки с.г. продукції», «Сільськогосподарські машини».

Освітній компонент є основою для освітнього компонента «Теоретична механіка та механіка матеріалів і конструкцій», «Виробнича практика», «Сільськогосподарська техніка»,

1.3 Види навчальної діяльності студентів, види навчальних занять, форми контрольних заходів

Види навчальних занять:

- лекції;
- лабораторно-практичні роботи;
- самостійна робота студентів;
- індивідуальні завдання;
- консультації.

Набудуть навичок по визначенню вологості, твердості, коефіцієнта об'ємного зминання, липкості методами відривання та зсуву ґрунту; по визначенню залежності граничного дотичного напруження сипкого матеріалу від нормального напруження, кутів насипання, обвалення сипких матеріалів та параметрів склепінеутворювального отвору, характеристик внутрішнього тертя сипких матеріалів, розмірних характеристик зерна, аеродинамічних властивостей компонентів насіннєвих сумішей; по визначенню характеристик статичного і динамічного тертя рослинних матеріалів по різних поверхнях, по таруванню пружин приладів з визначення механічних характеристик перерізання, під час стискання, розтягання, при згинанні консольно закріпленого стебла, показників обмолочуваності сільськогосподарських культур, зусиль відриву колосків від плодоніжок волоті.

Вільне володіння методами ідентифікації та дослідження систем, яке отримають студенти, вони зможуть по достоїнству оцінити в ході проведення науково-дослідних робіт та виконання завдань із курсового та дипломного проектування.

1.4 Короткий історичний огляд розвитку дисципліни

Розвиток дисципліни «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів» нерозривно пов'язаний із становленням механізації сільського господарства та необхідністю наукового обґрунтування параметрів роботи машин з урахуванням властивостей біологічних матеріалів.

Початковий етап (XVIII–XIX ст.)

Фундаментальні основи були закладені в працях з механіки та теорії тертя. Дослідження законів тертя і зчеплення тіл виконані Шарль-Огюстен Кулон, що стало базою для вивчення взаємодії робочих органів машин із ґрунтом та сипкими матеріалами.

Розвиток основних гіпотез теорії подрібнення пов'язаний із роботами таких вчених:

- Петер фон Ріттінгер, поверхнева теорія (енергія пропорційна приросту поверхні)
- Фредерік Кік, об'ємна теорія (енергія пропорційна зміні об'єму/ступеню подрібнення)
- Павло Бонд, теорія, що пов'язує енергію з довжиною тріщин.

Ці вчені заклали фундаментальні основи для розуміння енерговитрат при руйнуванні матеріалів. Їхні закономірності й сьогодні використовуються при розрахунку процесів дроблення зерна, кормів та іншої рослинної сировини.

Формування ґрунтової механіки (початок XX ст.)

Засновником сучасної механіки ґрунтів вважається Карл Терцагі.

Його роботи дали можливість науково пояснити процеси ущільнення, зсуву та руйнування ґрунтів під дією навантажень. Це стало теоретичною основою для:

- обґрунтування тиску рушіїв МТА на ґрунт;
- зменшення переущільнення орного шару;

- оптимізації конструкцій ґрунтообробних машин.

Розвиток у XX столітті

З активною механізацією аграрного виробництва виникла потреба врахування:

- міцності зерна та насіння;
- впливу вологості на деформаційні характеристики;
- сипкості та внутрішнього тертя зернових мас;
- біологічної чутливості матеріалів до механічних пошкоджень.

Дисципліна почала інтегрувати знання з механіки, реології, біофізики та матеріалознавства. Було розроблено методики визначення:

- кута природного укусу;
- коефіцієнтів тертя;
- меж міцності;
- енерговитрат на подрібнення;
- параметрів ущільнення ґрунтів.

Сучасний етап розвитку

Сьогодні дисципліна орієнтована на:

- мінімізацію руйнування структури ґрунту;
- зменшення ущільнення під колесами машинно-тракторних агрегатів;
- використання властивостей матеріалів для підвищення ефективності технологій;
- впровадження альтернативних систем обробітку ґрунту (мінімальний, нульовий обробіток);
- енергоощадні технології переробки та зберігання продукції;
- цифрове моделювання механічної поведінки біоматеріалів.

Вивченням механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів в Україні займалися провідні вчені-агроінженери, зокрема О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко, М. Я. Довжик, С. С. Яцун, Г. А. Хайліс, А. Ю. Горбовий. Вони досліджували

фізико-механічні параметри (міцність, тертя, пружність) для вдосконалення процесів збирання та переробки

Сьогодні в Україні наукові дослідження активно проводяться у провідних аграрних закладах вищої освіти, зокрема в Сумському національному аграрному університеті, Національному університеті біоресурсів і природокористування України та Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (наразі це реорганізований Державний біотехнологічний університет).

Таким чином, розвиток дисципліни пройшов шлях від загальної механіки та теорії тертя через формування механіки ґрунтів і сипких матеріалів до комплексного врахування фізичних, хімічних, біологічних і антропогенних факторів

Сучасний підхід передбачає не лише вивчення властивостей с.-г. матеріалів, а й активне використання цих властивостей для:

- збереження структури ґрунтів;
- зменшення їх руйнації під дією техніки;
- підвищення ефективності технологій обробітку, посіву, внесення добрив, захисту рослин;
- удосконалення процесів збирання, переробки та зберігання продукції

1.5 Види сільськогосподарських матеріалів, загальна характеристика

Сільськогосподарські матеріали включають продукцію рослинництва (зернові, технічні культури, овочі) та тваринництва, що використовуються як їжа, сировина або корми. Вони характеризуються біологічним походженням, сезонністю виробництва, високою вологістю, потребою у спеціальних умовах зберігання та транспортування (охолодження, вентиляція).

Основні види сільськогосподарських матеріалів:

Зернові та зернобобові культури: пшениця, кукурудза, ячмінь, жито,

соя, ріпак. Характеризуються як сипкі матеріали з певним гранулометричним складом.

Технічні культури: соняшник, цукрові буряки, льон, тютюн, які є сировиною для харчової та легкої промисловості.

Плодоовочева продукція: картопля, капуста, цибуля, томати, фрукти, ягоди.

Тваринницька продукція: молоко, м'ясо, яйця, вовна, шкіра.

Корми: сіно, силос, сінаж, комбікорми.

Загальна характеристика (властивості):

Біологічна активність: здатність до дихання та самозігрівання (особливо зерно та овочі), що вимагає забезпечення повітрообміну.

Структурно-механічні властивості: сипкість, щільність укладання, кут тертя, які впливають на процеси транспортування та зберігання.

Висока вологість: потребує сушіння для запобігання псуванню (зерно) або холодильного зберігання (овочі, м'ясо).

Сезонність та короткі терміни зберігання: більшість продуктів є швидкопсувними, що вимагає термінової переробки або створення елеваторів/холодильників.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під сільськогосподарськими матеріалами?
2. Які задачі ставляться перед дисципліною?
3. Назвіть основні фізичні властивості ґрунтів.

ЛЕКЦІЯ 2 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

План лекції

1. Гранулометричний склад ґрунтів.
2. Структурно-агрегатний склад ґрунтів.
3. Кам'янистість ґрунтів.
4. Об'ємна маса ґрунтів.
5. Пористість ґрунтів.
6. Вологість ґрунтів.
7. Забарвлення ґрунтів.

2.1 Гранулометричний склад ґрунтів

До основних фізичних властивостей ґрунтів відносяться: а) гранулометричний склад; б) структура; в) кам'янистість; г) об'ємна маса; д) пористість; е) вологість; ж) колір та інші.

Механічний склад твердої фази ґрунту – одне із важливих його фізичних властивостей.

Тверді часточки ґрунту (в залежності від розмірів) поділяються на:

- кам'яністі включення (розмір > 1 мм);
- дрібнозем (розмір < 1 мм).

Дрібнозем поділяється на:

- пісок (часточки розміром від 1 до 0,05 мм);
- пил (часточки розміром від 0,05 до 0,001 мм);
- мул (часточки розміром $< 0,001$ мм).

При визначенні типу ґрунту за механічним складом аналізується тільки дрібноземом, який поділяється на дві фракції:

- „фізичний пісок” (часточки розміром $> 0,01$ мм);
- „фізична глина” (часточки розміром $< 0,01$ мм).

За кількістю „фізичної глини” професор Качинський запропонував таку класифікацію ґрунтів:

- а) глинисті (містять більше 50% „фізичної глини”);

- б) суглинисті (містять 50%...20% „фізичної глини”);
- в) супіщані (містять 20%...10% „фізичної глини”);
- г) піщані (містять менше 10% „фізичної глини”).

Глинисті часточки містять цементуючі речовини і обумовлюють зв’язкість ґрунтів; піщані, навпаки, не липкі і не пластичні.

Ґрунти з великим вмістом глинистих часточок відносять до важких. В вологому стані при механічному обробітку вони налипають на робочі органи, в сухому – утворюють брили. Такі ґрунти добре утримують вологу, але погано її поглинають, рослинні залишки і органічні добрива розкладаються повільно.

Ґрунти з великим вмістом піщаних часточок відносять до легких. Вони легко кришаться. Добре поглинають вологу, але погано її утримують, рослинні залишки і органічні добрива розкладаються швидко.

Суглинисті і супіщані ґрунти за своїми властивостями займають проміжне положення. Вони більш-менш легко кришаться, добре поглинають і утримують вологу, мають добру родючість.

2.2 Структурно-агрегатний склад ґрунтів

Структура ґрунту. Тверда фаза ґрунту може бути структурною і безструктурною. Маса структурного ґрунту розподілена на окремі агрегати, у безструктурного ґрунту окремі тверді елементи залягають суцільною масою.

Згідно з ОСТ 7.2.15–73 (стандартом) структурні агрегати за розмірами поділяються на наступні типи:

- брилчаста структура – агрегати розміром > 10 мм;
- грудкувата структура – агрегати розміром $10...3$ мм;
- зерниста структура – агрегати розміром $3...0,25$ мм.

При механічному обробітку ґрунту не можна допускати його руйнування до часточок розміром $< 0,25$ мм, тому що це призводить до руйнування структурних агрегатів.

Найбільш цінними вважають агрегати розміром $1...3$ мм, так як вони відзначаються найбільшою водоміцністю (стійкістю проти розвиваючої дії

води). Грудочки розміром 3...10 мм також вважаються бажаними.

2.3 Кам'янистість ґрунтів

Кам'янистість ґрунту. Під камінням в ґрунтознавстві розуміють первинні часточки розміром 1 мм і більше.

За кам'янистістю ґрунти поділяються на:

- а) некам'янисті – кам'янистого матеріалу менше 0,5 %. Такий ґрунт для обробітку вважається нормальним;
- б) слабкокам'янисті – кам'янистого матеріалу – 0,5...5%;
- в) середньокам'янисті – кам'янистого матеріалу – 5...10%;
- г) сильнокам'янисті – кам'янистого матеріалу – більше 10%.

Кам'янистість ґрунту впливає на роботу ґрунтообробних машин. При великій кам'янистості швидше спрацьовуються їх робочі органи, збільшується тяговий опір. Кам'янистість впливає на ерозійні процеси і режим вологості, а в кінцевому результаті – на врожай, який зі збільшенням кам'янистості і ґрунту зменшується.

2.4 Об'ємна маса ґрунтів

Об'ємна маса. Об'ємна маса ґрунту – це маса в грамах одного його кубічного сантиметра. Вона залежить від типу ґрунту, механічного складу, структури, характеру його механічного обробітку.

Розрізняють: а) об'ємну масу твердої фази ґрунту; б) дійсну об'ємну масу ґрунту; в) об'ємну масу ґрунту без врахування води.

Об'ємну масу твердої фази ґрунту $\gamma_{т.ф.}$ обчислюють за формулою:

$$\gamma_{т.ф.} = \frac{m_{тф}}{V_{тф}}, \quad (2.1)$$

де $m_{тф}$ – маса твердої фази, г; $V_{тф}$ – об'єм твердої фази, см³.

Об'ємна маса твердої фази ґрунту визначається пікнометром. Об'ємна маса менша 1 г/см³ характерна для розпушених або багатих органічними речовинами ґрунтів; для культурної ріллі вона в межах 1,0...1,2 г/см³; для ущільненої ріллі – 1,2...1,3 г/см³; для дуже ущільненої ріллі – 1,3...1,4 г/см³; для піщаних польових ґрунтів – 1,4...1,5 г/см³; для ущільнених ілювіальних

горизонтів – 1,6...1,8 г/см³.

Дійсна об'ємна маса ґрунту γ_d обчислюється за формулою:

$$\gamma_d = \frac{m}{V}, \quad (2.2)$$

Об'ємна маса ґрунту без врахування вологи γ обчислюють за формулою:

$$\gamma = \frac{\gamma_d}{1 + W_a}, \quad (2.3)$$

2.5 Пористість ґрунту

Пористість ґрунту. Пористість (скважність) ґрунту характеризується сумою всіх порожнин, які заповнені водою і повітрям. Пористість ґрунтів коливається в межах 25...90%.

Найбільша пористість властива торф'яним ґрунтам, найменша – у піщаних ґрунтів.

Загальну пористість (скважність) ґрунту P обчислюють за формулою

$$P = \frac{V_n}{V_o}, \quad (2.4)$$

де V_n – об'єм порожнин зразка досліджуваного ґрунту, см³;

V_o – повний об'єм зразка ґрунту, см³.

Повний об'єм:

$$V_o = V_n + V_{m.ф.}, \quad (2.5)$$

де $V_{m.ф.}$ – об'єм твердої фази ґрунту.

Виразивши через показники об'ємної маси, одержимо:

$$V_{т.ф.} = \frac{m_{мф.}}{\gamma_{м.ф.}}. \quad (2.6)$$

Після перетворення і використання вище приведених залежностей одержимо:

$$P = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_{м.ф.}} \right). \quad (2.7)$$

Для характеристики злежаності ґрунтів використовують коефіцієнт

пористості ε :

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_{m.ф.}}. \quad (2.8)$$

2.6 Вологість ґрунтів

Вологість ґрунтів. Вологість ґрунтів визначається кількістю води в ґрунті. Її визначають головним чином методом висушування.

Розрізняють:

а) абсолютну вологість, яку визначають за формулою:

$$W_a = \frac{m_s - m_c}{m_c} 100 \%. \quad (2.9)$$

б) відносну вологість (вона дає можливість оцінювати вологість ґрунтів різного механічного складу):

$$W = \frac{W_a}{W_n} 100 \%. \quad (2.10)$$

В залежності від механічного складу ґрунту стан його „спілості” настає при відносній вологості 40...70%, що відповідає абсолютній вологості 15...30%.

Практики визначають оптимальну вологість суглинистих ґрунтів на полі так: беруть в руки частку ґрунту, стискають її. Якщо з цього ґрунту не виділяється вода та ґрунт кришиться в руці, при оранці не прилипає до корпусів плуга, а перевернутий відораний шар не блищить, то це означає, що час обробітку ґрунту настав. Або ж кидають з висоти 1,5 м стиснутий в руці ґрунт. Якщо від удару об землю стиснута грудка ґрунту розсипається на дрібні частки – ґрунт не готовий для обробітку.

2.7 Колір ґрунтів

Колір ґрунтів. Забарвлення ґрунту в значній мірі залежить від вологості його. Вологі ґрунти значно темніші.

В польових умовах вологість ґрунту практично визначають так: якщо ґрунт, затиснутий в руці, здається зовсім сухим, його називають повітряно-сухим; вологий до дотику, але не замазується, називають свіжим; якщо ґрунт замазується та липне до руки, його називають вологим; якщо стиснута порція

грунту в руці виділяє воду, ґрунт називають мокрим.

Дійсне забарвлення ґрунту визначають в лабораторії на повітряно сухому ґрунті за допомогою спеціальної шкали кольорів.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні фізичні властивості ґрунтів.
2. Як класифікуються ґрунти за механічним складом?
3. Як поділяються ґрунти за кам'янистістю?
4. Як визначити об'ємну масу твердої фази, дійсну об'ємну масу та об'ємну масу ґрунту буз врахування вологи?
5. Назвіть показники, за якими визначають пористість ґрунту.
6. Напишіть формули, за якими визначають абсолютну та відносну вологість ґрунту.
7. Що розуміють під оптимальною вологістю ґрунту і як її можна визначити?
8. Які є забарвлення ґрунтів і чому вони впливають на їх температурний режим?

ЛЕКЦІЯ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

План лекції

1. Здатність ґрунтів кришитись.
2. Твердість та коефіцієнт тертя ґрунтів.
3. Опір деформуванню.
4. Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів.
5. Опір зсуву, внутрішнє тертя, зв'язність ґрунтів.
6. Питомий опір під час оранки.
7. Липкість ґрунтів.

3.1 Здатність ґрунтів кришитись

Властивості ґрунтів, які проявляються тільки в процесі їх обробітку, називають технологічними.

До цих властивостей відносяться:

- а) здатність кришитися;
- б) твердість;
- в) зовнішнє і внутрішнє тертя;
- г) опір деформаціям;
- д) липкість і ін.

Здатність ґрунтів кришитися. Ступінь кришення ґрунту залежить не тільки від знаряддя і режиму його роботи, але і від стану ґрунту (вологості, ущільнення тощо). В зв'язку з цим при випробуванні і оцінці здатності ґрунтообробних машин до кришення необхідно знати природну здатність ґрунту кришитися.

Здатність ґрунту кришитися визначають просіванням зразка на ситах з різними діаметрами отворів (від 0,25 до 50 мм).

Здатність ґрунту кришитися (%) характеризується відношенням:

$$K = \frac{m_{ю}}{m_n} 100, \quad (3.1)$$

де $m_{ю}$ – маса фракцій розміром дрібніше 10 мм, кг; m_n – маса наважки ґрунту, кг.

Пасивні робочі органи реалізують в основному здатність ґрунту кришитися, в той час як фрези руйнують і відносно ущільнені великі фракції – грудки і брили крупніше 10 мм.

3.2 Твердість та коефіцієнт тертя ґрунтів

Твердість ґрунтів. Твердістю ґрунту називається здатність його протидіяти втисканню в нього твердого тіла у вигляді конуса, циліндра або кулі. Для вимірювання твердості ґрунтів використовують прилади – ґрунтові твердоміри (рис. 3.1). Для визначення твердості твердих ґрунтів використовують наконечники діаметром 1 см, розпушених – 2 см.

Твердоміри мають самописці, за допомогою яких записується діаграма сил втискання вимірювального органа в досліджувальний ґрунт (рис. 3.2).

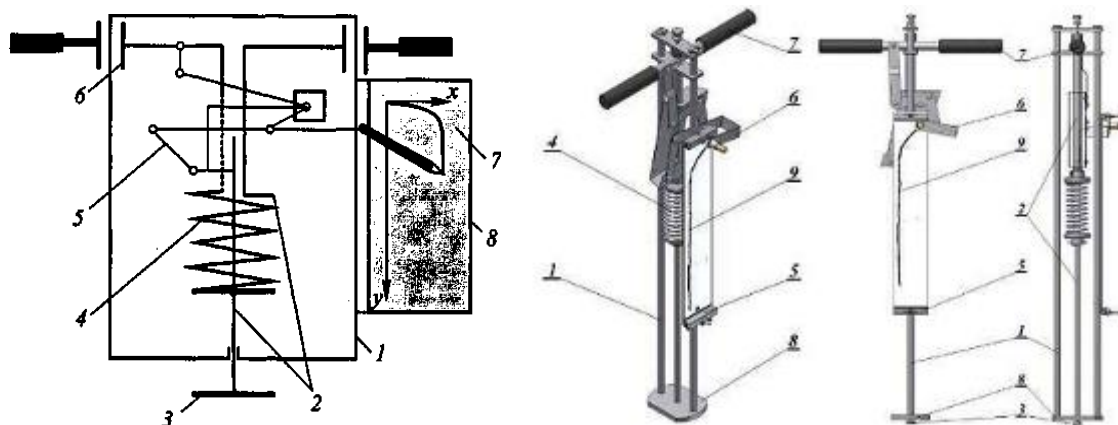
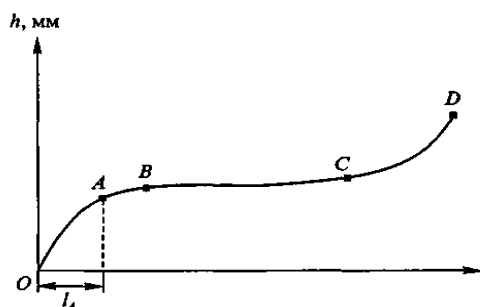


Рис. 3.1 - Твердомір Ю.Ю.Ревякіна:

1 – дві напрямні штанги; 2 – телескопічна штанга; 3 – змінний наконечник;
4 – пружина; 5 – записувальний пристрій; 6 – натискні тримачі; 7 – графік, 8
– планка для закріплення паперу



За даними діаграми визначають твердість ґрунту (середню твердість), Па

$$T = \frac{h \cdot q_n}{S} \quad (3.2)$$

Рис. 3.2 - Діаграма твердості ґрунту

На діаграмі є кілька фаз. У першій фазі (ділянка ОА) опір ґрунту деформації зростає майже пропорційно глибині занурення наконечника в ґрунт до $l = l_A = 5...6$ см. Друга фаза АВ є перехідною. В цей період занурення в ґрунт наконечника перед його вимірювальною площиною утворюється конусоподібний наростень з ущільненого ґрунту (ущільнене ядро). В третій фазі ВС ґрунт деформується конусоподібним наростом, який розклинює його, зміщуючи в боки, і зустрічає при цьому постійний опір – (ґрунт "тече").

Перша фаза у кілька разів коротше третьої, але має важливе практичне значення, тому що в реальних умовах деформація ґрунту машинами, як правило, не виходить за межі першої ділянки діаграми (менше l_A). Тільки після проходження наконечником орного шару крива CD зростає знову, так як на шляху наконечник зустрічає підорну підшву плуга.

Для характеристики ґрунту користуються також коефіцієнтом об'ємного зминання ґрунту q , (Н/см³), який визначають за формулою:

$$q = \frac{P_A}{S \cdot l_A}. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту. Під тертям розуміється опір ковзання однієї поверхні по іншій. Сила тертя:

$$T = f \cdot N = \operatorname{tg} \varphi \cdot N. \quad (3.4)$$

На тертя робочих органів машин об ґрунт даремно витрачається багато енергії (до 30...50%).

Тертя сприяє зношуванню робочих органів с.- г. машин.

На величину коефіцієнта тертя справляють вплив

– вологість ґрунту (рис. 3.3).

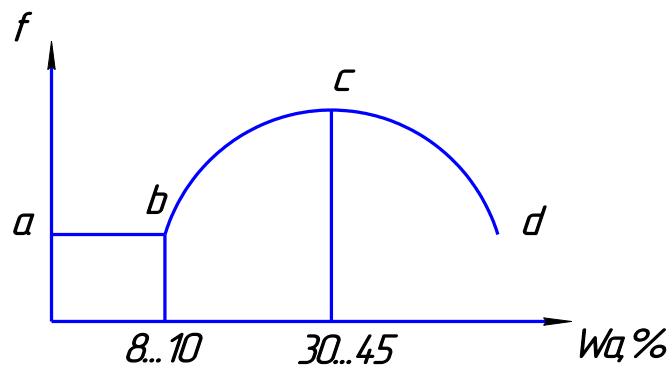


Рис. 3.3- Залежність f від абсолютної вологості ґрунту W_a

При низькій вологості (від 0 до 8...10%) f не залежить від W_a .

З подальшим збільшенням вологості (ділянка bc) збільшення f пояснюється виникненням сил молекулярного притягнення ґрунтових частинок до поверхні металу (до $W_a=30...45\%$ в залежності від механічного складу ґрунту). Якщо вологи достатньо, щоб забезпечити безперервний її приплив до поверхні контакту ґрунту з металом, то вона грає роль мастила, і f за збільшенням вологи ґрунту зменшується (ділянка cd).

– склад в ґрунті «фізичні глини» (рис. 3.4).

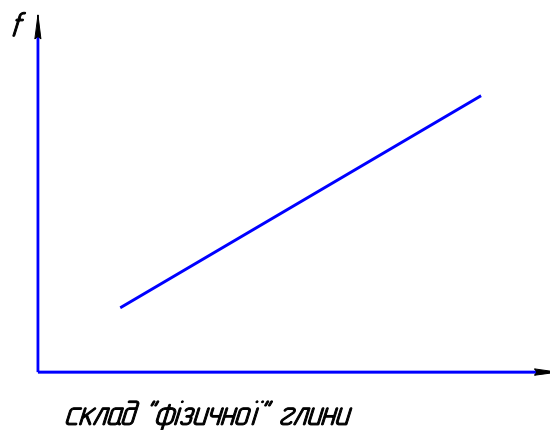


Рис. 3.4 - Залежність f від механічного складу ґрунту

3.3 Опір деформуванню

Опір ґрунту деформуванню. Для розробки шляхів і методів зниження витрат енергії на механічну обробку ґрунту потрібно знати межі її міцності при різних видах деформацій.

Для глинистого чорнозему при $W_a = 20\%$ тимчасовий опір на:

розтягування $\sigma_p = 0,5 \text{ Н/см}^2$;

зріз $\tau = 1 \text{ Н /см}^2$;

стиск $\sigma = 10 \text{ Н /см}^2$.

Отже, руйнування ґрунту з мінімальними витратами енергії можна добитися шляхом руйнування зв'язків між структурними агрегатами за допомогою деформації розтягування.

Питомий опір ґрунтів деформаціям (при оранці), Н/см².

$$K_{nl} = \frac{R_{nl}}{a \cdot b \cdot n_k} . \quad (3.5)$$

Контрольні запитання

1. Назвіть основні технологічні властивості ґрунтів.
2. Що розуміють під здатністю ґрунту кришитися?
3. Що розуміють під твердістю і коефіцієнтом об'ємного зминання ґрунту?
4. Напишіть формули, за якими визначають твердість і коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.

ЛЕКЦІЯ 4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

План лекції

1. Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів.
2. Опір зсуву, внутрішнє тертя, зв'язність ґрунтів.
3. Питомий опір під час оранки.
4. Липкість ґрунтів.

