

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Тишко Володимир Олегович**

УДК 631.31

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН НА  
ЗМІНУ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Тишко В.О.

**Керівник роботи**

Дерев'янка Д.А.

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

**Тишко Володимир Олегович. Дослідження впливу ґрунтообробних машин на зміну фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі встановлено, що ґрунтообробні машини за технологією no-till мають менший вплив на ґрунт порівняно з традиційною ґрунтообробною машиною – плугом. Міцність структури ґрунту була приблизно на 15..25% вищою на ґрунтах, оброблених за технологією no-till, ніж на ґрунтах, оброблених плугом. Це призвело до вищого вмісту водостійких частинок ґрунту та зменшення водної та вітрової ерозії ґрунту. Вміст вологи в неораних ґрунтах був в середньому на 25...30% вищим, ніж у ґрунтах, оброблених іншим ґрунтообробним обладнанням. У зораних ґрунтах щільність у верхньому шарі (глибина 0...20 см) була значно меншою порівняно з необробленими ґрунтами. Однак на глибині 45 см щільність ґрунту була на 7...12 % вищою за глибокої оранки, ніж за інших способів обробітку ґрунту.

Ґрунтообробні машини за технологією no-till мають кращий вплив на навколишнє середовище, ніж звичайні ґрунтообробні машини. Після зими температура верхнього шару ґрунту (0...10 см) необроблених ґрунтів була в середньому на 5 % вищою на зораних ґрунтах і на 7 % вищою, ніж на ґрунтах, оброблених глибокорозпушувачем або дисковою бороною. Викиди парникових газів CO<sub>2</sub> з необроблених і мілко оброблених дисковими знаряддями ґрунтів були на 25...35 % нижчими порівняно з обробленими плугом і глибоким плугом.

Ґрунтообробні машини за технологією no-till мають нижчі економічні та енергетичні показники порівняно зі звичайними ґрунтообробними машинами.

*Ключові слова: ґрунт, обробіток, твердість, аерація, дискова борна, плуг.*

## ANNOTATION

**Tyshko Volodymyr Olehovych. Study of the influence of tillage machines on the change of physical and mechanical properties of the soil environment. – Qualification work on the rights of the manuscript.**

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In his master's thesis, he found that no-till tillage machines have a lower impact on the soil than the traditional tillage machine, the plough. The strength of the soil structure was about 15...25% higher on the no-till soils than on the plough soils. This resulted in a higher content of water-resistant soil particles and reduced water and wind erosion. The moisture content in the ploughed soils was on average 25...30% higher than in the soils cultivated with other tillage equipment. In ploughed soils, the density in the upper layer (0...20 cm depth) was significantly lower compared to untreated soils. However, at a depth of 45 cm, the soil density was 7...12% higher with deep ploughing than with other tillage methods.

No-till tillage machines have a better environmental impact than conventional tillage machines. After winter, the temperature of the topsoil (0-10 cm) of untreated soils was on average 5% higher on ploughed soils and 7% higher than on soils cultivated with a deep ripper or disc harrow. CO<sub>2</sub> emissions from untreated and shallowly cultivated soils with disc implements were 25...35% lower than those cultivated with a plough and a deep plough.

Tillage machines using no-till technology have lower economic and energy performance compared to conventional tillage machines.

*Keywords: soil, tillage, hardness, aeration, disc harrow, plough.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ НА ҐРУНТ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** У всьому світі площа земель, потенційно придатних для сільськогосподарського виробництва, зменшується на 4-7 млн. га на рік. Антропогенна ерозія ґрунтів вже призвела до втрати 430 млн. га орних земель у світі, що становить близько 30% від загальної площі земель, які використовуються для сільськогосподарського виробництва.

Не всі наші фермери розуміють суть сталого сільського господарства. Метою ґрунтозахисного сільського господарства є забезпечення безперервного відтворення продуктивності землі, збереження біосфери та підтримання рентабельного виробництва шляхом обмеження інтенсивного технологічного впливу на землю і рослини та мінімізації його негативних наслідків. Стале сільське господарство має низку цілей: раціональне використання матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів, дотримання суворих екологічних вимог, а також виробництво здорової та дешевої сільськогосподарської продукції.