4.1 Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів

У сільському господарстві ще недостатньо розроблено межі допустимих механічних навантажень на ґрунти, які створюються різними знаряддями обробітку. Необхідно вважати допустимий за величиною такий питомий тиск на ґрунт, за якого поверхня поля під ходовими частинами сільськогосподарської техніки ущільнюється, але не продавлюється з утворенням глибокої колії.

Родючість ґрунтів залежить не тільки від структури і щільності орного шару, а й від того, де розміщені корені рослин. Оптимальною щільністю, за даними дослідників, для суглинкових та глинистих ґрунтів і основної маси вирощуваних культур вважається щільність у межах 1,1-1,3 г/см³.

Теоретично ця межа оптимальної щільності для важких за гранулометричним складом ґрунтів основана на великій пористості ґрунту і близьких до оптимальних став відношень вмісту води і повітря в ґрунті при вологості, що дорівнює польовій, або найменшій вологоємності.

Сучасні технології вирощування та збирання польових культур потребують багаторазового проходу по полю тракторів, комбайнів, автомобілів та інших, сільськогосподарських машин. Тільки ходові частини тракторів у період допосівних і посівних робіт діють на 30-80 % поверхні поля, У деяких випадках залежно від погодних та інших умов окремі поля зазнають 3...9 разової дії ходових частин тракторів.

Інтенсивність дії ходових частин машин на ґрунт залежить від типу ходової системи, маси машини та її обладнання, кількості проходів по полю, відповідної характеристики ґрунту – гранулометричного складу, структури,

щільності , вологості.

Слід зазначити, що найбільше ущільнюють вологий ґрунт та руйнують його структуру автомобілі і важкі збиральні агрегати.

Для запобігання шкідливому ущільненню тиск рушіїв на ґрунт у період посіву та обробітку не повинен перевищувати 0,08 -0,12 МПа

На вологих ґрунтах або при підготовці під посів допустимі тиски знижуються до 0,05 МПа

За вологості ґрунту 25-30 % тиск не повинен перевищувати 0,075 МПа, 17-21 % – 0,125 МПа і за вологості ґрунту 8-12 % – 0,15 МПа

За основного обробітку чорнозему типового важкосуглинкового тиск не повинен перевищувати 0,08...0,1 МПа, а при сівбі в умовах зрошення – 0,04...0,06 МПа.

Граничний тиск для проведення сільськогосподарських робіт, МПа: ранньовесняне боронування – 0,04; передпосівний обробіток і сівба – 0,05-0,06; на літніх та осінніх роботах за вологості не більше 0,6 % польової вологоємності – 0,1-0,15

При виконанні польових робіт гусеничними тракторами замість колісних тракторів 3- і 5-го класів забезпечується збільшення вирощуваних урожаїв за рахунок зменшення руйнівної сили ходових систем тракторів і збільшення родючості ґрунтів.

Науковці дослідили, що збільшення або зменшення об'ємної маси ґрунту від оптимальної на 0,1-0,3 г/см³ приводить до зменшення урожаю на 20-40 %.

4.2 Опір зсуву, внутрішнє тертя, зв'язність ґрунтів

Для оцінки показників взаємодії ходових систем з ґрунтом використовують закономірності її стискання і зсуву. Перша характеризує процес утворення сліду (колії), а друга – формування рушійної сили (зчеплення).

Опір зсуву має велике теоретичне і практичне значення, оскільки основна частина енергії при оранці (понад 50 %) витрачається на деформацію

грунту на зсув (зріз).

Опір ґрунту зсуву. Зсув ґрунту спостерігається при роботі всіх ґрунтообробних знарядь.

Опір ґрунтів зсуву

$$T_{zc} = C + f' \cdot N. \quad (4.1)$$

4.3 Питомий опір під час оранки

Величину сили опору плуга, поділену на площу поперечного перерізу шару ґрунту, який відрізає цей плуг, називають питомим опором під час оранки. Це зусилля, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу пласта, який відрізається (Н/см² або кПа). Ґрунтознавці відносять питомий опір під час оранки до ґрунту, а механізатори — до плуга. Цим зумовлена наявність двох понять: питомий опір ґрунту і питомий опір плуга. І в першому, і в другому понятті основним критерієм є енергетична оцінка процесу оранки ґрунту плугом. На оранку витрачається основна механічна енергія, яку використовують у процесі вирощування польових культур, та основна частка пального для тракторів. Отже, під час оранки відбувається інтенсивна дія на ґрунт — механічне його розпушування, переміщення шару, тобто переведення ґрунту з одного стану в інший. Питомий опір обчислюють за раціональною формулою академіка В. П. Горячкіна для визначення тягового опору плугів:

Класифікацію ґрунтів за питомим опором К (за Н. В. Щучкіним) під час оранки наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 -Класифікацію ґрунтів за питомим опором К (за Н. В. Щучкіним)

Ґрунти	Питомий опір, кПа
Легкі	до 30
Середні	30 - 50
Середньоважкі	50 — 70
Важкі	70 — 120
Дуже важкі	> 120

4.4 Липкість ґрунтів

Липкість ґрунту – зусилля, віднесене до 1 см² стичної з ґрунтом поверхні, яке потрібно для її відриву.

Липкість залежить від: вологості (рис. 4.1); матеріалу робочого органу; чистоти поверхні; питомого тиску; дисперсності ґрунту і ін.

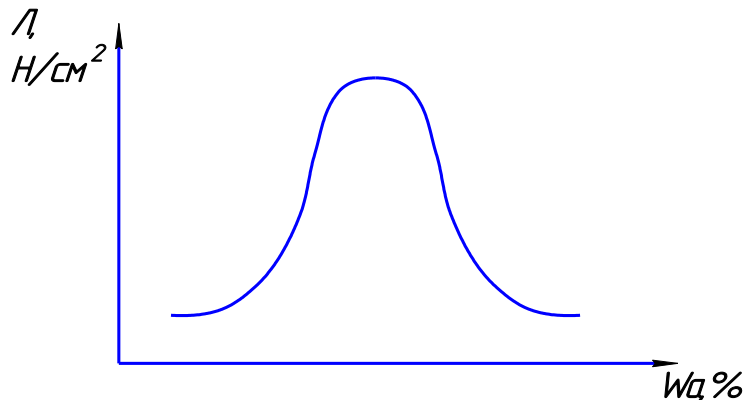


Рис. 4.1 - Залежність липкості ґрунту від абсолютної вологості

Абразивність ґрунту виявляється в зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь і залежить головним чином від механічного складу ґрунту.

Висока абразивність ґрунтів пояснюється перевагою в їх складі кварцу – самого твердого із мінералів, які утворюють ґрунт.

Пластичність ґрунтів. Пластичність ґрунту – його властивість деформуватися під дією зовнішнього навантаження без руйнування і зберігати цю деформацію після зняття цього навантаження.

Пластичність в основному залежить від механічного складу і вологості ґрунту і характеризується числом пластичності

$$W_{pl} = W_{\phi} - W_n, \quad (4.2)$$

де W_{ϕ} – верхня межа пластичності, тобто вологість, при якій ґрунт починає текти, %;

W_n – нижня межа пластичності, тобто вологість, при якій ґрунт при розкочуванні в шнурок ($d = 3$ мм) починає розкришуватись, %.

Пружність ґрунтів. Під пружністю ґрунту вважається його властивість

відновлювати свою форму після зняття зовнішнього навантаження. Пружна деформація існує тільки в той час, впродовж якого діє зовнішня сила, створююча цю деформацію. Пружність ґрунту залежить головним чином від механічного складу, вологості, задернілості його. Відносне значення пружної деформації ґрунту $\varepsilon_{пр}$ визначається за формулою:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{l_k - l_n}{l_n} 100 . \quad (4.3)$$

В'язкість ґрунтів. В'язкістю ґрунту вважають його властивість повільно деформуватись не тільки в функції навантаження, але і в функції часу. Чим триваліший час діє навантаження, тим більша деформація.

Крихкість ґрунтів. В крихких тілах пластичні деформації відсутні. При механічному тиску крихкі тіла руйнуються без деформації. Пересохлі ґрунти важкого механічного складу при руйнуванні практично не мають залишкових деформацій.

Контрольні запитання

1. Який допустимий тиск за вологості ґрунту 25-30 %?
2. Коли спостерігається зсув ґрунту?
3. Що називають питомим опором під час оранки.
4. Що розуміють під липкістю ґрунту ?
5. Від чого залежить пружність ґрунту?

ЛЕКЦІЯ 5 ОСНОВИ АГРОМЕХАНІКИ ҐРУНТІВ

План лекції

1. Поняття про оптимальну об'ємну масу ґрунтів.
2. Завдання і види обробітку ґрунту.
3. Моделі ґрунту за дії на нього робочих органів сільськогосподарських машин: модель ґрунту як твердого тіла; модель ґрунту як суцільного пружного середовища; модель ґрунту як суцільного нестислого сипкого середовища.
4. Основи механіки суцільних деформованих середовищ.
5. Реологічна модель ґрунту. Реологічні властивості ґрунту як об'єкта сільськогосподарського виробництва.

5.1 Поняття про оптимальну об'ємну масу ґрунтів

Поняття про оптимальну об'ємну масу ґрунтів. Об'ємна маса ґрунту є основною агрономічною характеристикою, яка відбиває його будову, водно-фізичні властивості і біологічну активність. Усі види обробітку ґрунту і будь-яка взаємодія ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки істотно впливають на зміну об'ємної маси ґрунту.

Водний, повітряний, тепловий, поживний режими, життєдіяльність ґрунтових флори і фауни повністю залежать від величини об'ємної маси ґрунту і ступеня його ущільнення. Процес обробітку ґрунту в основному направлений на регулювання його об'ємної маси. Останню слід оцінювати в зональному розрізі та в тісному зв'язку з іншими характеристиками, особливо з агрегатним складом і вмістом гумусу.

Залежно від розміру ґрунтових часточок, грудок і їх взаємного розміщення пори мають різні форми і розміри. Розрізняють капілярні пори, які здатні утримувати воду менісковими силами, і некапілярні, в яких вода не утримується і рухається вниз під дією гравітаційних сил. Крім того буває пухка, щільна і дуже щільна будова ґрунту. Пухка відповідає об'ємній масі до 1,15 г/см³, щільна — від 1,15 до 1,35, дуже щільна — понад 1,35 г/см³.

Ґрунт ущільнюється внаслідок дії опадів, від змерзання і висихання, руху тракторів, сільськогосподарських машин і транспортних засобів.

Найважливішими процесами відновлення структури ґрунту є правильний підбір, співвідношення і чергування сільськогосподарських культур, система обробітку ґрунту, внесення органічних і мінеральних добрив, посіви сидеральних культур, заходи щодо усунення надмірної лужності і кислотності ґрунтів.

Дані численних досліджень засвідчують, що збільшення чи зменшення об'ємної маси ґрунту відносно оптимальної на 0,1 — 0,3 г/см³ спричинює зниження урожаю на 20 — 40 %.

5.2.Завдання і види обробітку ґрунту

Основними завданнями обробітку ґрунту є: зміна будови орного шару ґрунту та його структурних якостей з метою регулювання чинників життя рослин, збільшення водоакumuляційної здатності ґрунту; посилення колообігу поживних речовин шляхом добування їх з найглибших горизонтів ґрунту і впливу на мікробіологічні процеси; знищення бур'янів, деяких збудників хвороб і шкідників сільськогосподарських культур; загортання в ґрунт рослинних решток і добрив; запобігання ерозії і пов'язаним з нею витратам води і поживних речовин; створення умов для загортання насіння культурних рослин на оптимальну глибину.

Перевертання ґрунту — це зміна взаємного розміщення по вертикалі верхніх і нижніх його шарів. Повне перевертання скиби використовують під час освоєння болотистих і задернених ділянок.

Розпушування — зміна відстані між ґрунтовими часточками, в результаті чого поліпшуються біологічна активність, водо- і повітропроникність ґрунту.

Перемішування — зміна взаємного розміщення часточок ґрунту, добрив і мікроелементів. Ґрунт стає одноріднішим щодо родючості.

Ущільнення — процес, зворотний розпушуванню. В процесі ущільнення збільшується капілярна пористість і зменшується загальна

пористість ґрунту.

Вирівнювання поверхні поля — це усунення нерівностей для забезпечення рівномірної глибини загортання насіння та умов роботи машин, розподілу води під час поливу.

Якщо уявити модель механічного обробітку ґрунту у вигляді схеми, то можна виділити механіко-технологічну підсистему, яка дає змогу розробити розрахункові моделі для визначення зміни об'ємної маси ґрунту в результаті механічної дії робочих органів і ходових систем сільськогосподарських машин.

Механіко-технологічну підсистему зображено на рис.5.1.

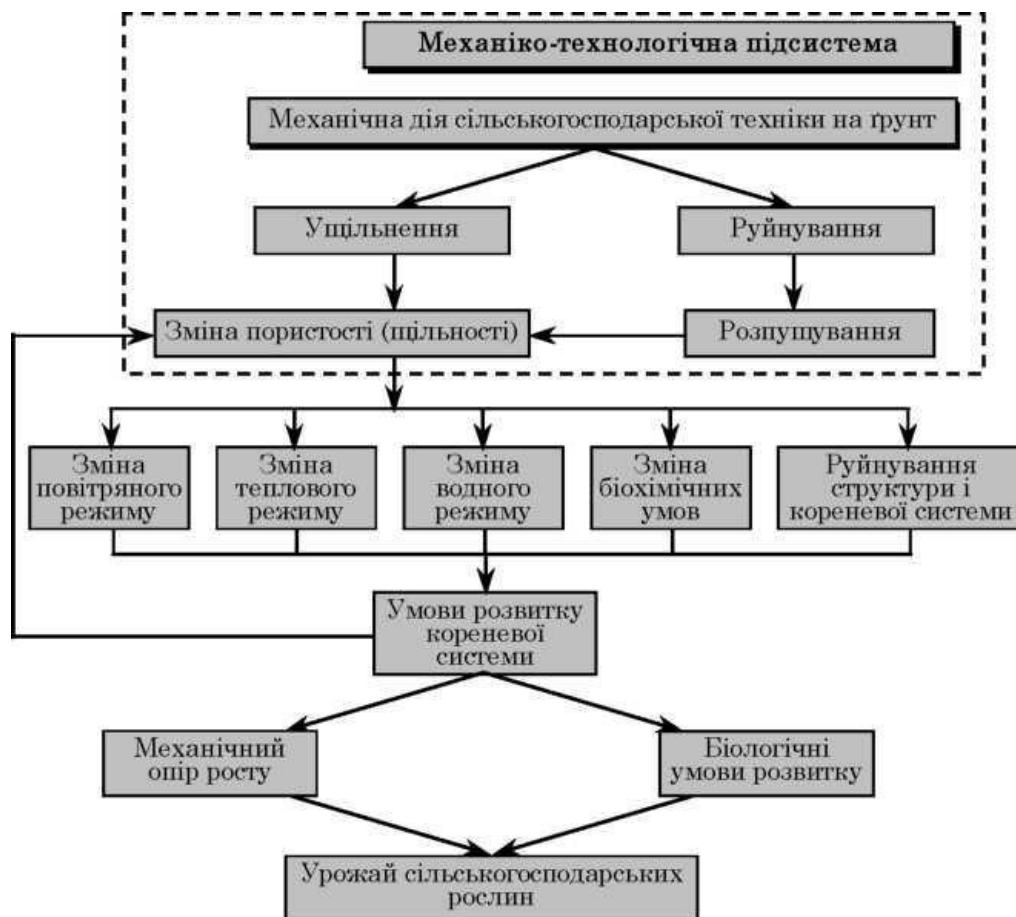


Рисунок 5.1-Механіко-технологічна підсистема

5.3. Моделі ґрунту за дії на нього робочих органів сільськогосподарських машин

Під час побудови розрахункової схеми дії ґрунтообробного органу на

грунт потрібно вибрати модель матеріального об'єкта (грунту), механічний рух якого вивчається. Такими моделями в механіці можуть бути матеріальна точка, абсолютно тверде тіло, система матеріальних точок, система абсолютно твердих тіл або суцільне деформоване середовище.

У землеробській механіці для вивчення взаємодії ґрунтообробних органів і ґрунту найчастіше використовують такі моделі ґрунту, як тверде тіло і суцільне середовище (сипке і пружне).

Модель ґрунту як твердого тіла

В разі дії робочого органу на ґрунт з його боку всі діючі сили зводяться до рівнодійної R у точці A . Тріщина в ґрунті виникає вздовж лінії рівнодійної, коли її вектор перевищує критичне значення.

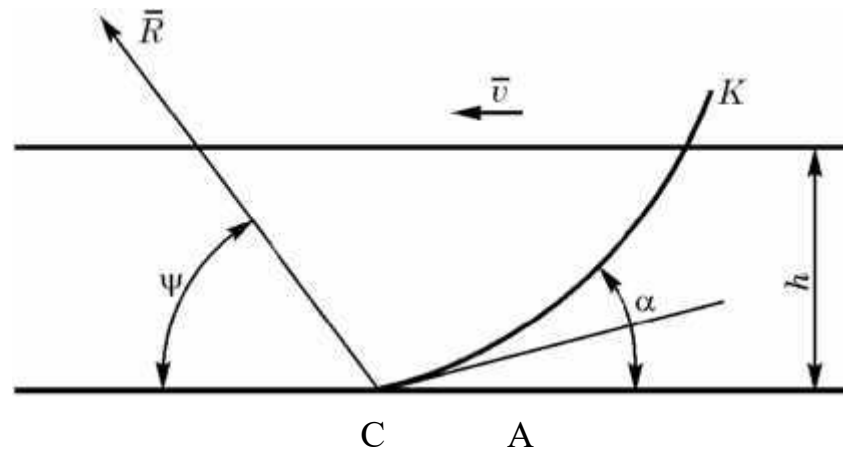


Рисунок 5.2. Розрахункова схема моделі ґрунту з припущенням про напрямок тріщини

Модель ґрунту як суцільного пружного середовища

За цією схемою роблять такі припущення: 1) відстані між точками твердого тіла залишаються незмінними в процесі дії на нього зовнішніх сил; 2) зовнішні сили відносно скиби зводяться до головного вектора і головного моменту рівнодійної R ; у разі збіжної системи сил всі зовнішні сили зводяться до рівнодійної; 3) сила переноситься у напрямку її дії; 4) тріщина в ґрунті виникає вздовж лінії рівнодійної; відносно розвитку тріщини інколи вводять інше припущення: тріщина розвивається по лінії дії рівнодійної R , перенесеної на носок клину.

Використання моделі твердого тіла для вирішення завдань взаємодії ґрунтообробних органів з ґрунтом виключає можливість навіть побічного застосування механічних властивостей ґрунтів за схемою самої моделі, не кажучи вже про відображення в аналітичному апараті найважливішої властивості ґрунту — його здатності змінювати об'ємну масу в процесі обробітку.

Модель ґрунту як суцільного нестислого сипкого середовища

У разі використання моделі ґрунту у вигляді суцільного пружного середовища скибу ґрунту уявляють як балку, жорстко закріплену одним кінцем (консольна балка). Вводять ще одне спрощення — замінюють розподілений тиск ґрунтообробного органу на скибу на зосереджену рівнодійну силу (реакцію робочого органу на скибу ґрунту).

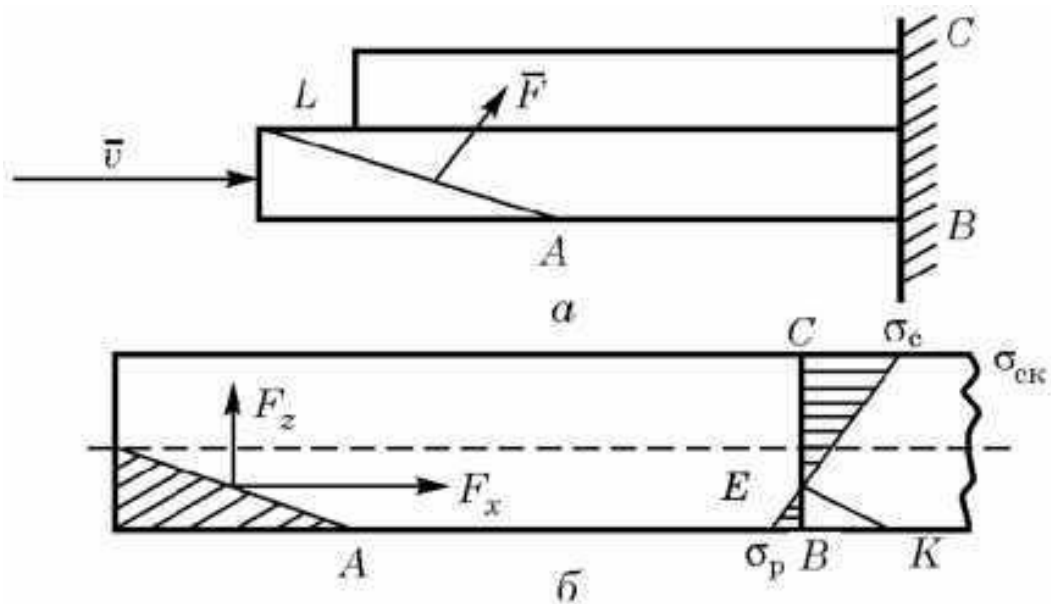


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема моделі ґрунту за припущення про причини, напрямок і розміри початкової тріщини АВ

Припускають наявність початкової тріщини АВ, яка виникає в результаті зминання ґрунту лезом клина в напрямку його дії V.

Під дією складових F_z і F_x у точках ВС виникають відповідно напруження стиску σ_c і розтягу σ_p . Така розрахункова схема приводить до епюри напружень у перерізі ВС і розподілу напружень за законом трикутника на ділянці ВК.

Припускають, що це напруження і викликає відривання скиби.

У разі використання цієї схеми руйнування ґрунту приймають такі припущення, пов'язані з вибором механічної моделі суцільного пружного середовища:

- 1) ґрунт характеризується однорідним, ізотропним суцільним середовищем;
- 2) деформації пропорційні напруженням;
- 3) під час вибору розрахункової схеми вводять спрощення в геометрію реального об'єкта; звичайним спрощувальним прийомом є зведення шару до схеми бруса (балки) та використання гіпотези плоских перерізів;
- 4) переміщення і внутрішні сили, які виникають у скибі, вважають незалежними від порядку прикладання зовнішніх сил (принцип суперпозиції).

Розглянута схема має низку істотних недоліків:

- заміна розподіленої сили приводить до істотної зміни напружень у дослідних перерізах;
- не розкриваються причини і природа появи початкової тріщини АВ або нової тріщини після відривання скиби по лінії ВЕ; при дії робочого органа на ґрунт деформації останнього не залежать від швидкості руху робочого органа і пропорційні тільки напруженням;
- після зняття зовнішніх дій щільність ґрунту повертається до початкової.

За моделлю ґрунту у вигляді пружного середовища або бруса не можна пояснити деякі особливості його деформації, оскільки згідно з теорією пружності припускається відновлення початкової об'ємної маси ґрунту в скибі і грудках після припинення дії робочого органу, тобто об'ємна маса ґрунту не змінюється внаслідок дії на нього робочого органу.

Модель ґрунту як суцільного нестисливого суцільного середовища. Типова розрахункова схема деформування ґрунту у вигляді моделі суцільного нестисливого середовища характеризується таким. Припускають, що дія

робочого органу на ґрунт супроводжується створенням поверхні ковзання ABC.

Розглядають рівновагу сколеного блока OABC під дією сил підпірної стінки E_d і ґрунтового масиву на сколений блок ґрунту. В результаті такої дії на поверхні клину виникають дотичні напруження τ і нормальні σ - під дією власної ваги сколеного блока. При цьому постають два завдання:

- 1) визначення конфігурації лінії ковзання;
- 2) визначення умов рівноваги сколеного блока як твердого тіла.

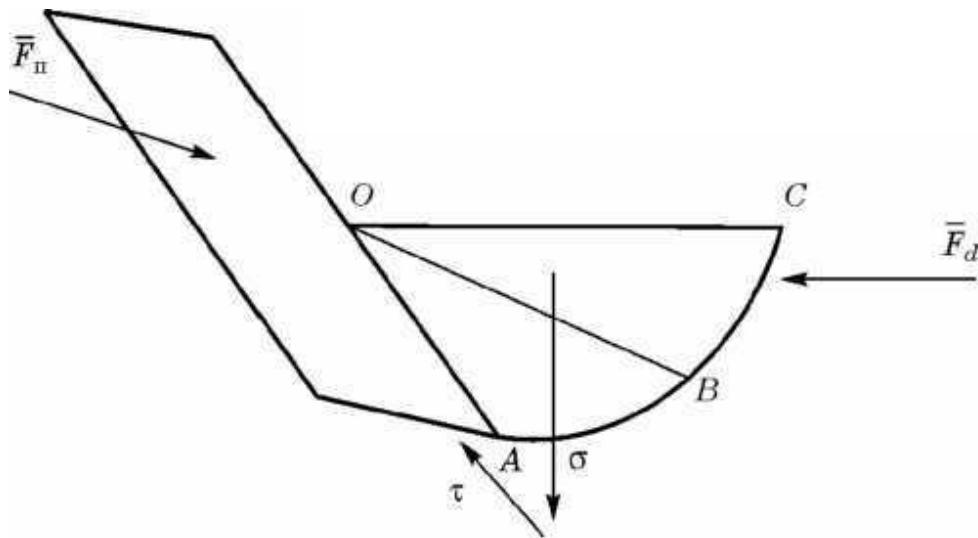


Рисунок 5.4 - Розрахункова схема моделі ґрунту за припущення про зведення зовнішніх сил до рівнодійної

Згідно з розрахунковою схемою, ґрунт розглядають як сипке середовище за наявності сил зчеплення. Виділимо припущення, пов'язані з вибором механічної моделі ґрунту у вигляді суцільного нестисливого сипкого середовища із зчепленням між часточками:

- 1) ґрунт розглядають як суцільне однорідне ізотропне середовище;
- 2) опір зсуву не залежить від величини деформації;
- 3) умову зсуву ґрунту визначають за припущення Кулона-Мора; рух по поверхні зсуву після моменту порушення рівноваги відбувається невинно і без подальшого збільшення напруження у зоні поверхні ковзання (пластична течія);
- 4) сколений блок ґрунту розглядають як тверде тіло; теорія граничної

рівноваги ґрунтового масиву і схеми пасивного опору (методи механіки ґрунтів) у задачах взаємодії ґрунтообробних органів з ґрунтом неспроможна пояснити такі явища:

- за теорією граничної рівноваги визначається тільки поверхня руйнування; при цьому припускають, що всередині об'єму блока ґрунту, обмеженого поверхнею ковзання, об'ємна маса не змінюється; насправді об'єм, обмежений поверхнею ковзання, сприймає пружні і залишкові деформації;

- теорія граничної рівноваги вирішує лише задачі для пасивних робочих органів і зовсім непридатна для теорії взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом.

Використання принципів і методів теорії подібності і розмірностей у вивченні взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з ґрунтом.

Теорія подібності і розмірностей встановлює умови, яких слід дотримуватись у подібних дослідах, з урахуванням фізичних особливостей ґрунтів і використанням математичного апарата. Переваги методів теорії подібності і розмірностей виявляються, якщо: в рішенні механічної задачі трапляються значні труднощі, але задача має замкнену систему рівнянь; не існує математичної постановки задач, так як досліджуване механічне явище настільки складне, що для нього немає задовільної схеми і рівнянь руху; у цих умовах головну роль відіграють експериментальні методи досліджень.

У землеробській механіці частіше трапляється другий випадок. У процесі взаємодії ґрунтообробних знарядь з ґрунтом виділяють три складових елементи системи: двигун, робочий орган, середовище. Кожна складова з розмірними і безрозмірними параметрами. У дослідженнях слід розглядати три види подібності — фізичну, механічну і геометричну. Перший елемент системи у схемі взаємодії ґрунтообробного органу з ґрунтом подається силою тяги або зовнішньою силою F , що діє на скибу. Для характеристики робочого органа використовують різні поєднання параметрів: ширина захвату і швидкість переміщення, ширина захвату і

глибина обробітку, швидкість переміщення і геометричні параметри робочого органу.

Інші дослідники віддають перевагу геометричним розмірам шару, швидкості руху. Окремо виділяються специфічні геометричні параметри робочого органу і прямої кривої, кут установлення лемеша до стінки борозни.

Ґрунт характеризують низкою механічних, фізичних і геометричних величин (об'ємна маса, напруження всередині шару, розміри шару та ін.). Деякі дослідники характеризують ґрунт тільки щільністю або об'ємною масою, інші вводять у розрахункову схему поряд з об'ємною масою такі характеристики ґрунту, як коефіцієнт внутрішнього тертя, зчеплення, прилипання ґрунту до металу або узагальнений параметр, що характеризує ці властивості. Іноді фізичні параметри подають коефіцієнтами пружності і в'язкості.

Для розв'язання задач про взаємодію робочих органів машин з ґрунтом методами теорії подібності і розмірностей вибирають суцільну квазіоднофазну ізотропну модель будови ґрунту у вигляді твердого, пружного, пластичного, пружнопластичного або пружно-в'язкого тіла.

З усіх моделей будови реальних середовищ тільки модель суцільного деформованого середовища відбиває властивість зміни об'ємної маси в процесі деформації. Щоб пояснити явище зміни об'ємної маси ґрунту в процесі технологічної взаємодії з робочими органами машин, потрібно розглядати модель будови ґрунту як суцільне деформоване середовище.

5.4 Основи механіки суцільних деформованих середовищ

Одним з основних припущень механіки деформованого тіла є умова суцільності матеріалів. Вважається можливим безперервний перехід від однієї точки тіла до будь-якої іншої, тобто не враховується молекулярна будова речовини. Уточнення в цьому напрямі є складним завданням.

Внаслідок суцільності тіла складові напружень є безперервними функціями координат, які мають безперервні часткові похідні по всьому

об'єму, зайнятому тілом.

Подамо повне напруження P_n на ділянці з нормаллю n , проведеною з деякої точки A деформованого середовища, двома складовими — нормальним σ_n і дотичним τ_n напруженнями.

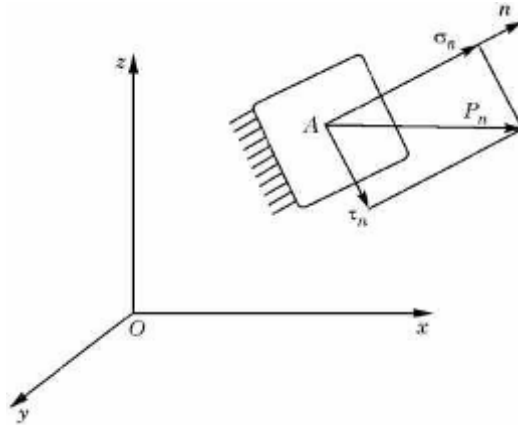


Рисунок 5.5 – схема напруженого стану в точці деформованого середовища

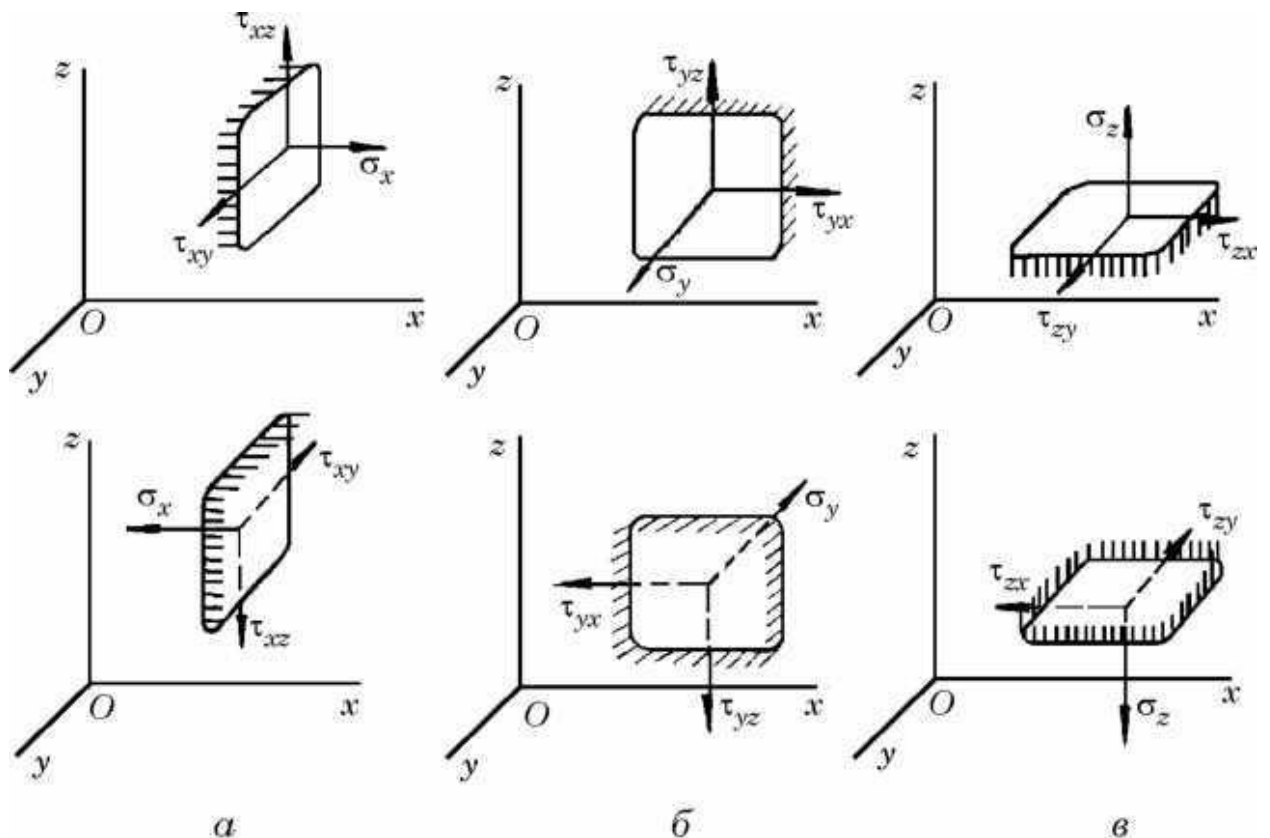


Рисунок 5.6 - Схема до визначення напружень у трьох взаємно перпендикулярних площинах деформованого середовища

Орієнтуючи площадки перпендикулярно до осей Oy і Oz (тобто спрямувавши нормаль почергово паралельно осям Ox і Oy), аналогічно

одержимо на кожній з них по три напруження: G_y , TyX , Tyz і az , Ty .

Тоді напружений стан можна схарактеризувати шістьма нормальними напруженнями (за числом граней паралелепіпеда) і дванадцятьма дотичними напруженнями (по два на кожній грані).

Для повної характеристики деформації в невеликому об'ємі тіла або в точці потрібно знати, як змінюються довжина і положення відрізка, взятого в межах даного об'єму, в разі зменшення його довжини до точки.

Крім зміни довжини відрізка в разі деформації він переміститься як жорстке тіло і повернеться на деякий кут. Внаслідок неоднаковості повороту відрізків, проведених з точки А в різних напрямках, кути між ними зміняться.

5.5 Реологічна модель ґрунту. Реологічні властивості ґрунту як об'єкта сільськогосподарського виробництва

Стан і зміну суцільного середовища визначають безперервними співвідношеннями між певними величинами механічних (напруження, деформації та їхні похідні в часі) і термодинамічних змінних.

Загалом рівняння стану описують процеси переходу і перетворення енергії всередині досліджуваного середовища з урахуванням механічної і теплової форм енергії. Якщо припустити, що вся механічна робота, яка витрачена на деформацію ґрунту робочим органом, перейшла у теплоту, то температура ґрунту підвищиться на частку градуса.

У механіці ґрунтів велику увагу приділяють вивченню реологічних властивостей ґрунтів — закономірностей перебігу деформацій і зміни опору навантаженням у часі. З процесів, які вивчають у реології ґрунтів, є релаксація і повзучість.

Релаксацією напружень ґрунтів називають поступове зменшення напружень у результаті переходу за тривалої дії навантажень пружних деформацій у пластичні.

Повзучістю ґрунтів називають здатність їх деформуватись під постійним навантаженням, що пов'язано з виникненням мікротріщин у структурних

агрегатах з наступним поступовим прогресуючим руйнуванням найбільш напружених структурних елементів і цементаційних зв'язків між ними. Велике значення в цьому процесі мають деформації водно-колоїдних плівок у точках контакту.

Якщо внутрішні деформації в ґрунті зумовлюють в основному збільшення числа контактів і щільніше укладання ґрунтових часточок та агрегатів, то деформація стиску або зсуву має затухаючий характер і припиняється після досягнення деякої величини. Якщо до ґрунту прикласти велике навантаження, то іноді деформація може відбуватися з практично сталою швидкістю. Такий характер деформації називають сталою повзучістю, або пластичною течією.

Повзучість пов'язана із здатністю водно-колоїдних зв'язків у ґрунті повільно деформуватись під дією навантаження, якщо дотичні напруження в ґрунті перевищують частину загального опору зсуву, яка залежить від внутрішнього тертя і структурного зчеплення (поріг повзучості).

Реологічні властивості ґрунту як об'єкта сільськогосподарського виробництва. Відповідно до рівнянь стану ґрунту потрібно визначити такі реологічні властивості: модуль пружності за об'ємних деформацій (E , кПа); модуль пружності за зсувних деформацій (O кПа); коефіцієнт в'язкості за зсувних деформацій (η , кПа/с); кут внутрішнього тертя (ϕ' , град); зчеплення (C , кПа); коефіцієнт в'язкості за об'ємних деформацій (μ , кПа/с).

На підставі розроблених методів визначення реологічних властивостей ґрунтів, в основу яких покладено вивчення поздовжніх і крутних коливань зразка ґрунту як в'язкопружного стрижня, скріпленого одним кінцем з нескінченною масою і навантаженого на другому кінці, одержано такі залежності для визначення пружно- в'язких властивостей:

модуль пружності

$$E = \frac{4P_0 l \left[\left(\ln \frac{A_1}{A_2} \right)^2 + 4\pi^2 \right]}{\pi g d^2 T^2 K^2}; \quad (5.1)$$

коефіцієнт в'язкості за об'ємних деформацій

$$\mu = \frac{8P_0 \ln \frac{A_1}{A_2}}{\pi g d^2 T}; \quad (5.2)$$

модуль зсуву

$$G = \frac{4P_0 l \left[\left(\ln \frac{A_1}{A_2} + 4\pi \right)^2 \right]}{\pi g d^2 T^2 \nu^2}; \quad (5.3)$$

коефіцієнт в'язкості за зсувних деформацій

$$\eta = \frac{3P_0 \ln \frac{A_1}{A_2}}{\pi g d T}, \quad (5.4)$$

де d і P_0 - відповідно діаметр, довжина і сила тяжіння зразка ґрунту;
 T , A_1 , A_2 - період і послідовні амплітуди коливань ґрунтових зразків; K і ν -
 розв'язки відповідних трансцендентних рівнянь.

Для прикладу розглянемо зміну складових структора для деяких
 типів ґрунтів, які є характерними для зони Лісостепу України (табл.),
 залежно від зміни вологості W .

Ґрунт	$W, \%$	$E, \text{кПа}$	$G, \text{кПа}$	G/E	$\eta, \text{Н} \cdot \text{с/см}^2$	$\mu, \text{Н} \cdot \text{с/см}^2$	η/μ
Темно-каштановий	13,9	6060	2490	0,411	0,489	0,0452	10,81
залишково-слабко-	11,4	22 540	8580	0,389	0,937	0,0930	10,07
солонцюватий лег-	9,7	33 470	13 060	0,390	0,711	0,0691	10,28
косуглинковий	7,7	80 250	31 830	0,303	0,698	0,0675	10,34
Темно-каштановий	18,5	5440	2000	0,369	0,453	0,0440	10,29
середньосуглинко-	16,8	24 630	9330	0,379	0,925	0,0918	10,07
вий	14,7	34 420	13 210	0,384	0,847	0,0834	10,15
	12,0	51 860	20 100	0,387	0,845	0,0835	10,35
	9,9	79 630	31 600	0,396	0,677	0,0668	10,13
Лучно-каштановий	18,9	4260	1590	0,373	0,347	0,0330	10,81
залишково-солон-	17,6	21 310	8020	0,373	0,036	0,0592	10,47
цюватий поверхне-	13,6	37 550	14 400	0,383	0,747	0,0741	10,08
во глейовий серед-	12,5	43 300	16 870	0,389	0,678	0,0670	10,11
ньосуглинковий	11,2	55 140	21 690	0,393	0,639	0,0633	10,09
Солонець лучний	23,8	9400	3590	0,382	0,476	0,4730	10,68
глибокосолонцюва-	22,0	20 740	7910	0,381	0,814	0,0810	10,04
тий важкосуглин-	20,5	45 310	1754	0,387	0,918	0,0920	9,98
ковий	18,3	61 060	23 800	0,389	0,658	0,0649	10,13
	17,3	61 890	24 000	0,387	0,519	0,0507	10,23

Контрольні питання

1. Що називають оптимальною об'ємною масо ґрунтів?
2. Які види обробітку ви знаєте?
3. Назвіть моделі ґрунту за дії на нього робочих органів сільськогосподарських машин.
4. Яка умова механіки деформованого тіла?
5. Які процеси описує реологічна модель ґрунту.

ЛЕКЦІЯ 6 ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯК ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ

План лекції

1. Форма, стан поверхні і маса насіння.
2. Фрикційні властивості.
3. Витікання насіння крізь отвори.
4. Передача руху через сухе тертя в активному шарі насіння.
5. Стійкість насіння проти пошкодження висівними апаратами сівалок.

6.1 Форма, стан поверхні і маса насіння

Розрахунки і проектування робочих органів посівних машин вимагають обґрунтування елементів їх конструкцій з врахуванням технологічних властивостей насіння. Ці властивості визначаються головним чином морфологічною будовою та іншими особливостями насіння.

До основних технологічних властивостей насіння відносяться: 1)розміри насіння; 2)форма насіння; 3)структура і стан поверхні насіння; 4)маса насіння; 5)фрикційні властивості насіння; 6)характер витікання насіння через отвори; 7)передача руху через сухе тертя в "активному" шарі насіння; 8)здатність протистояти травмуванню під час роботи висівних апаратів та інших органів сівалок.

Розміри насіння. Розміри насіння різних культур різноманітні. Розміри насіння визначаються лінійними параметрами (довжина, ширина, товщина).

Довжина насіння зернових, зернобобових культур коливається в широких межах: від 1,8 (просо) до 18 мм (овес), олійних і технічних культур – від 2,5 (цукрові буряки) до 15 (соняшник), бобових і злакових кормових трав – від 1,1 (люцерна) до 8 (еспарцет), овочевих культур та коренеплодів – від 1,2 (селера) до 5,2 мм (кріп).

Ширина насінин зернових і зернобобових культур знаходиться в межах: 1,2 (просо) до 10 мм (кукурудза), олійних і технічних культур – від

1,7 (льон) до 8,6 (соняшник), бобових і злакових кормових трав – від 0,6 (тимофіївка) до 6 (еспарцет), овочевих культур та кормових коренеплодів – від 0,6 (петрушка) до 3,2 мм (редиска).

Товщина насіння зернових і зернобобових культур коливається від 1,0 (просо) до 8 мм (кукурудза, горох), олійних і технічних культур – від 0,5 (льон) до 6 (соняшник, соя), бобових і злакових кормових трав – від 0,4 (конюшина, тимофіївка) до 4 (еспарцет), овочевих культур та кормових коренеплодів – від 0,3 до 2,5 мм (редиска).

Різноманітність насіння по розмірах і інших ознаках властивостей пояснюється різними умовами живлення, забезпечення вологою, дозрівання й формування його на рослині і, безумовно, сортом рослин.

Форма насіння

За формою насіння класифікується на п'ять класів:

а) *куляста* (довжина, ширина та товщина насіння практично однакові або відрізняються незначно – горох, просо, сорго);

$$\bigcirc \quad l = b = c$$

б) *сочевицеподібна* (ширина дорівнює довжині при значно меншій товщині – сочевиця та ін.);

$$\begin{array}{c} \square \\ \square \end{array} \quad c \leq b = l$$

в) *еліптична* (товщина дорівнює ширині при значно більшій довжині – соя та інші зерна бобових культур);

$$\begin{array}{c} \square \\ \square \end{array} \quad c = b \leq l$$

г) *продовгувата* (всі розміри зернини відрізняються один від одного – пшениця, ячмінь, жито, кукурудза та ін.); $\triangle$

д) *тригранна і багатогранна* – гречка.

Поверхня насіння. Поверхня насіння може бути гладенькою і глянцевою, ребристою і шершавою, горбистою і зморшкуватою.

Маса насіння. Показниками маси насіння є: а) абсолютна маса; б) об'ємна маса (натура, насипна щільність); в) щільність.

Абсолютною масою насіння називають масу 1000 шт. зернин у грамах (табл. 2.1).

Натура насіння основних польових культур коливається в межах, кг/м³: овес – 400...550; пшениця озима – 750...850; кукурудза – 680...860; соняшник – 275...400; льон – 580...680.

Щільність насіння основних польових культур коливається від 0,9 (соняшник) до 1,5 г/см³ (горох, пшениця, ячмінь). На величину щільності впливають вологість, вміст повітря в ендоспермі, хімічний склад насіння.

Таблиця 6.1

Абсолютна маса насіння основних сільськогосподарських культур

Культура	Маса 1000 насінин, г	Культура	Маса 1000 насінин, г
Пшениця	22...42	Кукурудза	205...345
Жито	13...32	Гречка	23,5
Овес	20...42	Просо	6...6,5
Ячмінь	31...51	Горох	155
Рис	24...31	Соняшник	53...69

6.2 Фрикційні властивості насіння

Основним видом тертя насіння є тертя ковзання. Динамічний коефіцієнт зовнішнього тертя для насіння пшениці, ячменю, кукурудзи по різних матеріалах знаходиться в межах $f_q = 0,3...0,5$. Динамічний f_q і статичний f_c коефіцієнти зовнішнього тертя знаходяться у співвідношенні

$$f_q = (0,6 \dots 0,7) f_{ст}. \quad (6.1)$$

Коефіцієнт внутрішнього тертя основних зернових культур знаходиться в межах $f' = 0,44...0,57$.

Кути внутрішнього тертя сипучих матеріалів дорівнюють кутам природних скосів. Якщо сипучий матеріал (насіння), розміщений на похилій площині (рис. 6.1), то при певних умовах (зменшення кута нахилу площини)

матеріал (насіння) перестає рухатися по поверхні.

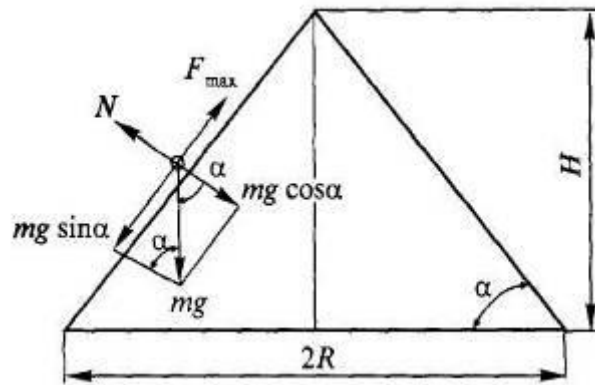


Рисунок 6.1- Схема для виявлення кута внутрішнього тертя

Взаємне переміщення часточок (насіння) припиняється при

$$mg \sin \alpha = F_{\max}, \quad (6.2)$$

де m – маса насіння; g – прискорення вільного падіння; α – кут природного скосу; $F_{\max}$ – сила тертя, що виникає при взаємному переміщенні насіння.

$$F_{\max} = f' \cdot N. \quad (6.3)$$

Так як $N = mg \cos \alpha$, то первинна умова набуває вигляду

$$mg \sin \alpha = f' mg \cos \alpha. \quad (6.4)$$

$$\text{Звідси} \quad \operatorname{tg} \alpha = f' = \operatorname{tg} \varphi'. \quad (6.5)$$

Значить, рівновага настає при $\alpha = \varphi'$.

Звідси

$$\varphi' = \operatorname{arctg} H / R. \quad (6.6)$$

Кут природного скосу насіння в основному залежить від вологості насіння. При вологості насіння пшениці 11...12 % цей кут має величину біля 34° , при вологості 14...15 % – збільшується до 37° .

6.3 Витікання зерна через отвори

Витікання насіння через отвори можливе при достатній величині отвору. Мінімальна його величина визначається розмірами насіння, формою, коефіцієнтом тертя. Найбільш інтенсивно прямують вниз зерна, які розташовані безпосередньо над отвором. У міру переходу вгору зона активного руху розширюється і при круглому отворі набуває форми конуса

(зрізаного).

Якщо виміряти кількість витікаючого з отвору насіння в одиницях об'єму, який відноситься до часу на площу перерізу, то цей питомий показник q є швидкість витікання і має розмірність швидкості – см/с:

$$q = Q/F, \quad (6.7)$$

де Q – кількість насіння, яка витікає в одиницю часу, см³/с;

F – площа перерізу отвору витікання, см².

При витіканні насіння через отвір за дослідженнями А.Н. Семенова, існує критичний переріз отворів витікання. Зменшення перерізу вихідного отвору приводить до того, що при певному його значенні витікання насіння припиняється, незважаючи на те, що діаметр отвору ще значно більший поперечного перерізу зерен (рис. 6.2).

Витікання насіння відбувається без особливих затримок, якщо

$$\frac{r}{4\sqrt{bc}} \geq 1, \quad (6.8)$$

Коли

$$0,5 \leq \frac{r}{4\sqrt{bc}} < 1, \quad (6.9)$$

то витікання насіння зменшується і при

$$\frac{r}{4\sqrt{bc}} < 0,5 \quad (6.10)$$

повністю припиняється.

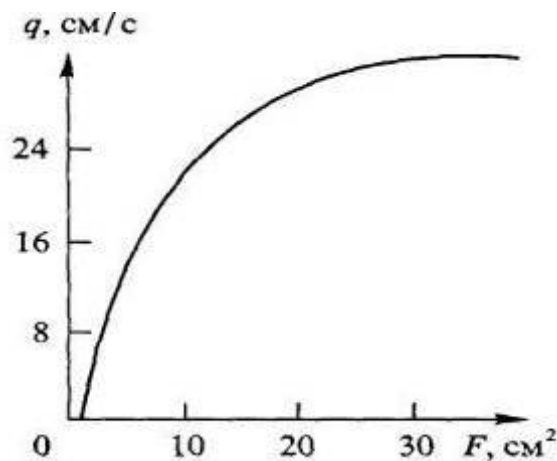


Рисунок 6.2 -Залежність питомого витікання насіння через круглий отвір від площі перерізу

Для визначення розмірів мінімально допустимих (критичних) отворів, з врахуванням характерних особливостей витікання насіння через отвори різної форми, можуть служити наступні вирази:

для круглих отворів

$$r = 4\sqrt{bc}, \quad (6.11)$$

для квадратних отворів

$$a = 4\sqrt{\pi bc}, \quad (6.12)$$

для еліптичних отворів

$$a' = \frac{2b'\sqrt{bc}}{b' - 2\sqrt{bc}}, \quad (6.13)$$

6.4 Передача руху через сухе тертя в «активному шарі» насіння

В кожному висівному апараті зернових сівалок насіння переміщується:

- а) вільним рухом зверху вниз під дією сили тяжіння;
- б) примусово, перемістившись у впадини котушки, рухається разом із котушкою;
- в) напівпримусово – в «активному» шарі рух насінин створюється силами внутрішнього тертя, які викликаються котушкою.