Але найважливішою метою є збереження родючості ґрунту. Мета полягає в тому, щоб запобігти деградації ґрунту, зупинити втрату гумусу і деградацію ґрунту, зменшити вимивання поживних речовин і забруднення ґрунтового стоку, захистити ґрунт від ерозії і структурної деградації, стимулювати природні біологічні процеси, поліпшити баланс метаболізму органічної речовини в полі, а також поліпшити аерацію і зрошення верхнього шару ґрунту.

**Об'єкт наукового дослідження:** технологічний процес обробітку ґрунту.

**Предмет наукового дослідження:** вплив способу обробітку ґрунту на характеристики та властивості ґрунтового середовища.

**Мета наукового дослідження.** Дослідити вплив різної інтенсивності обробітку ґрунту ґрунтообробними машинами на властивості ґрунту та навколишнє середовище.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- провести літературний огляд впливу ґрунтообробних машин на властивості ґрунту та навколишнє середовище;
- розробити методика експериментальних досліджень;
- визначити вплив традиційних та ґрунтозахисних ґрунтообробних машин на фізико-механічні властивості ґрунту та навколишнє середовище шляхом експериментальних досліджень.

**Методи наукового дослідження.** Аналітичні дослідження виконано з використанням методів класичної механік та механіки суцільних деформованих середовищ. Аналітичні, лабораторні, лабораторно-польові та польові експерименти були виконані з використанням стандартних і розроблених приватних методик, із застосуванням методів планування експерименту. Отримані експериментальні дані оброблено методами математичної статистики в програмах Microsoft Excel, Statistica.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'яно Д. А., **Тишко В. О.** Визначення ступеня закріпленості абразивних частинок в ґрунті. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 31-34.

2. Дерев'яно Д. **Тишко В.** *Вплив основних технологічних параметрів ґрунтообробних машин на ґрунт. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи».* 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет. 2023. С. 38-42.

3. Дерев'яно Д. **Тишко В.** Методика визначення ступеня закріпленості абразивних частинок в ґрунті. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки».* Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 422-423.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати досліджень можуть застосовуватися під час впровадження ґрунтозахисних технологій в агропромисловому комплексі України.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 56 сторінок комп'ютерного тексту, містить 48 рисунків та 1 таблиця

## РОЗДІЛ 1

### ВПЛИВ НА ҐРУНТ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Глибокий розпушувальний обробіток спрямований на розпушення ущільненого ґрунту, стимулювання розмноження мікроорганізмів та активності ферментів у шарах 0...20 і 20...40 см, що призводить до збільшення вмісту гумусу та покращення фізичних властивостей ґрунту [18].

Процес ущільнення ґрунту призводить до зменшення пористості та повітропроникності, збільшення твердості, зміни структури ґрунту та багатьох інших властивостей. Ущільнення ґрунту було визначено як багатовимірну проблему, яка може мати негативні економічні та екологічні наслідки для сільського господарства [18].

Природні фактори ущільнення ґрунту включають [18]:

1. Високий вміст глинистих частинок;
2. Надмірна вологість ґрунту;
3. Низький вміст органічної речовини;
4. Сильні опади.

Антропогенні фактори ущільнення ґрунту:

1. Збільшення маси тракторів та сільськогосподарської техніки;
2. Недостатня глибина оранки та розпушування;
3. Монокультура;

При традиційному обробітку ґрунту (оранці) близько 90-95% поверхні ґрунту ущільнюється колесами трактора. Шкідливий вплив ущільнення в підґрунті, особливо на глибині, можна дещо зменшити, змінюючи глибину оранки. Однак це часто неможливо через товщину лемеша або через те, що ущільнений шар не може бути досягнутий звичайними плугами. Для подолання цих проблем використовуються різні глибокорозпушувальні культиватори (рис. 1.1) [18].





Рис. 1.1. Комбінований культиватор з глибокорозпушувальними лапами [18].