Швидкість руху окремих шарів насіння в загальному "активному" шарі підлягає математичному виразу в експоненціальній залежності

$$v_{\pi} = v_0 \cdot q^{\pi}, \quad (6.14)$$

де v_0 – швидкість першого шару, рівна швидкості деталі, яка створює імпульс; π – порядковий номер шару, який приходить в рух; q – коефіцієнт, рівний:

$$q = e^{\frac{f'}{c}}, \quad (6.15)$$

В міру заглиблення у насіннєвий матеріал швидкість руху насіння різко знижується (рис. 6.3). Загальна товщина активного шару не перевищує 4...6-кратної товщини насінини. У пшениці практично рухаються 4 шари (приблизно 10 мм), у проса 5 шарів (приблизно 7 мм).

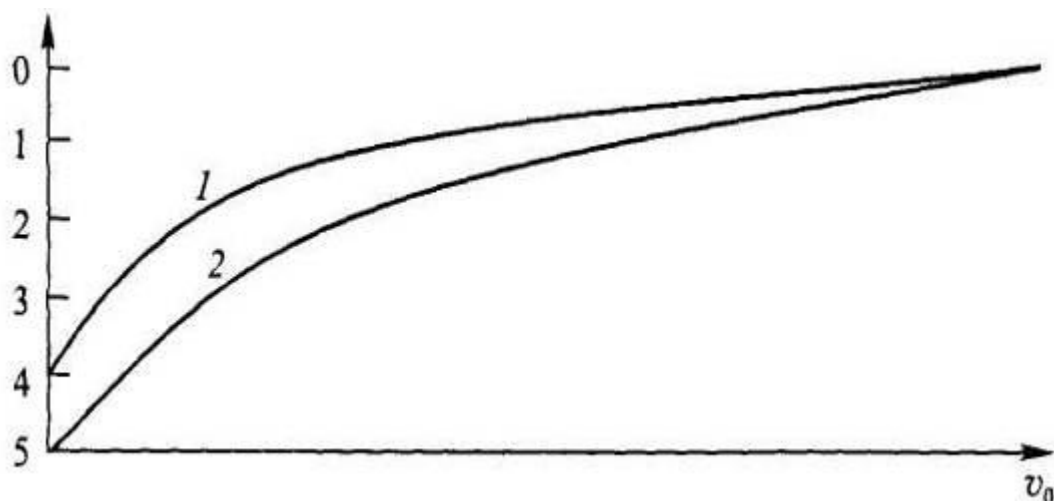


Рисунок 6.3-Закономірність зміни швидкості руху різних шарів насіння у насінному матеріалі:

1 – пшениця; 2 – просо

6.5 Стійкість насіння проти пошкодження висівними апаратами сівалок

Механічні пошкодження насіння під час сівби, якщо не повністю виключаються, то повинні бути зведені до мінімуму.

Схожість і життєздатність насіння знижуються навіть тоді, коли воно не отримало зовнішнього пошкодження і робота удару становить всього 50 % роботи, що руйнує оболонку насінини. Вплив висоти падіння масивної деталі на схожість насіння жита і пшениці за його вологості 16 % характеризується наступними величинами (табл. 6.2).

Слід мати на увазі, що навіть незначне пошкодження насіння при сівбі – небажане.

Таблиця 6.2-Закономірність пошкодження насіння при падінні на нього масивної деталі

Схожість насіння, %	Висота падіння деталі, см			
	1	2	3	4
Жита	100	100	80	65
Пшениці	100	80	–	–

Помічено, що з підвищенням норми висіву кількість механічно пошкоджених насінин зменшується як в дольовому виразі, так і в абсолютній кількості, але стійкої закономірності при цьому не виявлено, так як норма висіву сівалок з катушковим висівним апаратом встановлюється двома видами регулювання (величиною робочої довжини катушки і частотою обертання катушок), кожне з яких по різному впливає на пошкодження насіння при висіві, особливо зерно-бобових культур.

Механічні пошкодження знижують схожість насіння насамперед внаслідок пошкодження зародка та ураження пошкодженого насіння бактеріями, грибами, кліщами та іншими хворобами і шкідниками.

Встановлено, що:

а) проростки пошкоджених насінин втрачають орієнтацію в просторі, витинаються в різних напрямках, погано використовують запаси поживних речовин зернівки і повільно ростуть. При цьому проростки інколи не досягають поверхні ґрунту і гинуть;

б) мікроорганізми, які проникають в пошкоджене насіння в період зберігання, а також під час проростання, використовують можливі речовини зернівки і послабляють паростки.

Польова схожість озимої пшениці зі збільшенням пошкодження насіння в посівному матеріалі від 1 до 3 % знижується з 85 до 71 %.

Насіння з механічними пошкодженнями має підвищену чутливість до несприятливих ґрунтових умов. При низькій температурі відбувається затримка появи сходів. Сівба в оптимальні агротехнічні строки пошкодженого насіння різко знижує польову схожість зі збільшенням глибини загортання насіння в ґрунт, особливо з пошкодженням зародка.

Якість зерна, одержаного із механічно ушкодженого насіння, значно нижча якості зерна, одержаного від рослин, які вирости навіть із дрібного насіння. Зниження маси 1000 зерен по озимому житю складало 14...17,4 %, по ярій пшениці – 9,8...11,9 %. Спостерігається збільшення невирівняності по розмірах. Мукомельні та хлібопекарські якості погіршуються.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні технологічні властивості насіння.
2. Дайте характеристику розмірів зернових культур.
3. Якою може бути поверхня насіння?
4. Наведіть основні показники маси насіння.
5. Доведіть, що кут внутрішнього тертя дорівнює куту природного укосу насіння.
6. Як визначити питомий показник витікання зерна крізь отвори?
7. Наведіть залежність питомого показника витікання зерна крізь круглий отвір від площі перерізу.
8. Напишіть формули визначення критичних розмірів для круглих, квадратних і еліптичних отворів.
9. Наведіть закономірність зміни швидкості руху різних шарів насіння.
10. За якою формулою визначають швидкість руху окремих шарів насіння?
11. Як впливають на пошкодження насіння довжина робочої частини і частота обертання катушки?

ЛЕКЦІЯ 7. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ ЯК ОБ'ЄКТА МЕХАНІЗОВАНОГО ВНЕСЕННЯ В ҐРУНТ

План лекції

1. Властивості твердих мінеральних добрив: об'ємна маса, гранулометричний склад, гігроскопічність, злеглість, сипкість, розсіюваність, склепінеутворення.

2. Опір зсуву, коефіцієнти тертя, кути природного укосу та обвалу, прилипання, аеродинамічні властивості, розчинність, змішування

7.1 Властивості твердих мінеральних добрив: об'ємна маса, гранулометричний склад, гігроскопічність, злеглість, сипкість, розсіюваність, склепінеутворення

За способом одержання добрива поділяють на дві групи: мінеральні та органічні. Знаходять застосування суміші органічних та мінеральних добрив – органо-мінеральні компости.

Мінеральні добрива за призначенням поділяють на добрива прямої дії, які призначаються безпосередньо для живлення рослин, і посередньої дії, які застосовують для поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунту. Мінеральні добрива прямої дії поділяються на прості, які містять один якийсь живильний елемент, і змішані, які являють собою механічні суміші двох або трьох простих добрив.

Мінеральні добрива – добрива, які виробляються промисловістю із мінералів або господарським шляхом, спалюючи органічні речовини.

Органічні добрива – це добрива тваринного або рослинного походження і мають багато спільних властивостей. Органічні добрива називають повними, тому, що вони в своєму складі мають основні елементи живлення рослин і часто в різних пропорціях.

Властивості гною також змінюються в залежності від умов і часу його зберігання. В процесі зберігання гній перепріває, розкладається і дозріває.

Визначають чотири стадії зрілості гною:

1. Свіжий та малоперепрівший гній. В такому добриві солома і підстилковий матеріал майже повністю зберігають свій колір і міцність.
2. Напівперепрівший гній має в своєму складі солому темно-коричневого кольору з послабленою міцністю і легким руйнуванням.
3. Перепрівший гній – це чорна мажуча маса, в якій не виявляються окремі соломини, і має порівняно рівномірну зв'язність.
4. Перегній – це чорна, розпушена, однорідна земляниста маса, в якій не розрізняються вихідні матеріали.

Тверді мінеральні добрива виготовляють порошкоподібними та гранульованими.

Найважливішими властивостями мінеральних добрив є:

Об'ємна маса – це маса одного кубічного метра добрива, виражена в тоннах. Цей показник для існуючих мінеральних добрив становить від 0,6 до 2 т/м³. Основні види мінеральних добрив мають таку об'ємну масу, т/м³: аміачна селітра – 0,8...1,0, хлористий калій – 0,9...1,0, суперфосфат – 1...1,2.

Розміри часточок та гранулометричний склад. З точки зору технології висіву оптимальні розміри частинок гранульованих мінеральних добрив знаходяться в межах 1...4 мм з перевагою частинок 2...3 мм.

Таблиця 3.1- Категорії злежалості добрив

Категорії злежалості	Ступінь злежалості	Опір руйнування, кПа
1	Не злежалось	до 100
2	Трохи злежалось	100...200
3	Злежалось	200...700
4	Сильно злежалось	700...1500
5	Дуже сильно злежалось	більше 1500

Ступінь злежалості визначається методом стискання циліндрів, які готують із злежалого добрива. В залежності від міцності зразків добрива має ту або іншу категорію зле жалості.

Опір руйнуванню при стисканні визначають за формулою

$$\sigma = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot D^2}, \quad (3.1)$$

де P – зусилля руйнуванню, Н; d – діаметр перерізу зразка, м.

Сипучість – це здатність добрива проходити крізь отвори. Ця властивість залежить від вологості добрива та розмірів окремих часточок, з яких складається добриво. Сипучість є показником розсіювання добрив. Вона оцінюється по 12–бальній шкалі.

Прилад для визначення сипучості складається з дванадцяти металічних воронок, з різними діаметрами отворів.

У аміачної селітри висота вільностоячої вертикальної стінки у зв'язку з ущільненням збільшується від 70 до 250 мм, у сечовини – від 150 до 250 мм, у хлористого калію і нітрофоски – від 125 до 250 мм. Гранульовані і сильно сипучі добрива вертикальної стінки не утворюють.

Склепостворення – властивість матеріалу утворювати над отвором, через який матеріал витікає, порожнину. Природно, що після утворення порожнини над отвором витікання матеріалу припиняється.

Таблиця 3.2 - Групування добрив за їх схильністю до склепоутворення

Здатність до склепоутворення і вільного витікання	Діаметр склепостворюючого отвору, мм
1. Склепи утворюють рідко, сипучість добра	10...20
2. Склепостворення і сипучість середні	30...75
3. Склепостворення сильне, сипучість слабка	100...150
4. Склепостворення дуже сильне, сипучість дуже слабка	180...200

Зсувне зусилля залежить від нормального навантаження на добриво, у зв'язку з чим опір добрива зсуву визначають при декількох питомих тисках, які близькі до значень навантаження в туковисівних апаратах.

Величину дотичного напруження τ визначають за формулою

$$\tau = \frac{T}{F}, \quad (3.2)$$

а нормального напруження

$$\sigma = Q/F, \quad (3.3)$$

Коефіцієнт зовнішнього тертя коливається в залежності від виду добрива в значних межах. Гранульовані добрива мають менші коефіцієнти тертя ніж порошкоподібні.

При висипанні із місткості крізь отвори всі добрива приймають на горизонтальній площині форму конуса. Кут, що утворює цей конус до горизонту, називається кутом природного укосу. Добрива, які залишаються в місткості, розташовуються під кутом обвалу $\alpha_{об}$. Кути α і $\alpha_{об}$ можна визначити за допомогою кутоміра (рис. 7.1).

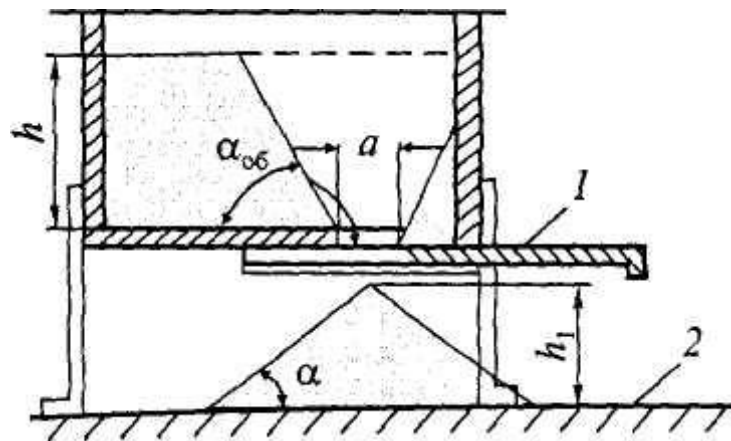


Рисунок 7.1 - Схема приладу для визначення кутів α і $\alpha_{об}$:

1 – заслінка; 2 – горизонтальна поверхня; h – висота добрива; h_1 – висота конуса; a – розмір отвору

Прилипання – це здатність деяких добрив при контактуванні зі стінками бункерів, тукових ящиків і тукових банок, валами і витками шнеків, робочими органами, мішалками та іншими деталями машин налипати на їх поверхню й порушувати роботу машин. У складі майже всіх мінеральних сухих добрив є дуже дрібні часточки, які здатні прилипати до поверхонь машин.

Парусність часточок добрива визначається швидкістю повітряного потоку, в якому часточки добрива утримуються в зрівноваженому стані силою тяжіння. При внесенні добрив відцентровими або іншими кидаючими

органами машин дальність польоту часточок та якість розсіювання добрива визначаються в основному коефіцієнтом парусності.

Розчинність добрив різна і поділяється на: а) дуже сильну; б) сильну; в) малу; г) дуже малу. Ця властивість в значній мірі визначає агресивність добрива відносно робочих органів і в цілому машин для внесення добрив.

При змішуванні добрив слід дотримуватися певних правил, порушення яких може призвести до зниження їх ефективності. При змішуванні деяких добрив може знизитися їх поживна цінність.

До основних механіко-технологічних властивостей підстилкового гною слід віднести: об'ємну масу, опір розриванню, стиску та зсуву, коефіцієнти зовнішнього та внутрішнього тертя, липкість, аеродинамічні властивості, теплофізичні властивості.

Об'ємна маса гною в основному залежить від підстилкового матеріалу та вологості. Значення об'ємної маси гною знаходиться в межах від 400 до 1100 кг/м³. Найвищу об'ємну масу має глибокостійловий гній. Додавання до гною соломи зменшує його об'ємну масу. Об'ємна маса торфу при зміні вологості від 40 до 86 % збільшується від 0,27 до 1,02 т/м³.

Опір гною розриванню. Вид, кількість та стан підстилкового матеріалу, який входить до складу гною, визначають опір гною розриванню – важливого показника властивості гною для механізації навантаження, транспортування і його розкидання. Опір розриванню зумовлюється наявністю та станом підстилки, залишків кормів, а також дією молекулярних і капілярних сил зчеплення. Залежність нормального напруження розриванню твердих органічних добрив від їх об'ємної маси γ визначають за формулою:

$$\sigma_p = \kappa \cdot \gamma^n, \quad (7.4)$$

де κ та n – постійні коефіцієнти для даного виду добрива. Наприклад: для гною $\kappa = 0,16$; $n = 1,9$.

Опір гною розриванню як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках визначають за допомогою установки, яка працює на принципі важеля. Один кінець важеля має вила, на другому кінці закріплюють трос з

динамографом.

Міцність при стисканні. В умовах обмеженого бічного розширення залежність між напруженням і деформацією при стисканні виявляється функцією виду:

$$\sigma_{cm} = c \cdot h^{\mu} , \quad (7.5)$$

Величини коефіцієнтів c і μ залежать від об'ємної маси і вологості. При зміні об'ємної маси солом'яного гною від 0,6 до 1,0 т/м³ при вологості 74% коефіцієнт c збільшується з 0,07 до 0,50, а коефіцієнт μ зменшується з 0,75 до 0,60.

При стисканні органічних добрив мають місце як пружні, так і остаточні деформації (рис. 3.2).

Величина пружної деформації визначається як різниця повної і остаточної деформацій:

$$h_{пр} = h - h_{ост} , \quad (7.6)$$

Напруження, які характеризують пружні властивості добрив, можна визначити за формулою

$$\sigma_{пр} = \sigma - \sigma_{ост} , \quad (7.7)$$

7.2 Опір зсуву, коефіцієнти тертя, кути природного укосу та обвалу, прилипання, аеродинамічні властивості, розчинність, змішування

Опір зсуву. Опір зсуву є важливою властивістю гною. Граничний опір зсуву характеризує зчеплення між часточками зв'язних матеріалів. Дотичне напруження зсуву, τ , для гною можна виразити формулою:

$$\tau_{зс} = C_{зв} + f'p , \quad (7.8)$$

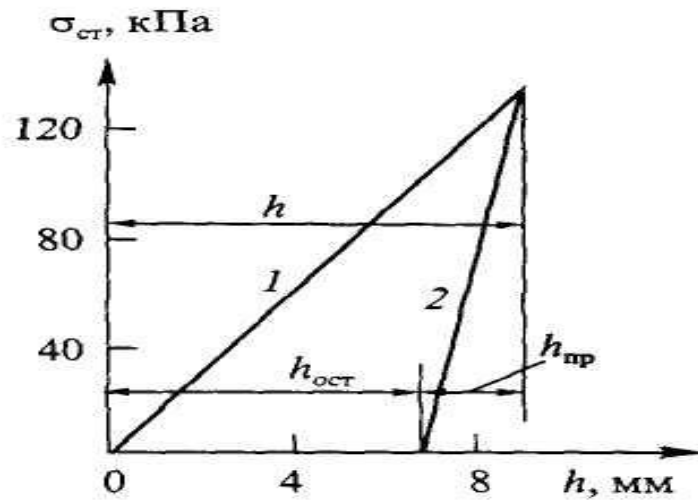


Рисунок 7.2 - Залежність пружного і остаточного напруження при навантаженні і розвантаженні зразка добрива:

- 1 – зміна повної деформації h при навантаженні;
- 2 – зміна остаточної деформації $h_{\text{ост}}$ при розвантаженні

Дотичне напруження $\tau_{\text{зс}}$ при збільшенні вологості нормального питомого тиску P (рис. 7.3), а також нормального напруження σ (рис. 7.4) зростає.

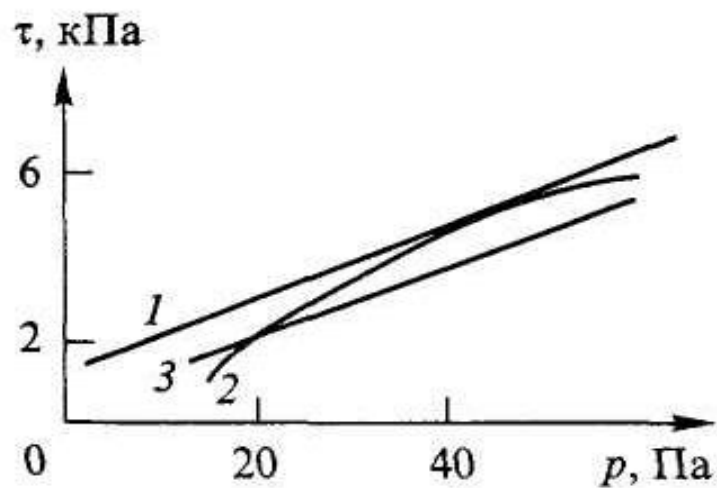


Рисунок 7.3 - Залежність $\tau_{\text{зс}}$ від P для гною з вологістю:

- 1 – 47 %; 2 – 65 %; 3 – 76 %

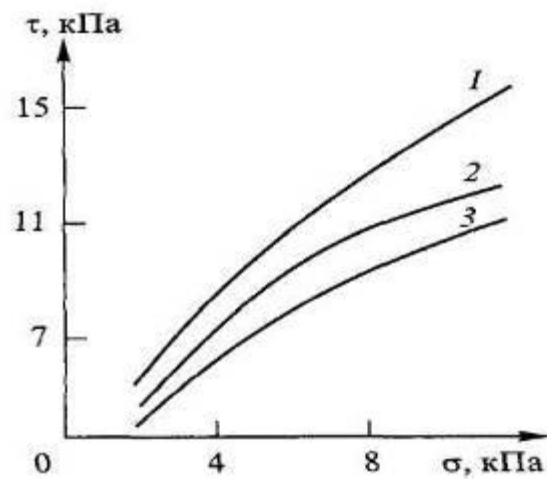


Рисунок 7.4 - Залежність τ_{zc} від σ для гною з вологістю: 1 – 88,4%; 2 – 82,2%;
3 – 75,6%

Дотичне напруження τ_{zc} при збільшенні вологості добрив зменшується як при зростанні P , так і σ . Дотичне напруження зсуву в залежності від об'ємної маси можна виразити залежністю виду

$$\tau_{zc} = \tau_1 \cdot \gamma_{п1}. \quad (7.9)$$

ЛЕКЦІЯ 8. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ЯК ОБ'ЄКТА МЕХАНІЗОВАНОГО ВНЕСЕННЯ В ҐРУНТ

План лекції

1. Об'ємна маса, опір ґною розриванню, міцність при стисканні, опір зсуву.
2. Фрикційні властивості, липкість, аеродинамічні властивості твердого ґною

8.1 Об'ємна маса, опір ґною розриванню, міцність при стисканні, опір зсуву

Графічна залежність τ_{zc} від об'ємної маси виражається видом (рис. 8.1). При збільшенні об'ємної маси солом'яного ґною з 500 до 900 кг/м³ τ_{zc} зростає від 10 до 23 кПа.

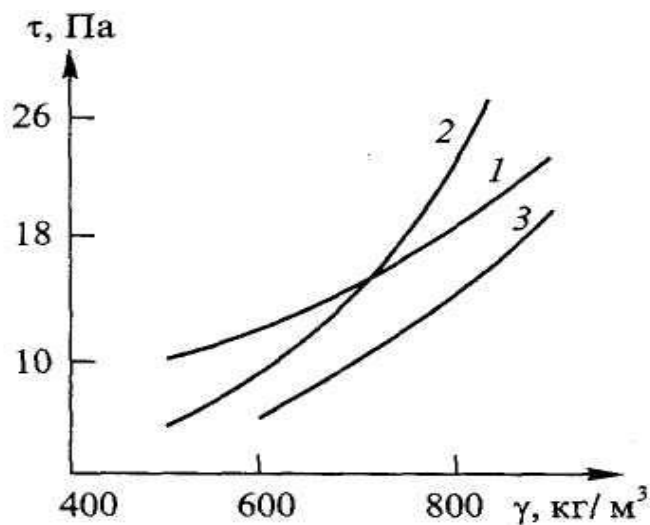


Рисунок 8.1 - Залежність τ_{zc} від γ :

1 – солом'яний ґній; 2 – свіжий компост; 3 – зрілий компост

8.2 Фрикційні властивості, липкість, аеродинамічні властивості твердого ґною

Фрикційні властивості. Коефіцієнт зовнішнього тертя ґною визначають за формулою

$$f = F / N, \quad (8.1)$$

Для вологих добрив, які мають липкість, залежність між зовнішньою

силою тертя F і нормальною силою тиску N виражається лінійною функцією виду:

$$F_{\text{вол}} = F_{\text{пр}} + fN, \quad (8.2)$$

Коефіцієнт зовнішнього тертя зменшується при збільшенні тиску (рис. 8.1) і вологості (рис. 8.2).

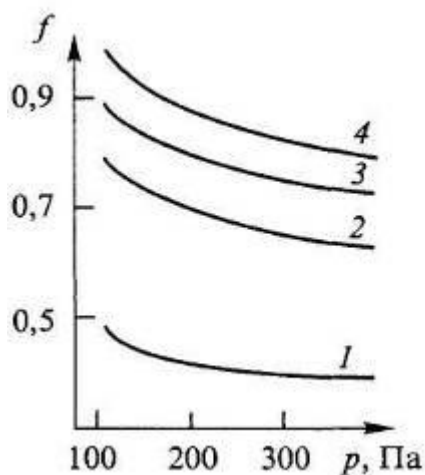


Рисунок 8.1 - Залежність f від P :

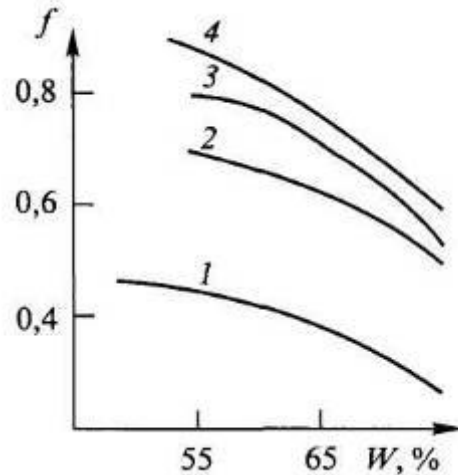


Рисунок 8.2 - Залежність f від W :

1 – поліетилен; 2 – дерево; 3 – сталь; 4 – гума

Коефіцієнт внутрішнього тертя при збільшенні питомого тиску знижується (рис. 8.3). При більш високому питомому тиску коефіцієнт внутрішнього тертя практично не змінюється. Для гною при зміні вологості від 45 до 70% f' зростає з 0,55 до 0,72 (рис. 8.4).