Коли глибокорозпушувачі розпушують шар ґрунту, розпушений шар ґрунту чинить опір руху лапи (рис. 1.2), в результаті чого виникає сила протирізання  $F_l$  (рис. 3) в напрямку, протилежному до напрямку руху машини. На величину цієї сили в основному впливають фізико-механічні властивості шару ґрунту та параметри лапи. Встановлено, що в ґрунті нормальної вологості сила  $F_l$  паралельна напрямку вектора швидкості руху ґрунтообробної машини  $V_m$ . Однак в ущільнених або сухих ґрунтах напрямок сили  $F_l$  змінюється на протилежний через зміну вологості та сили зовнішнього тертя. Межі зміни напрямку цієї сили визначаються кутом  $\alpha$ , який дає можливість оцінити зміну фізико-механічних властивостей ґрунту [18].

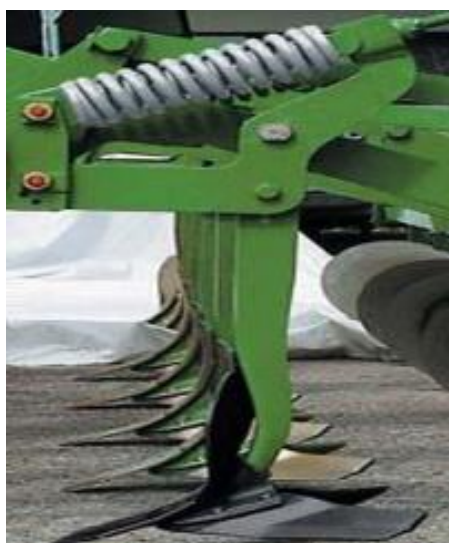


Рис. 1.2. Лапа культиватора для глибокого розпушування [18].

На поверхню лапи також впливає сила тяжіння шару ґрунту  $G = mg$ . Сила  $F_3$  оцінює вплив опору різання ґрунту та сил тертя на робочу поверхню лапи. Сила інерції шару ґрунту  $F_2$  спрямована в напрямку, протилежному вектору абсолютної швидкості шару (рис. 1.3) [18].