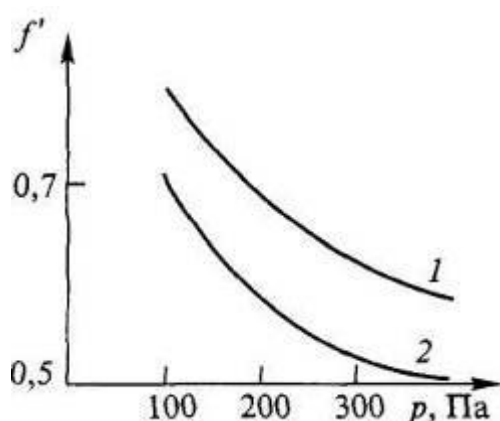


Рисунок 8.3 - Залежність f' від P :

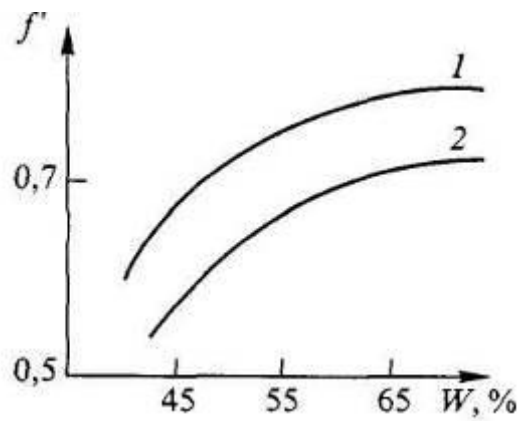


Рисунок 8.4 - Залежність f' від W :

1 – суміш подрібненого торфу з гноєм; 2 – гній

Липкість. Липкість гною зумовлена силами молекулярних взаємодій і вимірюється силою, віднесеною до одиниці площі, яку необхідно прикласти,

щоб відірвати прилипнутий до добрива предмет. Прилипання гною ускладнює роботу робочих органів машин, які контактують з ним, та зменшує надійність їх роботи. На липкість гною переважно впливають його вологість (рис. 8.5) і склад, а також матеріал поверхні робочих органів машин.

Аеродинамічні властивості твердого гною. Для розкидання гною на полі використовують роторні гноєрозкидачі. Гній захоплюється лопастями робочого органа гноєрозкидача і розкидається на поверхні поля. Кожна часточка гною, що розкидається, пролітає певний шлях у повітрі, де зустрічає опір повітря. Визначення дальності польоту часточок добрива без урахування опору повітря призводить до значних помилок. Опір повітря польоту часточок гною характеризується їх парусністю.

Опір повітря:

$$R = m \cdot K_{\Pi} \cdot v_{кр}^2, \quad (8.3)$$

де R – опір повітряного середовища польоту часточки гною, Н; m – маса часточки гною, Н с²/м; K_{Π} – коефіцієнт парусності, 1/м; $v_{кр}$ – швидкість руху часточки, м/с.

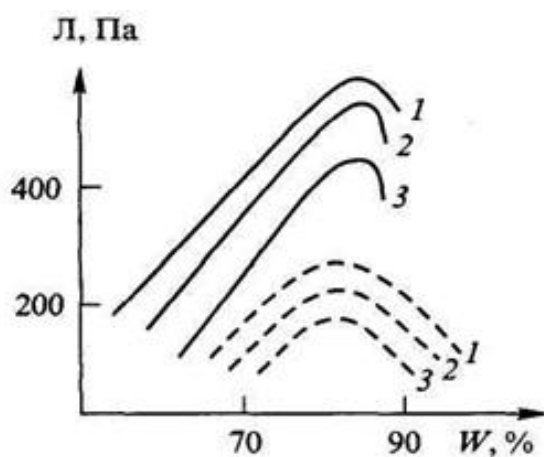


Рисунок 8.5 - Залежність липкості від вологості гною :

1 – до цементної поверхні; 2 – до дерев'яної поверхні; 3 – до сталевій поверхні (суцільні лінії – торфосолом'яного гною; штрихові – торф'яного)

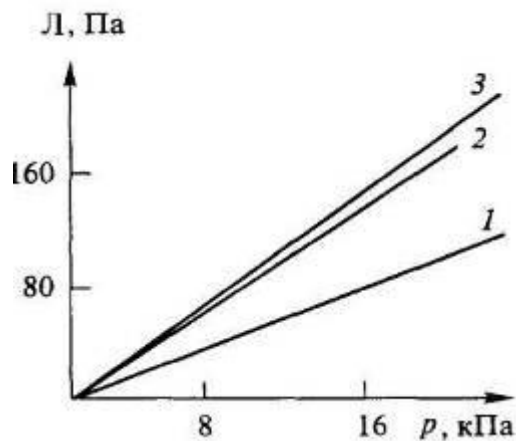


Рисунок 8.6 - Залежність липкості від P :

- 1 – соломяний гній;
- 2 – подрібнений торф;
- 3 – торфосоломяний гній

Коефіцієнт парусності підраховують за критичною швидкістю часточок.

Теплофізичні властивості рідких органічних добрив.

а) Теплоємність – кількість теплоти, необхідна для нагрівання одного кіло грама гною на один Кельвін. Знання теплоємності рідкого гною необхідно для розрахунків машин і механізмів по утилізації гною , обеззаражувань термічними способами, утриманню гною в зимовий період.

б) Температуропровідність – здатність гною передавати температуру сусіднім шарам. Вона залежить від вмісту в ньому води. При зменшенні вологості рідкого гною з 98 до 83% при температурі 25...40⁰С коефіцієнт температуропровідності знижується з 3,7 до 2,87 м²/с·10⁻⁴.

в) Температура замерзання. В зимовий період гній може замерзати при відповідній температурі. Тому необхідно знати температуру замерзання гною і його складових частин.

Контрольні запитання

1. За якими ознаками проводять класифікацію добрив?
2. Назвіть основні властивості мінеральних добрив.
3. Дайте поняття основним властивостям мінеральних добрив.
4. Що таке гігроскопічна точка добрива?
5. Що таке злежаність та злежалість добрив?
6. Розкажіть про методику визначення злежалості добрива.

7. Розкажіть про методику визначення сипучості добрив.
8. Розкажіть про методику визначення кута природного укосу і діаметра склепоутворюючого отвору.
9. Назвіть основні властивості органічних добрив.
10. Поясніть залежність дотичного напруження органічного добрива від нормального тиску.
11. Наведіть залежність липкості від вологості гною.
12. Наведіть залежність коефіцієнта зовнішнього тертя від вологості і нормального тиску гною.
13. Наведіть залежність коефіцієнта внутрішнього тертя від вологості і нормального тиску органічних добрив.
14. Дайте характеристику теплофізичних властивостей рідких органічних добрив: теплоємність, температуропровідність, температура замерзання.
15. За якою формулою визначають опір повітряного середовища польоту часточки добрива?

ЛЕКЦІЯ 9 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТЕБЕЛ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У ПЕРІОД СКОШУВАННЯ

План лекції

1. Механічні властивості.
2. Коефіцієнт взаємодії стебел.
3. Орієнтація стебел у просторі.
4. Фрикційні властивості.

9.1 Механічні властивості

Здавна, вирощуючи с.-г. рослини, людина мимоволі зустрічалась з необхідністю вивчати фізико-механічні властивості рослин. До певного часу ці дослідження носили форму звичайних спостережень і не відрізнялись особливою спрямованістю.

Питаннями вивчення фізико-механічних властивостей рослин займалися відомий фізик, математик і астроном Галілео Галілей (1638 р.), Н. Кульман (1856 р.), Г. Спенсер (1870 р.), С. Швенденер (1873 р.) та ін.

Основні розмірні характеристики стебла рослини представлені на рис. 9.1.

У низькорослих рослин основна маса листків розміщується недалеко від верхівки, а у високорослих – від основи, що зменшує висоту центра тяжіння рослини і частково розвантажує стебло.

Відношення $l_{ц.т.}$ до діаметра основи характеризує стійкість стебла.

Зв'язок між діаметром стебла кукурудзи на рівні зрізу і $L:d=0,012L$, а $l_{ц.т.}=0,45L$. Сила тяжіння рослини сильно корелює з його висотою $G=22,2 L$.

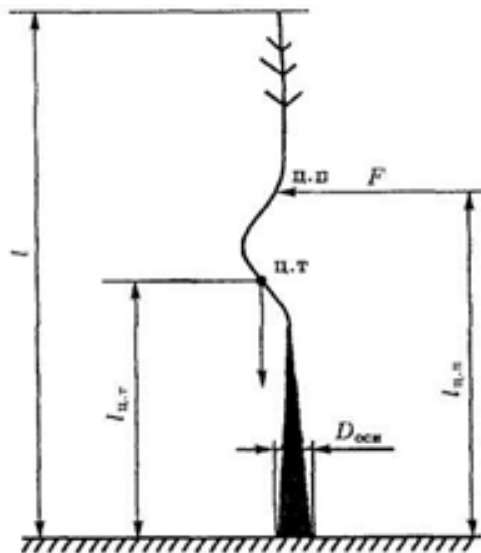


Рисунок 9.1- Розмірні характеристики стебла рослини:

l – висота стебла; $D_{осн}$ – діаметр основи стебла; $l_{ц.т.}$ $l_{ц.п.}$ – відповідно висота центра тяжіння і парусності рослини; F – результуюча сил дії навколишнього середовища (повітря, опадів і т.д.)

Фізико-механічні властивості окремих тканин стебел

Для визначення співвідношення арматури (армованих ниток) і основної тканини можливо використати метод мікроскопічних досліджень. За допомогою планиметра обчислюють площу перерізу зрізу S . На одній четвертій частині зрізу підраховують кількість пучків n (середнє значення). Лупою «Польді» вимірюють поздовжні і поперечні розміри пучків. Приймаючи кожний пучок за еліпс, визначаємо $F_{п} = \pi \cdot a \cdot b$, де a і b відповідно поперечні і поздовжні розміри пучка.

Сумарна площа пучків $F_c = n \cdot F_{п}$, де n – кількість пучків на поперечному перерізі зрізу. Площа „заповнювача” $F_3 = S - F_c$. Визначають коефіцієнт арматури λ .

$$\lambda = \frac{F_c}{S} \cdot 100, \% . \quad (9.1)$$

Залежність коефіцієнта арматури від діаметра має вигляд (рис. 9.2).

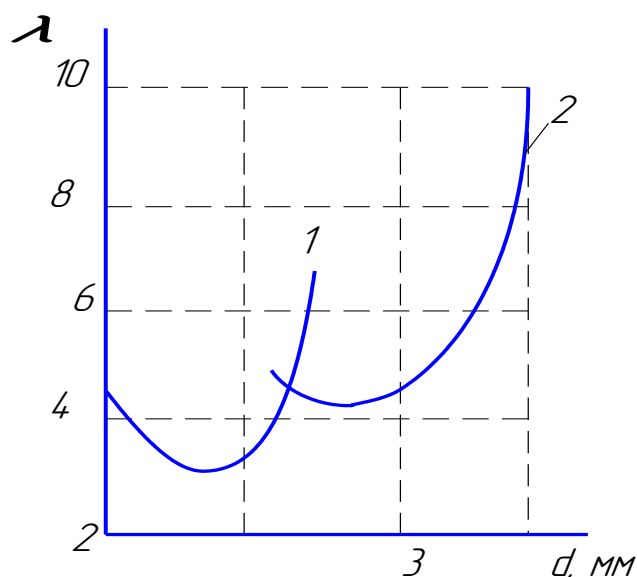


Рисунок 9.2-Залежність λ від d :

1 – пшениця ярова; 2 – ячмінь яровий

Виявлено, що для тканин стебел при розтяганні характерна прямолінійна залежність між зусиллям і деформацією аж до руйнування. Основні механічні характеристики при розтягуванні і стисканні можна визначити по наступних формулах:

1. Відносне подовження (скорочування)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (9.2)$$

2. Нормальне напруження (межа міцності)

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{F}, \quad (9.3)$$

3. Модуль пружності першого роду

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (9.4)$$

Таблиця 9.1-Фізико-механічні властивості окремих елементів кукурудзи

Вид деформації	Площа поперечного перерізу F , см^2	Абсолютне скорочення зразка Δ , мм	Нормальне напруження (граничне) σ , МПа	Модуль пружності E , МПа
Стиск кубика серцевини стебла у поздовжньому напрямку	1,8...2,3	0,82...1,03	0,27...0,25	3,0...4,0
	1,9...2,3	7,0...8,0	0,08	0,15...0,17

Стиск кубика серцевини стебла у поперечному напрямку	4,0...5,5	0,15...0,49	0,5...0,55	15...30
Стиск зразка із цілого стебла у поздовжньому напрямку	2,0...2,4	0,35...0,5	0,7	40...60
Стиск зразка із механічного кільця				

Опір стебел деформаціям

При розтягуванні стебел с.-г. культур спостерігається прямолінійна залежність між зусиллям і деформацією аж до їх руйнування.

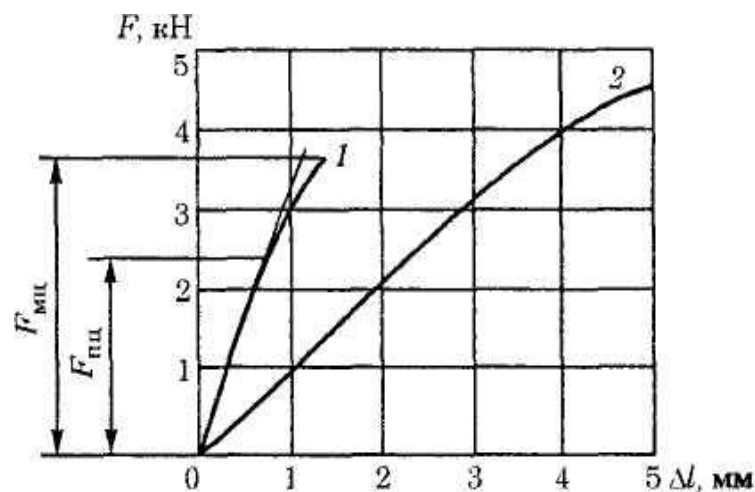


Рисунок 9.3 - Залежність F від Δl : 1 – кукурудза; 2 – соняшник

Межі міцності $\sigma_k = 7,5$ МПа; $\sigma_c = 7,0$ МПа.

Для спілого стебла, який утратив значну частину вологи, характерні наступні етапи сплюснення (рис. 9.4):

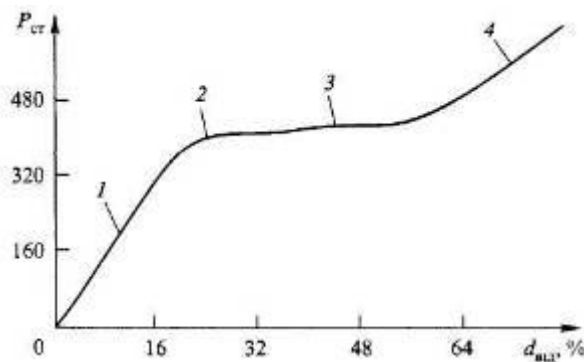


Рисунок 9.4 -Залежність деформації стебла кукурудзи від прикладеного зусилля

а) стиск деревинного кільця в межах пружної деформації (кр. 1). Величина деформації прямо пропорційна зусиллю стиску. Така закономірність зберігається до початку руйнування трубки;

б) руйнування деревинного кільця (кр. 2) з розколюванням його поздовж волокон;

в) характерно сповільнене зростання зусиль при великих деформаціях.

Опір стиску справляє головним чином серцевина (кр. 3);

г) пресування починається після повного руйнування деревинного кільця і характеризується швидким зростанням зусиль при незначних деформаціях (кр. 4).

Зусилля зламу стебел залежать від ступеню їх стиглості (вологість) і діаметра. Стебла кукурудзи і соняшника нерівномічні.

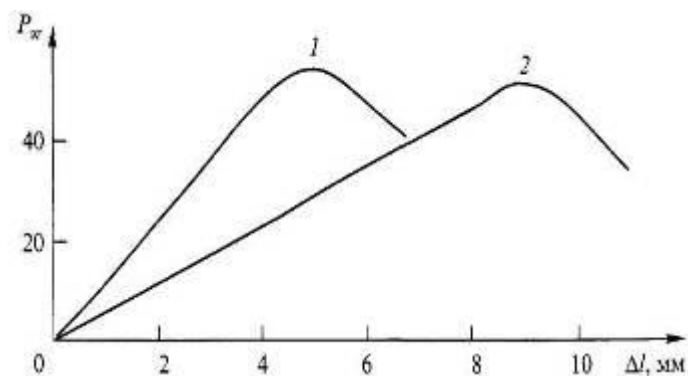


Рисунок 9.5-Діаграма вигину-зламу стебел у разі згинання на двох опорах:

1 – соняшник; 2 – кукурудза

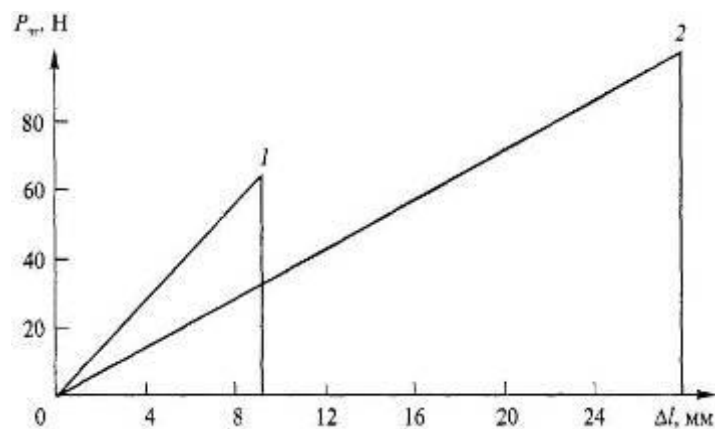


Рисунок 9.6 - Діаграма вигину – зламу стебел у разі згинання на одній

опорі: 1 – соняшник; 2 – кукурудза

Спочатку вигинається все стебло при порівняно незначних деформаціях (мала кривизна стріли прогину). Потім кривизна різко збільшується, деформація концентрується на невеликій ділянці і стебло сплющується.

Зусилля і робота різання знаходяться в прямій залежності від діаметра стебла. Основну частину енергії при різанні поглинає деревинна частина стебла. Опір різанню серцевини незначний в порівнянні з опором всього стебла, хоча площа поперечного перерізу серцевини займає близько 70 % площі перерізу стебла. Максимальна робота різання для стебел соняшника при прямому зрізі складає 10,2 Дж (а при скісному (похилому) – 6,8 Дж ($d_{ст} = 32$ мм, $W_a = 18$ %), для кукурудзи відповідно 10,3 і 7,4 Дж ($d_{ст} = 25$ мм, $W_a = 17$ %).

9.2 Коефіцієнт взаємодії стебел

Якщо стебло наближається до межі зламу, то після зняття навантаження воно повертається у вихідне положення. Пружнов'язкі властивості рослин визначаються їх анізотропною структурою і наявністю порожнин, заповнених повітрям і рідиною.

Залежність між середніми значеннями зусилля і нахилу в процесі відхилення стебла приблизно прямо пропорційна.

Середнє значення зусилля, необхідне для зламування одного із стебел, розташованих в групі, в 1,5...2 рази менше, ніж окремого відхиленого стебла. Це явище можна пояснити тим, що при відхиленні групи стебел не всі стебла однаково напружені. Найбільше напружені стебла ті, які розташовані на периферії групи (пучка).

На густому стеблостою дія робочого органа машин розповсюджується на ділянку L_o (рис. 9.7). Коефіцієнт, що виражає взаємодію стебел, визначається залежністю

$$K_b = L_o/L, \quad (9.5)$$

Для рідкого стеблостою $K_b = 1$; для середнього – $K_b = 1,3... 1,4$; для густого $K_b = 1,7$. Величина коефіцієнта K_b , а також імовірність зустрічі відхиленого стебла з іншими залежить від густоти стеблостою, висоти сте-

бел, їх переплетення та значення кута відхилення стебла.

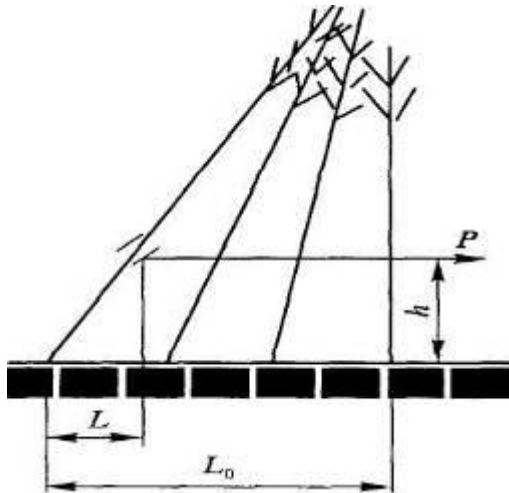


Рисунок 9.7- Схема для визначення коефіцієнта взаємодії стебел

9.3 Орієнтація стебел в просторі

Висота стеблостою та довжина стебел в основному визначають розміри робочих органів, їх установку, регулювання і режим роботи жатки. Положення стебла у просторі характеризується наступними параметрами:

1) відносним зниженням висоти розташування колоса (волоті, бобів) порівняно з його положенням в прямостоячому стані (рис. 9.8).

$$\Sigma = (l_{ст} - l_k) / l_{ст}, \quad (9.6)$$

де $l_{ст}$ – відстань від кореневої шийки до основи колоса прямостоячого стебла;

l_k – відстань від поверхні ґрунту до основи колоса полеглого стебла;

2) кутом відхилення стебла від вертикалі. При незначній кривизні зігнутого стебла

$$\alpha = \arccos (l_k / l_{ст}). \quad (9.7)$$

3) кутом β між проекцією стебла на поверхню ґрунту і напрямком переміщення збирального агрегату.

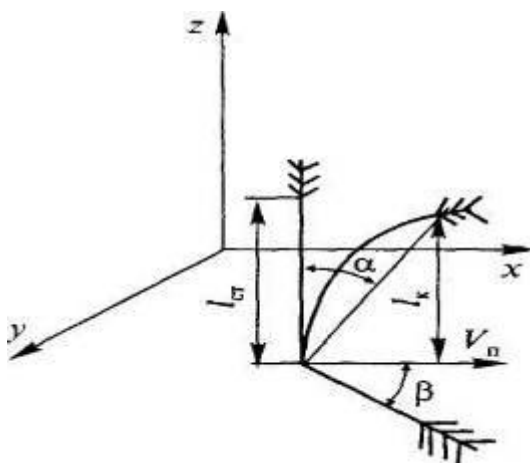


Рисунок 9.8- Схема визначення параметрів положення стебла у просторі

При русі жатки в напрямку полеглості стебел $0 \leq \beta \leq \pi/2$; $3\pi/2 \leq \beta \leq 2\pi$, а проти полеглості $\pi/2 \leq \beta \leq 3\pi/2$.

Якісні показники роботи жатки знижуються зі збільшенням кута α та при русі за поляганням стебел.

9.4 Фрикційні властивості стебел

На величину коефіцієнта тертя стебел впливають: вологість, температура повітря, форма і шершавість поверхні тертя, швидкість взаємного переміщення, тиск між поверхнями тертя.

Аналіз результатів багатьох досліджень по вивченню фрикційних властивостей стебел дозволяє зробити основні висновки:

а) при збільшенні вологості стебел до 70 % коефіцієнт тертя, як правило, зростає, а при подальшому збільшенні вологості, зменшується;

б) зміна швидкості взаємного переміщення поверхонь тертя від 0,1 до 10 м/с практично не впливає на коефіцієнт тертя ковзання;

в) при збільшенні питомого тиску між поверхнями тертя від 10 до 30 кПа коефіцієнт тертя зменшується за рахунок руйнування поверхневої тканини стебел і виділення з них внутрішньої вологи – змащування поверхні стебел;

г) значення коефіцієнта тертя – ковзання більше у поздовжньому напрямку стебла порівняно з поперечним;

д) листя має більший коефіцієнт тертя порівняно зі стеблами;

е) кут тертя стебел пшениці (діаметр 3 мм) по гладенькому лезу сегмента знаходиться в межах 12...17°, по насіченому зверху фрезеруванням – 44...47° (за даними Є. С. Босого).

Кут тертя стебел кукурудзи (діаметр 27...28 мм) по гладенькому лезу сегмента – 9...9,5°, по насіченому зверху фрезеруванням – 34...38°.

Кут тертя стебел соняшника (діаметр 27...29 мм) по гладенькому лезу сегмента – 9,5...10°, по насіченому зверху фрезеруванням – 42...45°.

Контрольні запитання

1. Назвіть вчених, які внесли вклад в розвиток науки по вивченню властивостей рослин.

2. Розповісти про сучасний погляд на будову стебел рослин.
3. Назвати основні розмірні характеристики стебла рослини.
4. Надати поняття коефіцієнта арматури.
5. Написати формули, за якими визначаються основні механічні характеристики стебел.
6. Привести фізико-механічні характеристики окремих елементів кукурудзи.
7. Привести залежність деформації стебла під час його розтягування.
8. Привести залежність деформації стебла під час його стискання.
9. Привести залежність деформації стебла під час його згинання на двох опорах.
10. Привести залежність деформації стебла під час його консольного згинання.
11. Привести характеристики стебла при перерізанні.
12. За якою формулою визначають коефіцієнт, що враховує взаємодію стебел.
13. Назвіть показники, що враховують орієнтацію стебел і їх визначення.
14. Проаналізуйте результати досліджень з вивчення фрикційних властивостей стебел.

ЛЕКЦІЯ 10 ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ЯК ОБ'ЄКТА ЗБИРАННЯ, ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ

План лекції

1. Структурні характеристики.
2. Аеродинамічні властивості: критична швидкість, коефіцієнт опору повітря, коефіцієнт парусності. Форма і стан поверхні.
3. Щільність зерна.
4. Електричні властивості. Колір зерен.
5. Пошкодження зерна під час очищення і сортування.

10.1 Структурні характеристики

Геометричні розміри зернин визначають за їх товщиною, шириною і довжиною. Товщиною називають найменший розмір зерна чи часточки, довжиною - найбільший, шириною - середній.

Для побудови варіаційного ряду або кривої потрібно виконати 300 - 500 вимірювань вибраного розміру - довжини, ширини чи товщини (або іншого показника властивості) і розподілити одержані виміри за класами.