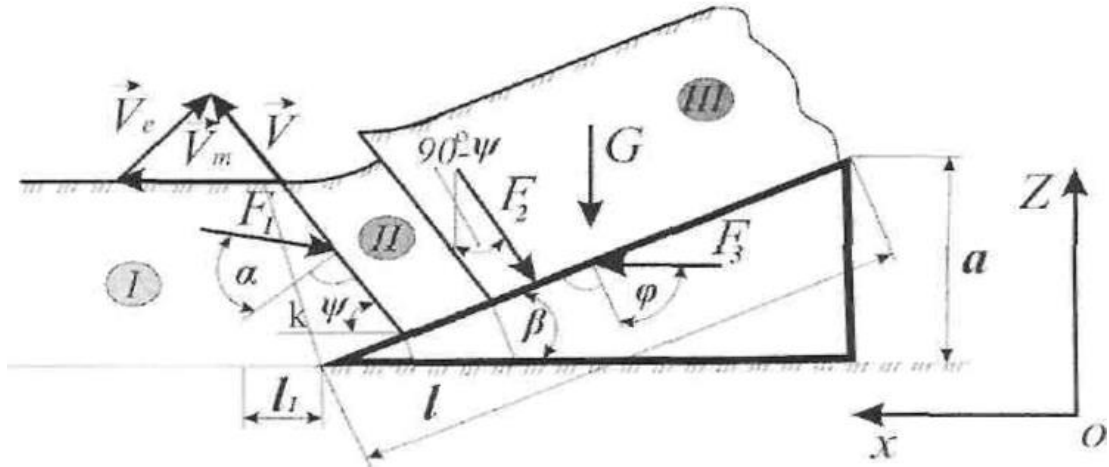


Рис. 1.3. Сили, що діють на лапу глибокорозпушувача:  $F_1$  – сила опору ґрунту різанню;  $F_2$  – сила інерції шару ґрунту;  $F_3$  – сила для оцінки впливу сил опору ґрунту різанню і тертя на робочу поверхню лапи;  $V_e$  – вектор швидкості підйому шару ґрунту;  $V_m$  – вектор швидкості руху машини;  $V$  – абсолютна швидкість переміщення шару ґрунту;  $a$  – глибина розпушування ґрунту;  $l_1$  – шар ґрунту, що подрібнюється об лапу;  $l$  – довжина леза лапи;  $a$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$  – кути прикладання сил;  $\beta$  – кут подрібнення ґрунту; I, II, III – зони впливу на шар ґрунту [18].

Для обчислення сил  $F_1$  і  $F_3$  записуються рівняння рівноваги сил відносно осей  $ox$  і  $oz$ :

$$\sum \sigma x = -F_1 \sin(\psi + \alpha) - F_2 \sin(90 - \psi) + F_3 \sin(\beta + \alpha) = 0, \quad (1.1)$$

$$\sum \sigma z = -F_1 \sin(\psi + \alpha) - F_2 \sin(90 - \psi) - G + F_3 \sin(\beta + \alpha) = 0, \quad (1.2)$$

Рівняння (1.1) дає [18]:

$$F_3 \geq \frac{F_1 (\sin \psi + \alpha) + F_2 \sin(90 - \psi)}{\sin(\beta + \varphi)}, \quad (1.3)$$

Значення сили  $F_3$ , введене в рівняння (3), дає силу  $F_1$ :

$$F_1 \geq \frac{F_2 (\sin \psi - \cos \psi \cdot \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)) + G}{\cos(\psi + \alpha) + \sin(\psi + \alpha) \cdot \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)}. \quad (1.4)$$

Під час роботи з глибокорозпушувачами бажано не перемішувати верхній і нижній шари ґрунту, щоб поживні речовини на поверхні та утворений шар гумусу не були глибоко заглиблені, що ускладнює доступ до них коріння рослин [18].

Щоб запобігти налипанню ґрунту на робочу поверхню лапи, стійкість до ущільнення ґрунту повинна бути більшою або дорівнювати відношенню опору різання ґрунту до площі поперечного перерізу розпушуваного шару [18].

$$\sigma_s \geq \frac{F_1}{A}. \quad (1.5)$$

де  $A$  - площа поперечного перерізу шару ґрунту, що розпушується,  $\text{м}^2$ .

Звичайні плуги при обробці землі утворюють ущільнений шар ґрунту, так звану "подушку Арменса" [18].

Цього ущільнення можна уникнути, використовуючи знаряддя для глибокого розпушування типу "лопата". Існує два типи лопатевих ґрунтообробних знарядь: 1. 2. нотаційні [18].

Лопатеві знаряддя універсальні, підходять як для зяблевого обробітку ґрунту так і для підготовки ґрунту перед посівом, особливо для невеликих, вузьких ділянок на малих площах землі. Вони мають робочу глибину до 400 мм (рис. 1.4) [18].

Конструкції можуть бути оснащені глибокорозпушувальними лапами, які також можуть розпушувати глибші шари. Машина має швидкість руху 1 м/с і відповідно низьку продуктивність [18].



Рис. 1.4. Лопатевий розпушувач [18].

Дослідження, проведені у Литовському інституті сільського господарства, показали, що щільність ґрунту після глибокого розпушування зменшилася на 2...8 %. Пористість і вологість ґрунту збільшилися. На глибоко розпушеному ґрунті врожайність культури зросла на 2...25 % [18].

Експериментальні дослідження в Фінляндії показали, що після глибокого розпушування вологість важких ґрунтів зменшилася на 5...10 % в осінньо-весняний період, тоді як влітку вологість орного шару не змінилася, а вологість підорного шару зросла на 5...8 %, створюючи додаткові запаси вологи. Також зменшилася кількість перезволоження стерні та підорного шару за наявності надлишкової вологи. У глибоко порушених ґрунтах випаровування вологи зменшилося на 4...8 %. Ґрунт легше просочується опадами і накопичує поживні речовини. Після глибокого розпушування часто спостерігається підвищення температури ґрунту. Підвищення температури ґрунту частіше спостерігається навесні [18].

Це пояснюється кращою фільтрацією прогрітої води в ґрунт і меншим вмістом вологи у верхніх шарах [18].

Метою обробітку ґрунту дисковими боронами є розпушування поверхні ґрунту, підрізання та видалення дернини, підрізання та видалення дернини, підрізання та видалення стерні, видалення бур'янів, видалення поживних решток, внесення органічних та мінеральних добрив. Борона може працювати на зораних або глибоко оброблених ґрунтах різного механічного складу [18].

Дискові борони можуть працювати в широкому діапазоні забур'яненості, на незасмічених і кам'янистих ґрунтах. Робочою частиною дискової борони є опуклий сталевий диск. Диски зібрані на осі, залишаючи зазори, щоб сформувати секцію. Ґрунт обробляється на глибину від 0,10 до 0,25 м. Глибина розпушування залежить від ваги борони та кутів нахилу дисків. Для глибокого розпушування використовують важкі дискові борони. Для збільшення інтенсивності розпушування поверхня дисків вирізається [18].



Рис. 1.5. Дискові борони [18].

Параметри дисків пов'язані між собою геометричними умовами. Зв'язок між діаметром диска  $D$  та його радіусом кривизни  $R$  можна визначити з рис. 6, а [18].

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi_{kv}}. \quad (1.6)$$

де  $\varphi_{kv}$  – кут опуклості диска [18].

Радіус опуклості визначає інтенсивність струшування. Диски з меншим радіусом опуклості розпушуються інтенсивніше. Глибина розпушування залежить від діаметра диска. На інтенсивність і глибину розпушування впливають кути нахилу диска. Площина країв диска утворює кут  $\alpha$  з напрямком руху (рис. 1.6, б) [18]:

$$\alpha = \omega + \Delta\varepsilon = const. \quad (1.7)$$

де  $\omega$  – кут конуса леза диска з площиною його кромки;

$\Delta\varepsilon$  – кут конуса леза диска з напрямком руху.

Під час роботи частина диска заглиблюється в ґрунт. Площина леза диска також утворює кут  $\alpha$  з напрямком руху [18].

Кут  $\alpha$  є постійним і не залежить від глибини. Однак кути  $\omega$  і  $\Delta\varepsilon$  змінюються. Зі збільшенням глибини розкидання кут  $\omega$  зменшується, а кут  $\Delta\varepsilon$  збільшується. Вплив дисків на ґрунт залежить в основному від кутів  $\alpha$  і  $\Delta\varepsilon$ . Інтенсивність розкидання залежить від кута  $\alpha$  [18].

Чим більший кут, тим інтенсивніше розпушування. Коли кут  $\alpha$  малий, диски більше ріжуть, ніж розпушують. Кут  $\alpha$  зазвичай називають кутом атаки диска.

Кут  $\Delta\varepsilon$  впливає на глибину розпушування і частково на характеристику розпушування. Коли кут  $\Delta\varepsilon$  позитивний, диск прагне заглибитися, коли він негативний, диск тисне на ґрунт своєю опуклою стороною (зовнішньою стороною) і намагається піднятися на поверхню. Тиск залежить від кута нахилу дисків  $\Delta\varepsilon$ . Коли тиск збільшується, ґрунт деформується і кришиться, оскільки він подрібнюється. Тому при розпушуванні таким способом потрібна велика сила. Під час роботи кут  $\Delta\varepsilon$  є позитивним [18].