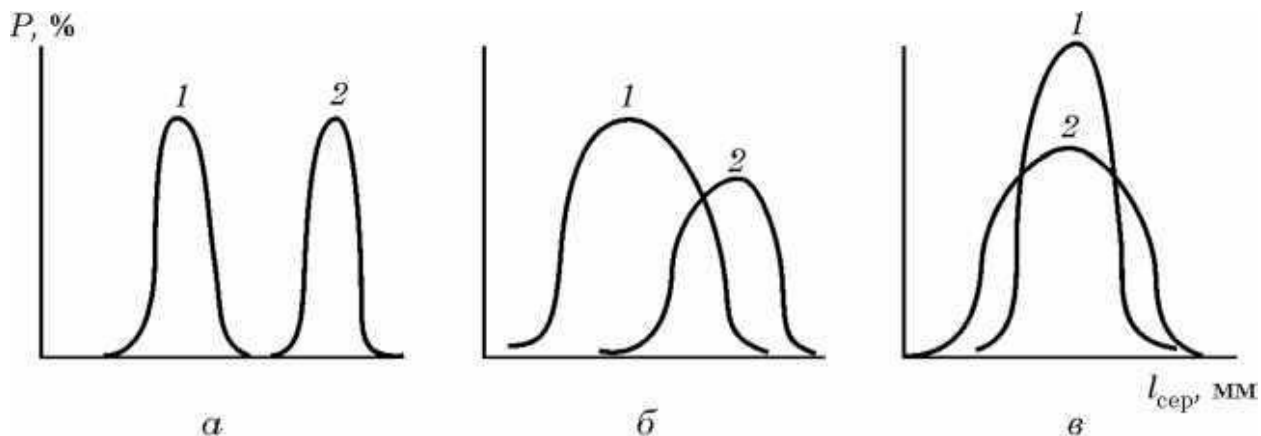


Рисунок 10.1-. Варіаційні криві розподілу зерна суміші двох компонентів (1 і 2) за довжиною зернин

За розміщенням варіаційних кривих двох компонентів 1 і 2, наприклад зерна основної культури і домішок, можна оцінити можливість розділення зернової суміші за цією ознакою. Якщо криві 1 і 2 не накладаються одна на одну (див. рис. 10.1, а), то можна досягти повного розділення за даною ознакою. Якщо ж спадна гілка однієї кривої перетинається зі зростаючою

гілкою іншої, то можливе часткове розділення зернової суміші; якщо криві перекриваються повністю, то розділити суміш таких зерен за даною ознакою неможливо.

За довжиною зернин зернову суміш розділяють на трісрах, за шириною — на решетах з круглими отворами, за товщиною — на решетах з довгастими отворами.

10.2 Аеродинамічні властивості зерен та часточок зернового вороху

Аеродинамічні властивості зерен та інших часточок суміші характеризуються критичною швидкістю потоку повітря в аеродинамічній трубці $v_{кр}$, коефіцієнтом опору повітря K та коефіцієнтом парусності K_n зерна чи іншої часточки суміші.

Критична швидкість. Якщо розмістити зернину чи іншу часточку суміші в ламінарний вертикальний потік повітря, який рухається знизу – вгору зі швидкістю v , то він буде діяти на зернину або часточку суміші з відповідною силою R (рис. 6.7), яка визначається за формулою Ньютона

$$R = K \cdot \gamma_n \cdot F(v - c)^2, \quad (10.1)$$

де K – коефіцієнт опору повітря; γ – об'ємна маса повітря, кг/м^3 ;

F – площа проекції зернини (часточки) на площину, перпендикулярну напрямку повітряного потоку (міделевий переріз), м^2 ; v і c – відповідно швидкості повітряного потоку та руху зернини (часточки), м/с .

Під дією сили R , яка створюється потоком повітря, і сили тяжіння G зернина (часточка) буде рухатись при:

$G > R$ – вниз; $G < R$ – вгору;

$G = R$ – знаходиться в завислому стані, буде витати, що відповідає критичній швидкості повітряного потоку.

Критична швидкість повітряного потоку може визначатись за формулою:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{G}{K \cdot \gamma_n \cdot F}}, \quad (10.2)$$

Значення швидкості повітряного потоку можна визначити за

аеродинамічним напором h_d . Вважають, що h_d дорівнює кінетичній енергії одиниці об'єму повітря:

$$h_d = \frac{m_n v_n^2}{2} = \frac{\gamma_n v_n^2}{2}, \quad (10.3)$$

де m_n – маса 1 м³ повітря ($m_n = \gamma_n \approx 1,2$ кг/м³); v_n – швидкість повітряного потоку, м/с.

При $v_n = v_{кр}$ маємо:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{2h_g}{\gamma_n}}, \quad (10.4)$$

де h_d – динамічний напір, Па;

Критичні швидкості зерен основних культур (пшениця, жито, ячмінь і інші) знаходяться в межах 7...14 м/с, м'якини 1,8...4,1 м/с.

Коефіцієнт опору повітря K визначається з певними труднощами, тому, що він залежить від багатьох нестабільних факторів: від форми та шершавості поверхні зерна (часточки), стану повітряного простору, швидкості потоку повітря і навіть температури повітря.

Для визначення K можна використати формули:

$$K = \frac{K_n \cdot m}{\gamma_n \cdot F}; \quad F = l^2; \quad l = \sqrt[3]{abc}; \quad T = \gamma_z \cdot l^3, \quad (10.5)$$

Коефіцієнт парусності K_n визначається за формулою:

$$K_n = \frac{K \cdot \gamma \cdot F}{m} = \frac{9,8 \cdot K \cdot \gamma \cdot F}{G} = \frac{9,8}{v_{кр}^2}. \quad (10.6)$$

Значення коефіцієнта K_n залежить від площі міделєвого перерізу, яка приходить на одиницю сили тяжіння. При зростанні відносної площі, яка піддається дії потоку, коефіцієнт парусності при інших рівних умовах збільшується.

Форма і сан поверхні зерен. Відмінності властивостей поверхні зерен використовують під час очищення і сортування зернового матеріалу.

За формою зерна, наприклад на решетах з трикутними отворами, з пшениці можна виділити гречку татарську, насіння якої має трикутну форму, з тимофіївки - щавель дрібний.

Зернову масу за формою зерна можна розділяти на гвинтових сепараторах - змійках. Зерна округлої, кулеподібної та інших форм, що надійшли на гвинтову поверхню сепаратора, рухаються по ній по-різному і з неоднаковими швидкостями. Кулеподібні й округлі зерна, перекочуючись, набувають значної швидкості, і в результаті руху по гвинтовій поверхні зазнають дії відцентрової сили, яка відкидає їх до периферії обертання через обмежувальний борт робочої поверхні змійки. Більш плоскі і з віддаленою від округлої формою зерна та часточки зернової суміші рухаються повільніше і зазнають дії меншої відцентрової сили, тому вони переміщуються по робочій поверхні змійки поблизу осі обертання і потрапляють по спеціальному каналу у відповідний зернозбірник.

Гвинтові сепаратори можна успішно використовувати для відділення зерен гороху із горохо-вівсяної суміші, для розділення вико- вівсяної суміші тощо.

Розділення зернової маси за формою зерна з використанням такої його властивості, як шершавість поверхні, можна проводити на фрикційних сепараторах. Зерно з гладенькою поверхнею та округлою формою має меншу силу зчеплення з поверхнею сепарувально- го органа і на сепараторах з прямолінійним рухом полотна (полотняна гірка) скочуються вниз під дією власної ваги по поверхні полотна гірки, а шершаві зерна і часточки суміші ереміщуються полотном угору і скидаються у верхній частині гірки у відповідний приймач. Сепарувальну здатність гірки можна коригувати кутом нахилу робочої поверхні полотна сепаратора.

10.3 Щільність зерен

Зерновий матеріал, попередньо оброблений на зерноочисних машинах, може оброблятися на робочій поверхні, яка коливається і продувається повітряним потоком знизу. Під дією коливання і повітряного потоку зерновий матеріал приводиться у псевдозріджений стан і починає перерозподілятися. Зерна з більшою щільністю опускаються до робочої поверхні, а з меншою — впливають на поверхню. Нижні шари за рахунок

зчеплення з робочою поверхнею (сили тертя) та сили інерції переміщуються в напрямку коливання робочої поверхні і виводяться через один вихід, а верхні шари, що мають незначний зв'язок з нижніми, переміщуються у бік зниженого краю робочої поверхні (під дією сили гравітації) і виводяться через інший вихід. Чим ближче шар до робочої поверхні, тим більше траєкторія його руху наближається до руху нижнього шару. Тому на розвантажувальній кромці робочої поверхні зерновий матеріал стікає суцільним шаром, щільність якого зростає від одного краю до іншого. Оброблюваний матеріал, що сходить з розвантажувальної кромки, надходить у відповідні секції приймача.

10.3 Електричні властивості зерен. Колір зерен

Електричні властивості зернового матеріалу знаходяться в тісному зв'язку з його механічними властивостями та біологічною будовою. При електричних способах розділення компонентів зернової маси використовують різниці в електричній провідності, діелектричній проникності, здатності приймати та віддавати електричний заряд. В останньому варіанті заряджені зерна подають у простір між двома електродами.

Під час розділення зернового матеріалу у полі коронного розряду між коронуючим та перфорованим електродами за високої напруги виникає електричний розряд, який іонізує повітря. Компоненти зернової маси потрапляють в іонізоване середовище, отримують різні заряди і відхиляються на різні кути, після чого надходять у відповідні приймачі.

Врожайність насіння, обробленого в електричному полі, в середньому збільшується на 25 %.

Колір є одним із найтонших показників якості сільськогосподарських матеріалів. Технологічний процес розділення зернової маси за кольором, на відміну від інших способів очищення і сортування, вимагає подачі матеріала до оцінюючого пристрою послідовно по одній зернині з відповідною швидкістю. Це потрібно для того, щоб сигналізатор встигав сприймати

сигнал кольору і передавати цей сигнал до виконавчого механізму, який встигає вибирати певні зерна з потоку.

За кольором можна розділяти зерна квасолі, сої та інших зернобобових культур, відділяти від зерен жита різки сажки, розміри, форма і маса яких дуже подібні. За кольором можна розділяти зерна на живі і мертві, здорові і хворі тощо.

10.5 Пошкодження зерна машинами при очищенні та сортуванні

Одна із причин механічного пошкодження зерна очисними та сортувальними машинами – неправильне встановлення решіт – задирками вгору, інша причина пошкодження зерна – падіння його з великої висоти на металеві поверхні.

Всі зерноочисні машини наносять зерну пошкодження. Незважаючи на те, що під час обробки частина пошкоджених зерен видаляється у відходи, загальна кількість механічно пошкоджених зерен після обробки не зменшується, а дещо збільшується після пропускання через кожну зерноочисну машину.

Під час сушіння зерно пошкоджується з двох причин: від переміщення в сушарці при контактуванні з робочими органами та від дії на нього теплоносія за рахунок зміни вологості. В результаті цих дій у зерні появляються тріщини та зовнішні розриви оболонкових тканин.

ЛЕКЦІЯ 11 ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ЯК ОБ'ЄКТА ЗБИРАННЯ, ОЧИЩЕННЯ ТА СУШІННЯ

План лекції

1. Характеристика одиночного зерна.
2. Характеристика зернової маси.
3. Механіко-технологічні властивості продуктів обмолоту.
4. Умови роботи зернозбиральних машин.
5. Теплофізичні властивості зерна.

11.1 Характеристика окремого зерна

Будова зерна. Зернівка будь-якої культури – це живий організм, якому притаманні властивості живих об'єктів: дихання, розвиток, старіння і інше. Частинами зернівки є плівка, оболонки (плодові і насіннєві), алеїроновий шар, зародок, ендосперм. Різні частини зернівки по різному чутливі до теплових умов.

Хімічний склад зерна. Насіння зернових культур складається з білків, вуглеводів, жирів, мінеральних речовин, вітамінів та ферментів. Для сушіння зерна велике значення має не лише загальний хімічний склад, але і розміщення окремих речовин у різних його частинах.

Термостійкість зерна. Здатність зерна до збереження у процесі теплового висушування насіннєвих, продовольчих та інших якостей називають термостійкістю. В процесі сушіння зерно може втратити не тільки життєздатність, але і понизити товарно–продовольчі якості.

Термостійкість зерна може характеризуватись максимальною температурою його нагрівання, при якій забезпечується повне збереження всіх якісних показників зерна. За даними В.П. Горячкіна, сухе насіння різних культур вологістю 3 % можна без шкоди для схожості нагрівати до температури 110...120 °С і витримувати протягом 20 хв. Сире і вологе насіння в значній мірі втрачає схожість уже при нагріванні його до 50 °С. Зі збільшенням часу нагрівання термостійкість зерна знижується.

Форма і розміри зерен. При розрахунках процесів переносу теплоти і вологи користуються величиною питомої площі поверхні зерна, яка являє собою відношення площі поверхні зернівки S_z до її об'єму V_z (S_z / V_z). Площу поверхні S_z та об'єм V_z зернівки з достатньою точністю можна визначити за такими формулами:

$$S_z = 4\pi R(l + 3R), \quad (11.1)$$

$$V_z = K_z ab l, \quad (11.2)$$

де a, b, l – відповідно товщина, ширина і довжина зернівки;

$$R = (5a + 6b) / 60, \quad (11.3)$$

K_z – коефіцієнт, який враховує форму зерна; для пшениці $K_z = 0,52$; для жита $K_z = 0,42$.

	l	b	a
Для пшениці	4,2...8,6	1,6...4,0	1,5...3,8
Для гороха	4,0 ...8,8	3,7...8,0	3,5...8,0

11.2 Характеристика зернової маси

Скважність зернової маси. Скважністю називають відношення об'єму міжзернового простору до загального об'єму, який займає вся маса. Скважність залежить від форми і розмірів зерен основної культури, стану поверхні зернівок, засміченості зернової маси та злежаності зерен.

Сипучість зернової маси. Сипучість характеризується кутом природного укосу, який залежить від розмірів та форми зернівок, стану їх поверхні, від характеру домішок та вологості зерна. При зростанні вологості сипучість зменшується (кут природного укосу збільшується). Сипучість зернової маси враховують під час вибору розмірів, форми кутів нахилу різних вузлів зернових сушарок.

Самосортування зернової маси. Самосортування зернової маси виражається в розшаруванні компонентів зернової маси, що мають різну щільність і відбувається під час її переміщення

Гідравлічний опір зернового вороху. Опір залежить від товщини шару, який

продувається повітрям, швидкості та інших параметрів стану повітря, скважності зернової маси і стану поверхні зерен. Якщо через нерухомий зерновий шар, розміщений на продувній сітці, пропускати знизу вгору потік повітря і при цьому поступово збільшувати його швидкість, то можна встановити залежність тиску ΔP в шарі від швидкості повітря.

При проектуванні сушарок з псевдорозрідженим шаром в якості робочої швидкості повітря, яка забезпечує стійке і рівномірне кипіння шару, приймають швидкість, рівну $2v_{кр}$.

11.3 Механіко-технологічні властивості продуктів обмолоту

Доведення зерна і насіння до необхідних кондицій з найменшими затратами праці та мінімальними грошовими витратами залежить від правильності вибраних способів і схем технологічного процесу очищення та сортування.

Геометричні розміри визначаються товщиною, шириною та довжиною зерна. Товщиною умовились називати найменший розмір зерна (або часточки), довжиною – найбільший, шириною – середній.

Виявивши максимальний l_{max} та мінімальний l_{min} розміри і поділивши різницю $\Delta l = l_{max} - l_{min}$ на класовий проміжок λ , знаходять загальне число класів Z :

$$Z = \Delta l / \lambda, \quad (11.4)$$

Число класів Z буває в межах 5...10. Розподіл зерна на класи по товщині і ширині можна виконувати пропуском порції зерна 50...100 г крізь класифікатор, забезпечений решетами з розмірами отворів, рівними класовому проміжку. Кожний клас характеризується граничними значеннями розмірів (границі класу) та середнім значенням замірів.

Природні ознаки, як правило, характеризуються законом нормального розподілу (вірогідність Гауса).

Варіаційні ряди та криві розподілу характеризуються середньою арифметичною величиною $M (\bar{x})$, середньоквадратичним відхиленням σ , коефіцієнтом варіації V .

Середньоарифметична величина

$$M(\bar{x}) = \frac{K_1 l_{cp1} + K_2 l_{cp2} + \dots K_n l_{cpn}}{\sum K_i} = \frac{\sum K_i l_{cpi}}{\sum K_i} = \frac{\sum P_i l_{cpi}}{100}, \quad (11.5)$$

де $K(P)$ – частота повторення ознаки, г, шт., %; l_{cp} – середнє значення класу;

1...п – номер класу; i – i -те повторення.

Частотою повторення ознаки називають кількість зерен (по масі, числу або відсотку) в кожному класі.

Якщо характеристика зміни розмірів зерен підлягає закону нормального розподілу, то в межах $M \pm 3\sigma$ знаходиться 99,7 % всієї кількості зернового матеріалу. Тому допустимо вважати, що розміри зерен змінюються від мінімального $M - 3\sigma$ до максимального $M + 3\sigma$.

По розташуванню варіаційних кривих двох компонентів 1 і 2, наприклад, зерен основної культури і домішок, можна оцінити можливість розділення зернової суміші за заданою ознакою.

Якщо криві 1 і 2 не накладаються одна на одну (а), то можна досягнути повного розділення за даною ознакою. В тому випадку, коли спадаюча гілка однієї кривої перетинається зі зростаючою гілкою другої (б), можливе часткове розділення зернової суміші. Якщо криві перекриваються (в), то розділити суміш таких зерен за заданою ознакою неможливо.

Різницю властивостей поверхні зерен зернової маси широко використовують при очищенні і сортуванні.

По різниці форми на решетах з трикутними отворами із пшениці можна виділити гречишку, яка має трикутну форму, із тимофіївки – щавель дрібний.

11.4 Умови роботи зернозбиральних машин

Зібраний урожай зернових культур за допомогою зернозбиральних комбайнів та інших сучасних збиральних машин завжди потребує певної первинної обробки. При організації і проведенні післязбиральних обробок необхідно знати специфічні біологічні і технологічні властивості компонентів оброблюваної зернової маси.

На практиці дуже часто вологість свіжезбираного зерна вимагає засто-

сування однієї з трьох технологічних схем обробки: 1) при вологості зерна менше 17 % достатньо застосувати первинну і повторну очистки; 2) при вологості зерна в межах 17...20 % застосовується попередня очистка, сушка, первинна і повторна очистки; 3) при вологості зерна вище 20 % необхідні попередня очистка, дво- чи трикратна сушка, первинна і повторна очистки.

Повторну очистку зерна застосовують при необхідності доведення зернового матеріалу до насінних кондицій.

Післязбиральну обробку зерна виконують так, щоб зернова маса відповідала вимогам стандарту по кількості повноцінних насінин у виділеному зразку основної культури, інших рослин (в тому числі бур'янів), вологості, відсотку подрібнених і травмованих зерен і т. п.

11.5 Теплофізичні властивості зерна

Теплофізичні характеристики зерна залежать від його вологості та температури, культури, а також характеристики зернового шару, крім того, від форми та розмірів зерна, щільності їх складання.

Питома теплоємність – здатність матеріалу сприймати і утримувати тепло. Теплоємність зерна в основному визначається його вологістю. Питома теплоємність (кДж/кг·К) визначають за формулою:

$$C = \frac{W}{100} C_v + \frac{100 - W}{100} C_{сух}, \quad (11.6)$$

де W – вологість зерна, %; C_v і $C_{сух}$ – відповідно питома теплоємність води і сухої речовини зерна, $C_v=4,2$ кДж/кг·К, $C_{сух}=1,48$ кДж/кг·К.

Питома теплоємність зерна використовують при розрахунках висушування та виборі максимально допустимої температури нагрівання зерна.

Теплопровідність. Теплопровідність (λ) окремого одиничного зерна знаходиться в межах 0,1...0,4 кДж/м·с·К. Теплопровідність зернової маси в 3...5 разів менше теплопровідності окремого зерна завдяки наявності в ній повітряних проміжків. Дякуючи низькій теплопровідності, зернова маса здатна тривалий час зберігати постійну температуру.

Теплопровідність в зерновому шарі зі збільшенням вологості спочатку збільшується, а потім зменшується.

Температуропровідність – здатність зернової маси проводити через себе температуру. Коефіцієнт температуропровідності ($\text{м}^2/\text{с}$) характеризує швидкість нагрівання або охолодження зерна.

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}, \quad (11.7)$$

Зерно має дуже низький коефіцієнт температуропровідності. Зі збільшенням вологості зерна температуропровідність безперервно знижується.

Температуропровідність зернівок у 2 ...3 рази вища порівняно з зерновим шаром.

Коефіцієнт теплозасвоєння. Комплекс величин $\sqrt{\lambda \cdot \gamma \cdot c} = \varepsilon$ називають коефіцієнтом теплозасвоєння (теплової активності). Одиниця вимірювання – $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{1/2})$. Для шару пшениці при температурі зерна 25°C та вологості 10 ...26 % змінюється в межах 409 ...460, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{1/2})$

Вплив теплофізичних характеристик на протікання теплових процесів. В різних точках зерна одночасно відбуваються два процеси: процес переміщення тепла і процес накопичення або виділення тепла різними ділянками зерна. Від кількісного взаємовідношення цих процесів залежать швидкість розповсюдження температурної хвилі, глибина проникання теплової зони, швидкість зміни температури та теплового потоку на кожній ділянці зерна.

Контрольні запитання

1. Якими показниками характеризується окреме зерно під час сушіння?
2. Напишіть формули, за якими можна визначити площу поверхні і об'єм зернівки.
3. Назвіть показники характеристики зернової маси під час сушіння.
4. Наведіть залежність опору потоку повітря крізь стабільний шар зерна від його швидкості.

5. Назвіть основні теплофізичні властивості зерна.
6. За якою формулою визначають питому теплоємність зерна?
7. Наведіть залежність питомої теплоємності від вологості зерна.
8. За якою формулою визначають теплопровідність зерна?
9. Наведіть залежність теплопровідності від вологості зерна.
10. За якою формулою визначають температуропровідність зерна?
11. Наведіть залежність температуропровідності від вологості.
12. Як визначити коефіцієнт теплотасвоєння зерна?
13. Наведіть розмірність питомої теплоємності, теплопровідності, температуропровідності, коефіцієнта теплотасвоєння.
14. Назвіть причини пошкодження зерна під час сушіння.
15. Назвіть основні властивості компонентів зернової маси, за якими вона розподіляється під час очищення.

ЛЕКЦІЯ 12 ОПІР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

МЕХАНІЧНІЙ ДІЇ ПІД ЧАС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ

План лекції

1. Основи теорії подрібнення кормів.
2. Технологічні властивості зернових кормів.
3. Технологічні властивості стеблових кормів.
4. Реологічні властивості кормів.

12.1 Основи теорії подрібнення кормів

У технології приготування кормів найпоширенішим і найважливішим процесом є подрібнення, зумовлене вимогами фізіології годування тварин. Якщо корми із зернового матеріалу (ячмінь, овес, жито, пшениця, горох та ін.), то їх називають зерновими кормами. Якщо корми готують із стебел рослинних матеріалів (сіно, солома, трава, сінаж, силос та ін.), то їх називають стебловими кормами.

У теорії подрібнення визначають:

- а) об'ємну питому площу поверхні матеріалу, $\text{м}^2/\text{м}^3$:

$$S_{\text{пит.об}} = 6/d, \quad (12.1)$$

- б) масову питому площу поверхні матеріалу, $\text{м}^2/\text{кг}$

$$S_{\text{пит.мас}} = 6/\rho d, \quad (12.2)$$

де d – середній розмір часточки, м; ρ – щільність матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зі зменшенням розмірів часточок питома площа їх поверхні зростає, тому ступінь подрібнення λ_S дорівнює відношенню питомої площі поверхні часточок кінцевого продукту S_K до питомої площі поверхні вихідного матеріалу S_B :

$$\lambda_S = S_K / S_B, \quad (12.3)$$

У техніці, навпаки, ступенем подрібнення λ матеріалу називають відношення середнього розміру D вихідного матеріалу до середнього розміру d часточок продукту подрібнення.

$$\lambda = D / d. \quad (12.4)$$

Еквівалентним діаметром зернини називають діаметр кулі, об'єм якої

дорівнює справжньому об'єму зернини V_z . Якщо об'єм однієї зернини V_z , а об'єм рівновеликої кулі $V_e = \pi D_e^3 / 6$, то еквівалентний діаметр зернини дорівнюватиме

$$D_e = \sqrt[3]{6V_z / \pi}, \quad (12.5)$$

З урахуванням цього початкова питома площа поверхні зернового матеріалу перед подрібненням

$$S_{\text{поч}} = 6/\rho \cdot D_e, \quad (12.6)$$

У разі подрібнення соломи на соломосилосорізці або скошених рослин на подрібнювальному апараті косарки-подрібнювача досягають такого ступеня подрібнення:

$$\lambda = l_{\text{ст}} / l_{\text{січ}}, \quad (12.7)$$

Так само визначають ступінь подрібнення під час розмелювання сухої січки на борошно:

$$\lambda = l_{\text{січ}} / l_{\text{т.б.}}, \quad (12.8)$$

У разі багаторазового повторення процесу кінцевий ступінь подрібнення λ_k дорівнюватиме добутку окремих ступенів, які характеризують стадії процесу:

$$\lambda_k = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \dots \lambda_n. \quad (12.9)$$

Середньовиважений діаметр часточок визначають за формулою

$$d = \frac{\sum d_i \cdot m_i}{100}, \quad (12.10)$$

де d_i – середній розмір отворів двох суміжних сит, мм (мкм);

m_i – вміст часточок певного класу, %.

12.2 Технологічні властивості зернових кормів

Статичні характеристики властивостей міцності. Робочі діаграми стискання в координатах зусилля – деформація для фуражного зерна нагадують криву для м'яких металів. Вони мають три характерні етапи розвитку деформацій у матеріалі аж до його руйнування (рис. 12.1).

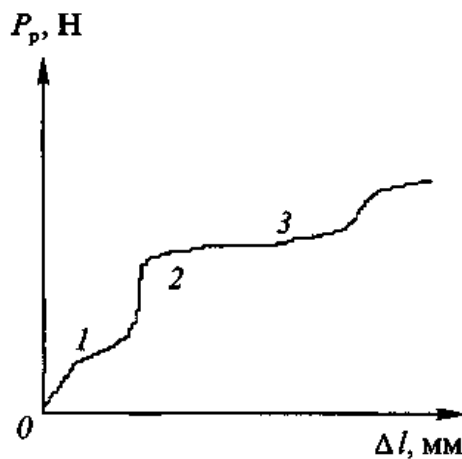


Рисунок 12.1- Діаграма стискання зернівки
ячменю

Початковий етап (0 – 1) характеризується стрімким здійсненням кривої і домінуванням пружних деформацій, наступний етап (1 – 2) – яскраво вираженою модифікацією напрямку кривої, що засвідчує наявність внутрішніх змін і швидкий розвиток пластичних деформацій у зернівці. Подальше підвищення навантаження – це третій, кінцевий етап (2 – 3), що завершується руйнуванням оболонок з утворенням глибокої відкритої тріщини.

Показник пластичності e визначають за формулою

$$e = \ln[1/(1-\varepsilon)] , \quad (12.11)$$

де ε – відносна деформація стискання.

Модуль пластичності E можна знайти за виразом

$$E = 100 (\sigma_p - \sigma_s) / e , \quad (12.12)$$

де σ_p – кінцева напружка руйнування, Па; σ_s – межа текучості, Па.

Для зерен злакових культур $E = 9,5 - 10$ МПа.

Динамічні характеристики. В технології подрібнення кормів найцікавішими є показники міцності, отримані за умов динамічних напружень з урахуванням швидкості деформування. Властивість більшості матеріалів підвищувати свою міцність зі збільшенням швидкості навантаження характерна і для зерна. Динамічна межа міцності зерна ячменю в середньому дорівнює $\sigma_d = 12,73$ МПа.

12.3 Технологічні властивості стеблових кормів

Фізико-механічні властивості стеблових кормів. До найважливіших фізико-механічних властивостей стеблових кормів належать об'ємна маса, коефіцієнт тертя, розмір часточок та ін. Об'ємна маса стеблових кормів

залежить від їхньої вологості, виду кормової культури, величини часточок.

В міру підвищення температури з 310 до 350 К коефіцієнти тертя зменшуються. При зменшенні нормального тиску з 1960 до 490 Па коефіцієнти тертя збільшуються.

Статичні характеристики властивостей міцності. Стеблові корми (сіно, солома, трава, сінаж, силос) є основою кормових раціонів жуйних тварин. Основний вид механічної обробки стеблових кормів – подрібнення різанням. Тому про їх міцність судять за такими характеристиками, як питомий опір різанню q_{op} (Н/м), руйнівне напруження зрізування τ_{piz} (Па), питома робота різання $A_{п.piz}$ (Дж/м²).

Згідно з діаграмою різання (рис. 12.2) процес деформування шару стебел відбувається так. Спочатку ніж ущільнює шар 1 – 2 і переміщення ножа на відрізок $l_{ст}$ викликає лише пружні і пластичні деформації стискання.

Процес різання починається тоді, коли зусилля з боку ножа досягає певної межі (точка 2), тобто максимального значення P_{piz} , якому відповідає максимальний питомий опір різанню q_{op} . В міру подальшого переміщення ножа (точки 2, 3) процес різання шару триває, а зусилля різання P_{piz} чи питомий опір q_{op} залишається без змін. Робоче переміщення ножа на відрізок l_{piz} дорівнює товщині (висоті) стисненого шару стебел.

Переміщення на ділянці $l_{виб}$ (точки 3, 4) зумовлене холостим ходом (вибігом) ножа.

За діаграмами різання визначають експериментальні значення характеристик міцності стеблових кормів:

– питомий опір різанню q_{op} , (Н/м),

$$q_{op} = P_{piz.max} / b, \quad (12.13)$$

$$\tau_{piz} = P_{piz.max} / S, \quad (12.14)$$

$$A_{п.piz} = P_{piz.max} / (b \cdot h_{ш}), \quad (12.15)$$

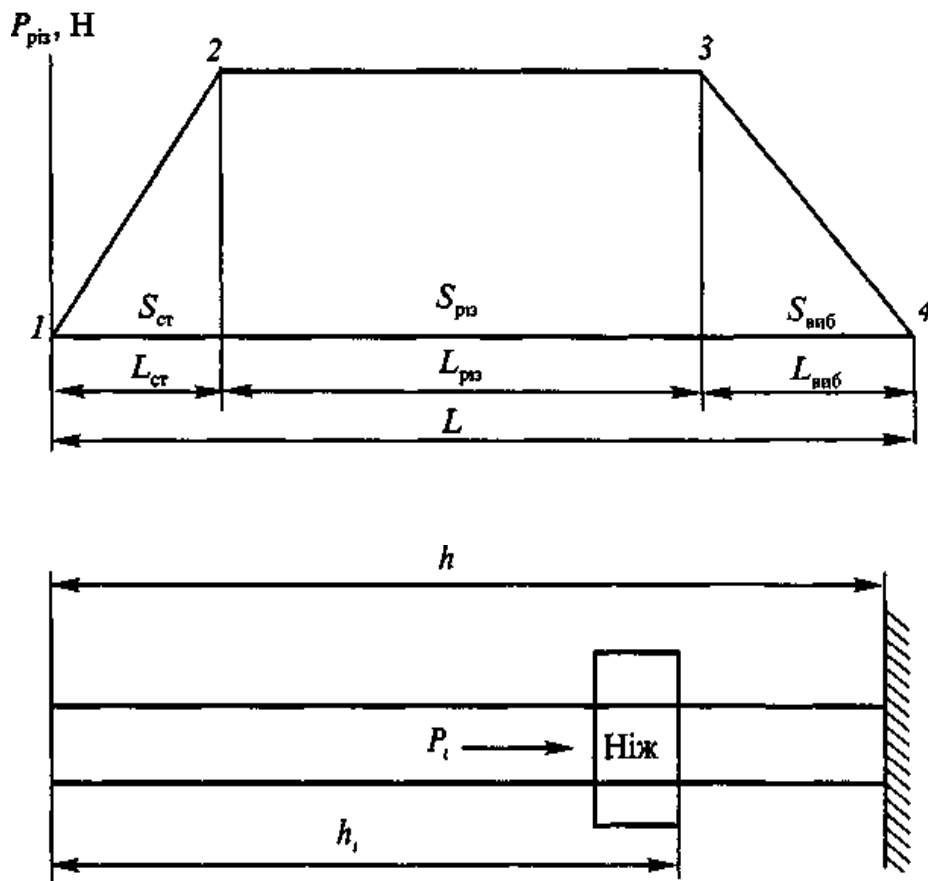


Рисунок 12.2 - Діаграма різання

Експериментальні криві $q_{оп}=f(l_{різ})$ і $\tau_{різ}=f'(l_{різ})$ представлені на рис. 7.3.

Характеристики міцності стеблових кормів і питомої роботи різання відповідають нормальному закону розподілу.

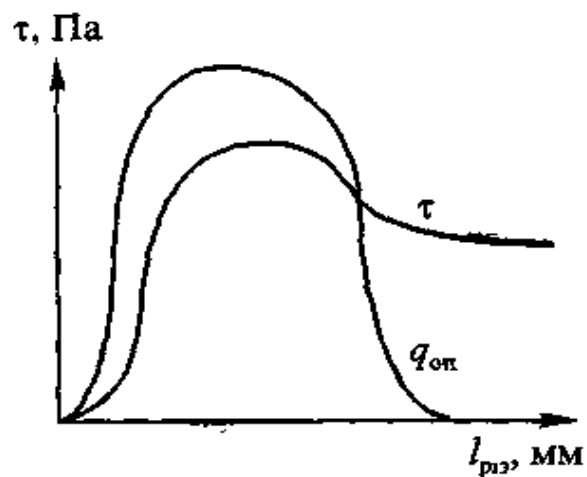


Рисунок 12.3 - Діаграма різання стебел люцерни

Динамічні характеристики властивостей міцності. Стеблові корми як

пружнов'язкопластичний матеріал з волокнистою структурою і чітко вираженою анізотропністю в механічному відношенні найбільш подібні до структури деревини. Вміст деревини в стеблах люцерни в середньому становить близько 20 % за масою.

Якщо кут зламу використовувати як характеристику міцності волокнистих рослинних матеріалів, що відображає залежність $\sigma = f(\gamma)$, то можна знайти і коефіцієнт динамічності:

$$K_d = \gamma_d / \gamma_{ст} , \quad (12.16)$$

Коефіцієнт динамічності сухих стебел люцерни становить 1,2–1,5. Значення руйнівної швидкості поперечного удару:

$$v_{руйн} = 0,5 K_{уд} \cdot v_{п.х} \cdot \operatorname{tg}^3 (K_d \cdot \gamma_{ст}) , \quad (12.17)$$

де $K_{уд}$ – коефіцієнт, $K_{уд} = v_{руйн} / v_{кр}$. Тут $v_{руйн}$ – руйнівна швидкість, $v_{кр}$ – критична швидкість, за якої пружна деформація зразка досягає максимального значення; $v_{п.х}$ – швидкість поширення поздовжніх хвиль, для стебел люцерни $V_{п.х} = 100$ м/с.

ЛЕКЦІЯ 13 ОПР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

МЕХАНІЧНІЙ ДІЇ ПІД ЧАС ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ

План лекції

1. Реологічні властивості кормів.
2. Моделювання реологічних властивостей.
3. Вплив основних факторів на якісні та енергетичні показники гранул та брикетів.

13.1 Реологічні властивості кормів

Реологічні властивості визначають поведінку кормових матеріалів під час деформації та течії:

Ущільнення кормів здійснюють з метою поліпшення їх транспортабельності, економнішого використання складських приміщень і тари, а також забезпечення кращого зберігання поживних речовин та вітамінів.

Ступінь ущільнення кормів у разі одержання брикетів та гранул визначають за формулою

$$\lambda_{\text{ущ}} = V_{\text{п}} / V_{\text{к}}, \quad (13.1)$$

де $V_{\text{п}}$ і $V_{\text{к}}$ – відповідно початковий об'єм порції матеріалу до пресування і кінцевий об'єм брикету або гранули, м^3 .

Якщо ущільнення здійснюють у камері за сталою площею поперечного перерізу, то формула (7.18) набуває вигляду

$$\lambda_{\text{ущ}} = h_{\text{п}} / h_{\text{к}}, \quad (13.2)$$

де $h_{\text{п}}$, $h_{\text{к}}$ – висота шару матеріалу відповідно до і після пресування, м.

Якщо щільність розсипчастого матеріалу позначити через $\rho_{\text{п}}$, а щільність отриманого моноліту через $\rho_{\text{к}}$, то ступінь ущільнення

$$\lambda_{\text{ущ}} = \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{к}}, \quad (13.3)$$

Об'ємні властивості визначають поведінку об'єму тіла під дією на нього нормальних напружень у замкненій формі або між двома пластинами. Показниками об'ємних властивостей є щільність, позірність, пористість та ін.

Щільність – це кількість речовини в одиниці об'єму ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Відношення сумарного об'єму пустот $V_{\text{п}}$ між зернами до повного об'єму V шару є позірність і дорівнює

$$\Pi = V_{\text{п}}/V = 1 - (V_3/V), \quad (13.4)$$

де V_3 – об'єм часточок твердого тіла в шарі, м^3 .

V_3' – об'єм твердої речовини моноліту, м^3 .

13.2 Моделювання реологічних властивостей

Моделювання реологічних властивостей - це математичний або фізичний опис деформації та текучості матеріалів (в'язких, пластичних, полімерів, харчових продуктів) під дією навантажень.

Моделювання реологічних властивостей (плинності, в'язкості, еластичності) дозволяє прогнозувати поведінку кормів під тиском та оптимізувати конструкцію пресів і змішувачів. Оскільки сільськогосподарські матеріали є нелінійно-пружно-пластичними, їх не можна описати простими законами класичної механіки.

Для моделювання найчастіше використовують комбінацію фундаментальних реологічних моделей.

Основні базові елементи моделювання

Для побудови математичної моделі матеріал умовно розкладають на три механічні елементи:

- Елемент Гука (пружина): моделює миттєву пружну деформацію.
- Елемент Ньютона (демпфер/поршень): моделює в'язкий опір (залежність від швидкості деформації).
- Елемент Сен-Венана (сухе тертя): моделює поріг текучості (пластичність), після якого матеріал починає незворотно деформуватися.

Популярні реологічні моделі в кормовиробництві

Модель Кельвіна-Фойгта (Kelvin-Voigt)

Використовується для опису повзучості матеріалу. Вона показує, як матеріал ущільнюється з часом під сталою напругою.

Застосування: розрахунок часу витримки гранули в каналі матриці

преса.

Модель Максвелла (Maxwell)

Описує релаксацію напружень. Вона показує, як швидко зникають внутрішні напруження в матеріалі після зняття навантаження.

Застосування: прогнозування "розширення" брикету після виходу з екструдера. Якщо релаксація низька, брикет розтріскається.

Узагальнена модель (Модель Бургерса)

Поєднує елементи Максвелла та Кельвіна. Це найбільш точна модель для рослинної сировини, оскільки вона враховує:

1. Миттєву пружність (стиснення повітря і часток).
2. Запізнілу еластичність (відновлення форми).
3. Залишкову пластичну деформацію (формування самої гранули).

Реологічні характеристики як функції факторів

При моделюванні враховуються такі змінні:

Ефективна в'язкість: залежить від вологості та вмісту жирів. Жир діє як мастило, знижуючи в'язкість, що полегшує проходження через матрицю, але погіршує міцність.

Модуль пружності: залежить від вмісту клітковини. Чим більше соломи в кормі, тим вищий модуль пружності й тим важче "склеїти" частки.

Час релаксації: час, необхідний для стабілізації внутрішньої структури гранули.

При моделюванні приготування кормів важливо пам'ятати: рослинний матеріал - це тиксотропна система. При механічному впливі (зсуві) його в'язкість падає, що дозволяє формувати гранули.

13.3 Вплив основних факторів на якісні та енергетичні показники гранул та брикетів

Опір сільськогосподарських матеріалів (зерна, стебел) пресуванню залежить від їх фізико-механічних властивостей (вологість, тертя, щільність), що впливає на енерговитрати. Якість гранул/брикетів забезпечується оптимальним тиском, температурою, вологістю та

додаванням в'яжучих речовин. Висока вологість знижує міцність, а підвищений тиск - збільшує енергоємність.

Основні фактори, що впливають на показники гранул та брикетів:

- Вологість сировини: оптимальна вологість (зазвичай 12-16%) забезпечує найкраще зв'язування частинок. Занадто суха сировина не формується, а занадто волога — дає крихкі гранули.

- Тиск пресування: прямо впливає на щільність і міцність: чим вищий тиск, тим міцніші гранули, але вищі енерговитрати.

- Температура: нагрівання підвищує пластичність матеріалу (активує лігнін), що покращує процес гранулювання.

- Розмір частинок (подрібнення): дрібніші частинки забезпечують більшу щільність та якість завдяки збільшенню площі контакту.

- Вид сировини: зернові корми потребують меншого тиску порівняно зі стебловими (солома, сіно), що впливає на енергоємність процесу.

Оптимізація цих факторів дозволяє отримати корми високої якості при мінімальних витратах енергії.

Якість гранул (міцність, крошимість) та енерговитрати (питома витрата електроенергії) залежать від наступних чинників:

Вологість сировини (найважливіший фактор)

- Оптимум: Для більшості кормів це 12–15%.
- Вплив: Вода виступає як мастило та пластифікатор. При низькій вологості зростає тертя (ризик заклинювання преса) і витрати енергії. При зависокій — гранула стає м'якою, "набухає" і розсипається після виходу з матриці.

Фракційний склад (розмір часток)

Дрібний помел: забезпечує більшу щільність та міцність гранул, оскільки площа контакту між частками більша.

Енергетика: надто дрібний помел потребує великих витрат енергії на етапі подрібнення, що може нівелювати вигоду від легкого пресування.

Температура та кондиціювання

- Нагрівання сировини парою до 60–85°C активує природні зв'язуючі речовини (лігнін у деревині/соломі, крохмаль та білки у зернових).

- Результат: Знижується опір тертю, зменшується енергоспоживання на 10–20%, а міцність гранул зростає.

Параметри обладнання (Геометрія матриці)

Відношення довжини каналу матриці L до його діаметра D визначає ступінь стиснення:

Високе L/D - висока щільність, але величезні витрати енергії.

Низьке L/D - висока продуктивність, але низька міцність продукту.

Зведена таблиця впливу факторів

Фактор	Вплив на міцність (якість)	Вплив на енерговитрати
Збільшення вологості (понад норму)	Погіршує (гранула розсипається)	Зменшує (менше тертя)
Дрібніший помел	Покращує (краща зв'язність)	Збільшує (загальні витрати)
Підвищення температури	Покращує (активація лігніну)	Зменшує (пластичність)
Збільшення тиску пресування	Покращує (до певної межі)	Суттєво збільшує

Для отримання якісного корму за мінімальних витрат енергії необхідно знайти баланс: кондиціювання парою є найбільш ефективним методом зниження опору матеріалу без втрати якості готового продукту.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під питомою площею поверхні подрібнення кормів та як їх обчислюють?
2. Що таке ступінь подрібнення кормів і за якими формулами його

визначають?

3. Що розуміють під еквівалентним діаметром зернини і як його обчислюють?
4. Як визначають гранулометричний склад подрібнених кормів?
5. До часточок якого розміру подрібнюють корм для різних видів тварин?
6. Назвіть основні етапи розвитку деформації зернівки під час її стискання.
7. За якими формулами визначають показник і модуль пластичності зерна?
8. Чим характеризують в'язкість зерна і що є її показником?
9. З якою метою вводять коефіцієнт динамічності зернових кормів?
10. Дайте порівняльну оцінку міцності зерен різних культур за статичного стискання і помелу.

ЛЕКЦІЯ 14 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

План лекції

1. Класифікація пестицидів за об'єктами застосування і складом діючої речовини.
2. Поняття кумуляції, токсичності.
3. Форми пестицидів.
4. Препаративні та робочі форми.

14.1 Класифікація пестицидів за об'єктами застосування і складом діючої речовини

Рослини с.-г. культур захищають, використовуючи хімічні, фізичні, біологічні та інші методи. Хімічні методи захисту рослин – це обприскування, обпилювання, протруювання, обробка аерозолями, застосування отруйних принад та ін. Фізичні методи захисту представляють використання дії на шкідливі організми тепла, ультразвуку, механічних дій (всмоктування, механічне знищення) тощо, біологічні – використання живих організмів – антагоністів шкідників, створення сортів і форм культурних рослин, стійких проти пошкодження шкідниками, хворобами та бур'янами.

Хімічні засоби захисту рослин, які називають пестицидами (від лат. *pestis* – зараза і *cide* – убивати, класифікують за такими принципами: об'єкт застосування, спосіб проникнення в організм, тип хімічної сполуки, здатність до кумуляції, токсичність. Класифікація за об'єктами застосування передбачає об'єднання хімічних препаратів у групи залежно від мети їх застосування.

Препарати, які використовують для боротьби з шкідливими комахами, називають інсектицидами, гризунами – зооцидами, кліщами – акарицидами, хворобами – фунгіцидами, бур'янами – гербіцидами.

Класифікація пестицидів залежить від хімічного складу, ступеня токсичності та характеру впливу на рослини.

За хімічним складом існує 3 групи пестицидів:

1. Неорганічні - це сполуки ртуті, фтору, сірки, барію, міді. Вони

мають високу ефективність і захищають на тривалий період.

2. Органічні та органо-синтетичні - препарати високої фізіологічної активності. Це найпоширеніша категорія у рослинництві.

3. Препарати рослинного, грибного та бактеріального походження — піретрини, антибіотики та фітонциди. Вони безпечніші, ніж хімічні.

За ступенем впливу на організм людей і тварин виділяють такі класи пестицидів:

- I клас - сильнодіючі або надзвичайно небезпечні хімікати, більшість із яких заборонені (такі, як ДДТ);
- II клас - препарати небезпечного або високотоксичного типу, які потрібно вносити з обережністю та строго за нормою (Деціс, Базудін, Бі-58);
- III клас - середньотоксичні або помірно небезпечні, такі як Актеллік, хлорокис міді, мідний купорос, карбофос;
- IV клас - малотоксичні або малонебезпечні, наприклад, інсектициди (бордоська суміш) і такі біопрепарати, як Триходермін, Псевдобактерін, Лепідоцид, Бітоксисацілін, Фітоверм, Метавайт.

За характером впливу на рослини розрізняють такі основні види пестицидів:

1. *Інсектициди*. Вони розроблені для контролю комах-шкідників. Ці речовини отруюють при контакті, при потраплянні всередину або при вдиханні. До таких препаратів належать піретроїди, органофосфати та карбамати.

2. *Фунгіциди*. Ці хімікати використовують для боротьби з грибковими хворобами рослин. Вони можуть запобігати розвитку інфекцій або знищувати вже інфіковані тканини рослин. До фунгіцидів відносяться тирам і хлороталоніл.

3. *Гербіциди*. Вони призначені для боротьби з бур'янами. Гербіциди впливають на біохімічні процеси в бур'янах, що призводить до їхньої загибелі. До таких препаратів належать гліфосат і дикват.

14.2 Поняття кумуляції, токсичності

Одним з провідних факторів, що обумовлюють розвиток хронічного отруєння, є процес кумуляції (накопичення, біоаккумуляції, депонування) в організмі самої отрути або викликаних нею змін. Кумуляція може мати місце при комплексоутворенні шкідливої речовини і міцному зв'язуванні її в певному місці організму.

Кумуляція — це процес накопичення в організмах, тканинах чи екосистемах хімічних речовин (отрут, ліків) при їх тривалому надходженні, що призводить до посилення токсичного ефекту.

Токсичність — це здатність речовин шкідливо впливати на живі організми, викликаючи порушення функцій, захворювання або смерть. Кумуляція часто визначає ступінь хронічної токсичності.

Кумуляція (Накопичення)

Види: розрізняють матеріальну кумуляцію (накопичення самої речовини в тканинах, наприклад, важких металів) та функціональну (накопичення ефекту, коли речовина швидко виводиться, але зміни в організмі залишаються).

Ступінь кумуляції C_k – величина, зворотна інтенсивності кумуляції: чим вона менше, тим кумуляція більше

$$C_k = \frac{1}{K_k} \cdot 100\%, \quad (14.1)$$

Ступінь кумуляції визначається коефіцієнтом кумуляції K_k , який є відношенням сумарної дози, що спричиняє загибель 50% піддослідних тварин при багаторазовому введенні, до дози при одноразовому введенні.

$$K_k = \frac{\sum DL_{50}}{DL_{50}}, \quad (14.2)$$

Залежно від частоти повторних дослідів і величини повторної дози ефект, зазвичай, може бути різним.

Ступінь кумулятивних властивостей шкідливої речовини характеризує

реальну небезпеку хронічної інтоксикації, тому коефіцієнт кумуляції повинен враховуватися при гігієнічній регламентації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Для порівняльної оцінки здатності отрут до кумуляції за величиною K_k та $С_k$ запропонована відповідна класифікація (табл. 14.1).

Таблиця 14.1 – Класифікація токсикантів за здатністю до кумуляції

Класифікація кумулятивної дії	Границі K_k	Границі $С_k$, %
Зверхкумуляція	< 1	> 100
Виражена кумуляція	від 1 - до 3	100-46
Середня кумуляція	від 3 - до 5	45-20
Слабка кумуляція	> 5	< 20

Таким чином, чим більше K_k наближається до одиниці, тим більш вираженою є кумулятивна дія речовини. При $K_k > 5$ кумуляція практично не проявляється.

Токсичність (Шкідливість). Токсичність - властивість деяких хімічних елементів, сполук і біогенних речовин згубно впливати на живі організми (рослини, тварини, гриби, мікроорганізми) і здоров'я людей (бензопірен, важкі метали, кислотні сполуки, оксиди азоту, сірки).

Суть: властивість речовин при певних дозах викликати інтоксикацію, патологічні стани або загибель.

Показники: головним показником гострої токсичності є LD_{50} ((летальна доза, що вбиває 50% піддослідних тварин) або LC_{50} (концентрація)).

14.3 Форми пестицидів

Препаративні форми пестицидів. Промисловість випускає багато пестицидів, які визначають вибір засобів механізації для приготування, транспортування і застосування їх на полі.

Основними формами є: пилоподібні, гранульовані (зернисті), мікрокапсульовані, пестицидні шашки, змочувані порошки, розчини у воді, розчини в органічних розчинах, концентрати емульсій, технічні продукти,

пасти.

В табл. 14.2 наведено класи дисперсних систем та їх характеристики.

Таблиця 14.2-Характеристика окремих дисперсних систем

Клас дисперсії	Розмір дисперсних часточок, мкм	Вид дисперсної системи	Спосіб застосування
Великі часточки	≥ 10	Дуст Суспензія Емульсія	Обпилювання Обприскування Те саме
Середні часточки	10 – 0,1	Те саме Туман	–"– Аерозольна обробка
Дрібні часточки	0,1 – 0,001	Розчин Дим	Обприскування Аерозольна обробка
Добре подрібнені часточки	$< 0,001$	Газ Розчин	Фумігація Обприскування

14.4 Препаративні та робочі форми

Препаративні форми пестицидів- це готові до застосування суміші діючих речовин з допоміжними компонентами (розчинники, емульгатори, ПАР). Основні форми включають концентрати емульсій (КЕ), суспензії (КС), водорозчинні гранули (ВГ) та порошки (ЗП). Вони забезпечують зручність зберігання та ефективність внесення через бакові суміші

Препаративні форми (товарні форми):

Рідкі: Концентрати емульсій (КЕ), водні розчини (ВР, ВК), концентрати суспензій (КС, ВСК), масляні дисперсії (МД), мікроемульсії (МЕ), мікрокапсульовані суспензії (МКС).

Тверді: Водорозчинні гранули (ВГ/ВРГ), водно-дисперговані гранули (ВДГ), змочувані порошки (ЗП/СП), водорозчинні порошки (ВРП).

Спеціальні: Гранули для внесення в ґрунт, пасти, масляні концентрати.

Вибір препаративної форми при створенні препарату визначається як фізико-хімічними властивостями, так і знаннями та досвідом розробника. Наприклад, якщо діюча речовина нестабільна у водному середовищі, її

неможливо випускати у вигляді препаративної форми, що містить воду (ВР, ВК, КС, ТКС, ВЕ, СЕ, МЕ). Якщо ж д.р. розчиняється або нестабільна в органічних розчинниках, не можна створити формуляцію у вигляді КЕ.

Вибір препаративної форми при створенні препарату визначається як фізико-хімічними властивостями, так і знаннями та досвідом розробника. Наприклад, якщо діюча речовина нестабільна у водному середовищі, її неможливо випускати у вигляді препаративної форми, що містить воду (ВР, ВК, КС, ТКС, ВЕ, СЕ, МЕ). Якщо ж д.р. розчиняється або нестабільна в органічних розчинниках, не можна створити формуляцію у вигляді КЕ.

Робочі форми (бакові суміші): це кінцеві розчини, що готуються безпосередньо перед обприскуванням шляхом розведення препарату водою. Послідовність змішування важлива для стабільності: водорозчинні пакети -> ВДГ/ВГ -> ЗП -> КС -> КЕ -> ВР -> ПАР.

Основні складові препаративних форм:

1. Діюча речовина (ДР) - основа препарату.
2. Розчинники/наповнювачі - для забезпечення концентрації.
3. Емульгатори/ПАР - підвищують змочування та прилипання.

Вибір форми (наприклад, суспензія проти емульсії) залежить від типу техніки та цільового об'єкта. Часто помилки з вибором і використанням формуляцій виникають на етапі приготування бакової суміші, при цьому не має значення, протруйник це чи гербіцид, фунгіцид чи інсектицид.

Додавання компонентів у бакову суміш потрібно здійснювати послідовно з обов'язковим перемішуванням. При цьому введення наступного компонента суміші допускається тільки після розмішування і розчинення попереднього. Загальні підходи до порядку приготування бакових сумішей такі: для деяких препаратів рекомендовано попереднє приготування маточного розчину; також необхідно дотримуватися черговості додавання компонентів залежно від препаративної форми: вода → ЗП → ВДГ → ВР, ВРК, ВК → МД, МКЕ → МЕ → ККР → КЕ → рідкі добрива → вода до повного обсягу. Необхідно суворо дотримуватись рекомендацій виробника

пестицидів.

Контрольні питання

1. Назвіть методи захисту рослин.
2. Наведіть класифікацію пестицидів за ознаками: об'єкт застосування, спосіб проникнення в організм, тип хімічної сполуки, здатність до кумуляції.
3. Дайте поняття про препаративні і робочі форми пестицидів.
4. Наведіть характеристику окремих дисперсних систем.

ЛЕКЦІЯ 15 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

План лекції

1. Властивості робочих матеріалів для хімічного захисту рослин.
2. Обприскування.
3. Взаємозв'язок діаметра, кількості крапель і розміру обробленої площі.
4. Дисперсність робочої рідини.
5. Показник змочуваності поверхні.

15.1 Властивості робочих матеріалів для хімічного захисту рослин

Найпоширенішим способом хімічної обробки для захисту рослин є застосування пестициду в рідкому стані за допомогою обприскування.

Пестициди, які застосовують для захисту рослин, залежно від призначення, використовують у вигляді водних розчинів, суспензій або емульсій і називають робочими рідинами.

Макророзподіл – це розподіл розчину пестициду по всій рослині. Різні частини рослин не завжди однаковою мірою пошкоджені хворобами і шкідниками. Якщо верхні частини рослин будуть змочені більше ніж нижні, то наступний дощ може поліпшити розподіл діючої речовини препарату.

Мікророзподіл – це розподіл рідини по листках і плодах: вони мають бути змочені якомога рівномірніше з усіх боків. Насамперед це стосується верхньої і нижньої поверхонь листків. Інший критерій мікророзподілу – це характер змочування. Під цим розуміють насамперед розмір і число плям, утворених хімічною речовиною на частинах рослини.

Характер змочування можна описати часткою площі, вкритої робочим розчином, і середнім діаметром плям. За однакової витрати робочої рідини ступінь вкривання зростає зі зменшенням розмірів крапель, при цьому діаметр плям і відстані між ними зменшуються.

Щоб вкрити однакові площі за величини крапель 0,15 мм, потрібно вдвічі менше рідини, ніж за їх величини 0,25 мм. Оптимальною величиною

крапель вважають таку, за якої досягається максимальний успіх боротьби із захворюванням рослин або шкідниками з мінімальним навантаженням на навколишнє середовище. Для інсектицидів оптимальна величина крапель становить 0,02 мм, а максимальна – 0,05 мм.

В табл. 15.1 наведено зв'язок між діаметром крапель робочої рідин, їх кількістю в одиниці об'єму і розміром обробленої площі.

Таблиця 15.1 -Взаємозв'язок діаметра та кількості крапель і розміру обробленої площі

Діаметр крапель, мм	Кількість крапель в 1 мм ³ рідини	Розмір обробленої площі, мм ²
1	1,41	1,5
0,1	1920	15
0,01	191·10 ⁴	150

Для звичайного обприскування потрібна значна кількість рідини, тому застосовують також мало – та ультрамалооб'ємне обприскування, за якого витрати робочої рідини за рахунок підвищення її концентрації зменшується в кілька разів. Норма внесення діючої речовини на одиницю площі залишається незмінною. Суть ультрамалооб'ємного обприскування полягає в тому, що вихідний препарат використовують без розбавлення водою. Однак для висококонцентрованих розчинів потрібен підвищений ступінь розпилювання препарату і рівномірніше покриття поверхні рослин.

На рис. 15.1 наведено визначення змочуваності поверхонь за крайовим кутом змочування ф.

Оптимальне змочування є тоді, коли краплі рідини розтікаються, але не зливаються. Це відповідає $\cos\phi$, що приблизно дорівнює 0,85 – 0,90.

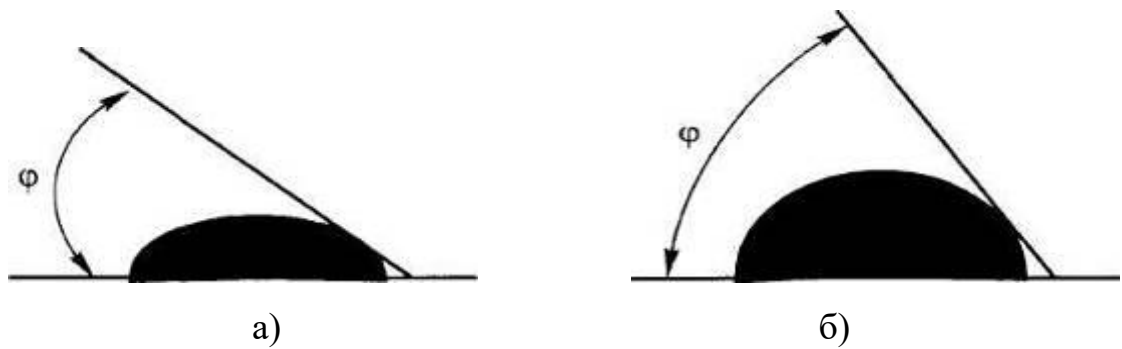


Рисунок 15.1- Визначення змочуваності різних поверхонь за крайовим кутом змочування ϕ : а – поверхня змочується; б – поверхня не змочується

Зменшенням поверхневого натягу робочої рідини (поверхневий натяг води дорівнює 7,28 Па) можна добитися необхідного змочування поверхні.

Поверхневий натяг води в разі додавання до неї сучасних розтічників (концентрацією 0,1 %) зменшується до 4,7 – 3,4 Па.

Середній діаметр крапель визначають за формулою

$$d_{кр} = 2/3d_{сл}, \quad (15.1)$$

де $d_{сл}$ – діаметр сліду краплі.

Для визначення токсичної дії препарату застосовують поняття коефіцієнта ефективної дії краплі, що дорівнює відношенню загальної площі ефективної дії краплі до площі сліду краплі (рис. 15.1).

Коефіцієнт дії краплі

$$K_{эф} = \frac{F_{эф}}{F_{сл}} = \frac{(d_{сл} + 2r)^2}{d_{сл}^2}, \quad (15.1)$$

де r – зона ефективної дії краплі ($r = 100...200$ мкм).

Дрібні часточки при однаковій витраті препарату на одиницю площі повніше і рівномірніше вкривають поверхню рослин, які обробляють.

Фумігація – це процес насичення обмеженого простору пестицидами сильної дії, які швидко випаровуються. Пестициди, які використовують для фумігації, можуть перебувати у твердому, рідкому і газоподібному стані. Характерними властивостями фумігантів є швидкість

випаровування, леткість, густина (в газоподібному стані відносно повітря), нейтралізація (здатність піддватися дегазації).

Протруювання застосовують для передпосівної обробки пестицидами посівного та садивного матеріалу з метою знищення хвороб, які знаходяться на поверхні чи всередині тканин насіння, бульб, знищуються і тим самим усувається небезпека захворювання рослин упродовж усього вегетаційного періоду. Протруювання поділяють на сухе, напівсухе і мокре.

15.2 Обприскування

Обприскування - це метод внесення рідких ЗЗР (гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів) дрібними краплями для захисту посівів, що проводиться вранці/ввечері при швидкості вітру до 4-5 м/с. Ефективність залежить від типу розпилювачів, норми виливу (30–300 л/га), швидкості агрегату та використання ад'ювантів.

Основні правила ефективного обприскування:

Час проведення: оптимально - ранок (до 10:00) та вечір (18:00–22:00), а при великих площах - вночі.

Погодні умови: швидкість вітру не повинна перевищувати 4 м/с для дрібнокрапельного та 5 м/с для крупнокрапельного обприскування.

Якість покриття: щільність крапель має бути 20-30 шт./см² (гербіциди) або 50-60 шт./см² (фунгіциди/інсектициди).

Розмір крапель: дрібні краплі (для системних препаратів) краще покривають рослину, але мають вищий ризик знесення; великі - краще для ґрунтових гербіцидів.

Санітарні вимоги: заборонено обробляти посіви за 300 м до населених пунктів та пасік, а також обов'язково попереджати населення за добу.

При використанні сучасних засобів захисту рослин найбільша ефективність досягається за суворого дотримання трьох основних чинників:

- правильного вибору препарату,
- оптимальних термінів застосування,

- технології застосування, у тому числі правильного підбору розпилювачів.

Отже, оптимальні умови для обприскування: температура повітря від 12 до 25°C, вологість повітря 70–80%, швидкість вітру трохи більше ніж 5–6 м/с, відсутність опадів, у тому числі туману й роси. Відхилення від оптимальних умов може призвести до багаторазового зниження або відсутності ефективності обробки, а також завдати шкоди довкіллю.



Параметри розпилювання залежать як від препарату, так і від цільового об'єкта. Всі розпилювачі, залежно від типу, конструкції, діапазону тиску, виробляють різну кількість і спектр крапель різних розмірів (дуже дрібні, дрібні, середні, великі та дуже великі), а пропорційне їх співвідношення може змінюватись.

Розмір крапель важливий у будь-якому разі (рис. 15.2). І тут дуже важливо пам'ятати (при виборі розпилювача та визначенні очікуваної ефективності обробки) про три основних чинники: об'єкт обробки, препарат і ризик знесення.

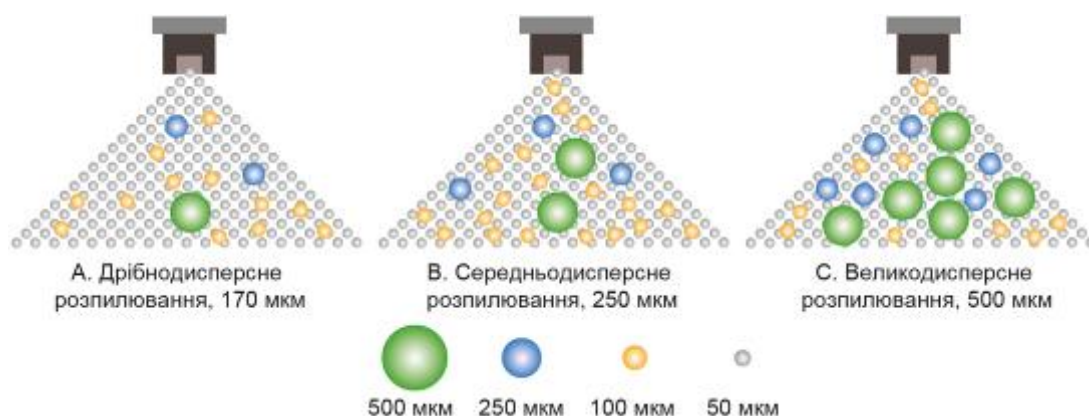


Рисунок 15.2 - Пропорційне співвідношення розміру крапель у факелі розпилювання

Основною метою застосування препаратів є підтримання чисельності

шкідників, хвороб і бур'янів нижче ЕПШ (економічного порога шкідливості).

Від правильного вибору препарату залежить лише половина успіху захисних заходів. Друга половина успіху, чи, скажімо так, ефективності обробки, залежить від термінів та технології їх застосування. Обробка препаратом у потрібний час є важливим чинником. Наприклад, можливість контролю злакових бур'янів різко знижується після того, як бур'яни проходять фазу другого-третього справжнього листка: до цього часу втрачається в середньому 1 ц/га потенційного врожаю пшениці. Вибір оптимального розпилювача забезпечує підвищення ефективності впливу препарату на ці бур'яни. Ідеальної точності в таких випадках домогтися непросто, адже тут діє дуже багато різних зовнішніх і внутрішніх чинників, але прагнути до цього потрібно.

Професійне внесення ЗЗР може здійснюватися на швидкостях від 8 до 16 км/год і більше з нормою витрати робочої рідини 50–250 л/га, з використанням різних типів розпилювачів залежно від цільового об'єкта, стану культури, погодних та інших умов. Інакше кажучи, при використанні ЗЗР необхідно зосереджувати увагу не лише на їх різноманітності та вартості, а й на підвищенні технології їх застосування.

Об'єктами для обробки в сільськогосподарському виробництві є насамперед бур'яни, шкідники та хвороби і, природно, ґрунт, на якому вирощуються культури та росте бур'ян. І основною метою тут є своєчасна діагностика та правильний вибір препарату, а також утримання чисельності шкідників, різних патогенів і бур'янів нижче економічного порога шкодочинності.

15.3 Взаємозв'язок діаметра, кількості крапель і розміру обробленої площі

Дуже дрібні й дрібні, а також середні краплі є найефективнішими. Вони краще утримуються на поверхні рослин, ніж великі краплі, що мають тенденцію скочуватися з поверхні. Переважання дрібних крапель у факелі розпилювання необхідне при обробці таких бур'янів, як вівсюг, види

просіянок на злакових культурах, при обробці бур'янів на гороху, в сім'ядольній стадії на цукрових буряках, інших культурах, а також при застосуванні контактних фунгіцидів та інсектицидів. Але дрібні краплі дуже схильні до зносу та випаровування. Тому необхідно суворо дотримуватись швидкісного режиму обприскувача, працювати за оптимальної зовнішньої температури повітря та мінімальних показників вітру.

Водночас великі краплі напрочуд добре підходять для культур, що легко їх утримують. Це, наприклад, квасоля або олійні культури – опушеність листя не дає краплинам скочуватися або відлітати при ударі, як, скажімо, на капустяному листі.

Значний вплив на здатність краплі утримуватися на поверхні, що обробляється, чинять прилипачі (ад'юванти), які містяться у препаратах або додаються в робочий розчин при обробці. Знижуючи динамічний поверхневий натяг краплин, ці засоби можуть скоротити непродуктивні втрати (рис.15.3).

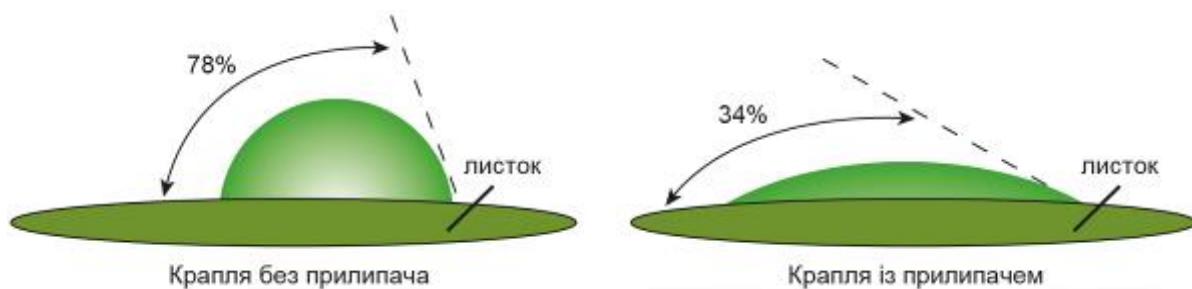


Рисунок 15.3 - Поверхневий натяг крапель

Великі краплі легко проникають у стеблестій злакових культур, менше схильні до знесення і випаровування, але їх ефективність може бути низькою. Найчастіше такі краплі більше підходять для внесення системних і ґрунтових гербіцидів.

При заданому об'ємі рідини зменшення удвічі розміру частинок, що розпиляються, призводить до восьмикратного збільшення кількості утворень краплин, при цьому площа покриття плоскої поверхні листка або ґрунту може зрости до 4 разів (рис. 15.4). Цього можна досягти шляхом підбору розпилювачів малих розмірів або збільшенням тиску в робочій системі

обприскувача. Але розпилювачі з малими розмірами витрачають менше робочого розчину, можуть частіше забиватися й допускати огріхи при обробці. Тоді як розпилювачі великих розмірів, навпаки, менше схильні до засмічення, але витрачають більше робочого розчину, а зі збільшенням тиску збільшується і витрата робочого розчину, і кількість дрібних краплин. У такому випадку витрати робочого розчину на 1 га потрібно регулювати швидкістю руху обприскувача, щоб залишатися в заданих параметрах. І не треба забувати про те, що саме дрібні краплі найбільш ефективні, хоча й дуже схильні до знесення та випаровування.



Рисунок 15.4 - Взаємозв'язок між розміром і кількістю краплин

Дрібні краплі краще пересуваються у горизонтальній площині між листям, забезпечуючи проникнення та покриття у разі широколистяних культур.

При заданому об'ємі рідини частинки малих розмірів забезпечують набагато краще покриття поверхні листка. Для продуктів системної дії достатнім буде потрапляння лише кількох крапель, що містять активні інгредієнти, але для контактних препаратів повне покриття поверхні листка є важливим чинником.

15.4 Дисперсність робочої рідини

При внесенні засобів захисту рослин основне завдання полягає в тому, щоб досягти високої ефективності обприскування і при цьому не допустити заподіяння шкоди довкіллю.

Чинники, що впливають на якість обприскування

Дисперсність розчину. Для культур, що ростуть вертикально, таких як зернові, оптимальними є великі краплі, що легко проникають вглиб стеблестою. Для широколистяних, таких як картопля, соя, бавовник, більше підходить дрібнодисперсне розпилення. Великі краплі не можуть досягти нижнього ярусу.

Густина покриття поверхні, що обробляється розчином пестициду. Для гербіцидів щільність покриття має бути не менше ніж 20–40 крапель/см² (для системних – мінімальна кількість, для контактних – максимальна), для інсектицидів – 30–60 (аналогічно: системних і контактних), фунгіцидів – не менше ніж 60–70 крапель/ см² (для системних допускається менше – до 40).

Для системних гербіцидів рівномірність покриття не дуже принципова, для контактних препаратів необхідне максимальне покриття поверхні.

Стабільне рівномірне внесення розчину по ширині захвату штанги та протягом гону. Нерівномірність не повинна перевищувати 25% від середнього значення.

Несвоєчасна заміна розпилювачів може призвести до збільшення варіаційного коефіцієнта до 60%, тоді як норма становить 5%.

- Точне дозування робочої рідини.
- Метеорологічні умови та час, терміни (відповідно до фази культури) проведення обробки (температура, вітер, вологість тощо). Низька температура уповільнює метаболізм у рослин, висока температура може спричинити стрес.

Метеоумови	Температура, °С	Вітер, м/сек	Вологість повітря, %
Оптимальні	Вище 10 і нижче 20	1,5 – 2	Вище 60
Несприятливі	Вище 20 і нижче 10	Вище 5	Менше 40

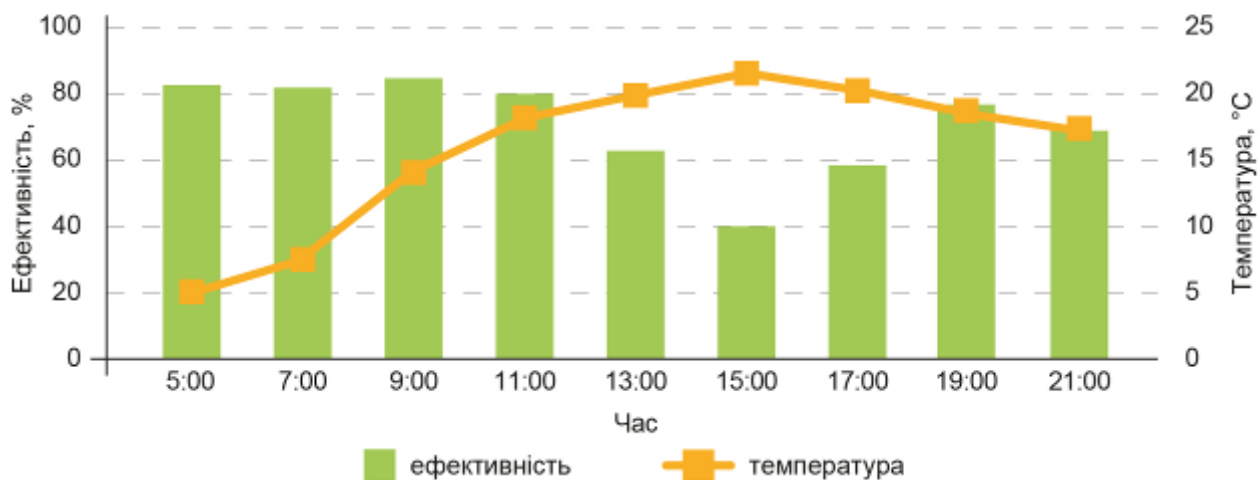


Рисунок 15.5- Вплив погодних умов на ефективність хімічної обробки

15.4 Показник змочуваності поверхні

Показник змочуваності - це одна з критичних характеристик ефективності захисту рослин. Від того, наскільки добре крапля робочого розчину утримується на листку та розтікається по ньому, залежить біологічна дія препарату (гербіциду, фунгіциду чи інсектициду).

Крайовий кут змочування. Основним фізичним критерієм змочуваності є крайовий кут, що утворюється між поверхнею листка та дотичною до поверхні краплі.

Гідрофільна поверхня, при куту змочування менше 90° . Крапля розтікається, площа контакту велика. Це ідеальний варіант для системних препаратів.

Гідрофобна поверхня, при куту змочування більше 90° . Крапля набуває форми кулі та легко скочується (ефект лотоса). Це характерно для рослин з потужним восковим нальотом (ріпак, капуста, горох, злаки).

Фактори, що впливають на змочуваність

Змочуваність не є стабільною величиною і залежить від трьох складових:

Фактор	Вплив на процес
Морфологія листка	Наявність ворсинок (опушення) або воскового нальоту знижує змочуваність.
Поверхневий натяг	Чим нижчий натяг рідини, тим краще вона "липне". Чиста вода має високий натяг (72-73 мН/м).
Кліматичні умови	Висока вологість сприяє змочуванню, а спека призводить до швидкого висихання краплі ще до її розтікання.

Оскільки більшість культурних рослин мають водовідштовхувальні властивості, у робочий розчин додають поверхнево-активні речовини (ПАР).

Переваги якісного змочування:

- збільшення площі поглинання препарату;
- зменшення ризику змивання дощем;
- можливість зниження норми виливу води на гектар.

Контрольні запитання

1. Як пов'язані між собою діаметр крапель, їх число в одиниці об'єму і розмір обробленої площі?
2. Наведіть схеми змочуваності поверхонь.
3. Як можна визначити середній діаметр крапель?
4. Напишіть формулу для визначення коефіцієнта ефективної дії краплі.
5. Коротко схарактеризуйте аерозольну обробку, обпилювання, фумігацію, протруювання с.-г. культур

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. Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Манчинський Ю.О. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Практикум: Навч. Посібник;.: – Харків, 2011. – 193 с.
7. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч. I, II: Підручник/ Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк, А.П. Пилипенко, М.М. Бондар. За ред.. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 616 с
8. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник для ВНЗ III-IV рівнів акредитації. Ч. III / Г.М. Калетнік [та ін.] ; За ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України. - К. : Хай-Тек Прес, 2013. - 528 с.

9. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч. I, II: Підручник/ Г.М.Калетнік, М.Г.Чаусов, В.М.Швайко, В.М.Пришляк, А.П.Пилипенко, М.М.Бондар. За ред.. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 616 с.
10. Корчак, М.М. (2021). Електронний навчальний курс з дисципліни «Механіка -технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів» для здобувачів 1 курсу першого(бакалаврського) Рівня вищої освіти інженерно-технічного факультету спеціальності 208«Агроінженерія». Кам'янець -Подільський: ПДАТУ. <http://pdatu.net.ua/course/view.php?id=2342>
11. Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд, 2025. 166.с.
12. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Агрофізика ґрунту. Підручник. К.: Видавництво, 2021. – 315 с.
13. ДСТУ EN 13041:2005 Меліоранти ґрунту та середовища росту. Визначення фізичних властивостей.
14. ДСТУ 7842:2015 Якість ґрунту. Оцінювання якості ґрунтів за гранулометричним складом
15. Лабораторний практикум з дисципліни: “ Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів ” Для здобувачів вищої освіти ОКР «Бакалавр» спеціальності 208 «Агроінженерія» [Шпилька М.М., Брикун О.М.] - Кафедра ТОПХВ ПДАА , 2022. 72
16. <https://www.agronom.com.ua/vplyv-preparatyvnyh-form-na-efektyvnist-pestytsydiv/>
17. <https://www.agronom.com.ua/pryntsypy-efektyvnogo-obpryskuvannya/>
18. <https://www.agronom.com.ua/pryntsypy-efektyvnogo-obpryskuvannya-2/>

КАЛНАГУЗ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

БАТЮК ЛЮДМИЛА МИКОЛАЇВНА

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій

**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. __.