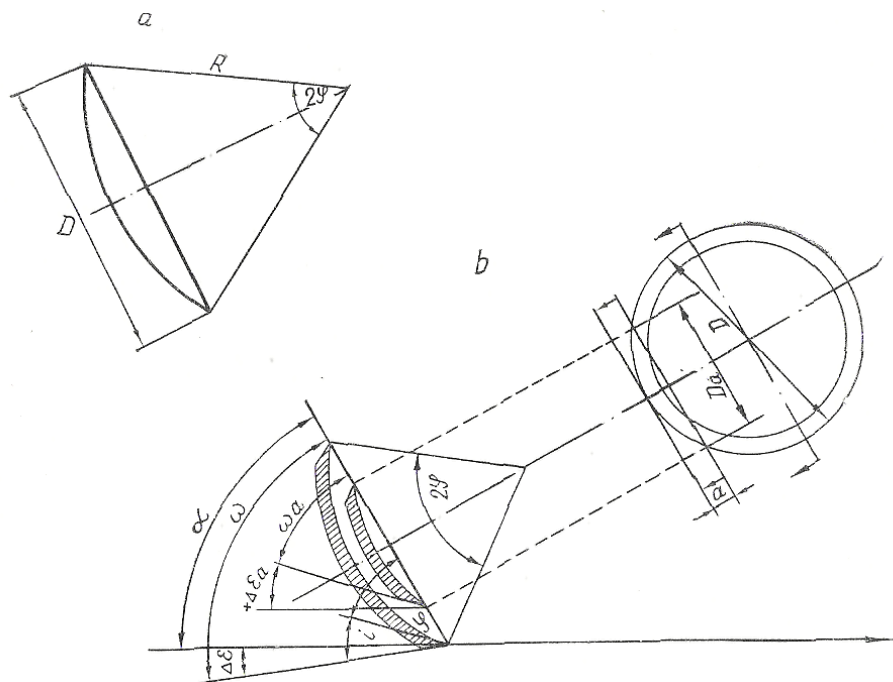


Рис. 1.6. Геометричні параметри диска: а – схема диска, б – перерізи диска.



Зміна глибини розкидання вимагає зміни кута атаки дисків так, щоб кут  $\Delta\epsilon$  залишався позитивним. Диск заглиблюється лише на певну глибину. Ґрунт розпушується зануреною частиною диска. Інший коефіцієнт використання диска можна визначити відношенням діаметра диска до глибини розпушування [18]:

$$R = \frac{D}{a_{pg}}. \quad (1.8)$$

Коефіцієнт використання поверхні плити  $k_{lek} = 3 \dots 5$ . Чим він вищий, тим менше використання поверхні. Коли  $k_{lek} = 2$ , вісь досягає поверхні ґрунту. Діаметр дисків визначається дисковим коефіцієнтом або припущенням, що вісь диска не може торкатися поверхні ґрунту [18].

$$D = ka_{pg}, \quad (1.9)$$

або

$$D \geq 2a_{max} + d, \quad (1.10)$$

де  $a_{max}$  – максимальна глибина диска в мм;  $d$  – діаметр фланця підшипника осі в мм.

Andriulytė експериментально встановив, що поля оброблені дисковими боронами, менш стійкі до порушення ґрунту, а частинки ґрунту швидше відділяються. Це збільшує потенціал вітрової та водної ерозії. Однак ущільнення ґрунту було значно нижчим на полях, оброблених дисковими боронами, порівняно з повністю необробленим ґрунтом [18].

Чим менше розпушується ґрунт під час сівби, тим краща якість внесення соломи. Тому рекомендується використовувати дискову борону для мілкового обробітку [18].

Оранка має на меті перевернути і розбити верхній шар ґрунту (рис. 1.7). Перевертання скиби ґрунту передбачає заробляння в ґрунт бур'янів та їхнього насіння, поживних решток і шкідників сільськогосподарських культур. Розкладання поживних решток створює новий шар гумусу, який допомагає відновити структуру ґрунту, забезпечуючи хорошу інфільтрацію повітря і води.



Рис. 1.7. Оранка.

Шматок землі, що перевертається плугом, є дуже важливим показником. Процес оранки аналізується за допомогою елементарної теорії клина. Клин рухається зі швидкістю  $v$  під дією сили  $S_{pl}$ , що дорівнює опору відриву і деформації шару ґрунту, і з кутом різання  $\alpha$  (рис. 1.8). Механічне відокремлення шару ґрунту відбувається в декілька етапів деформації [18].

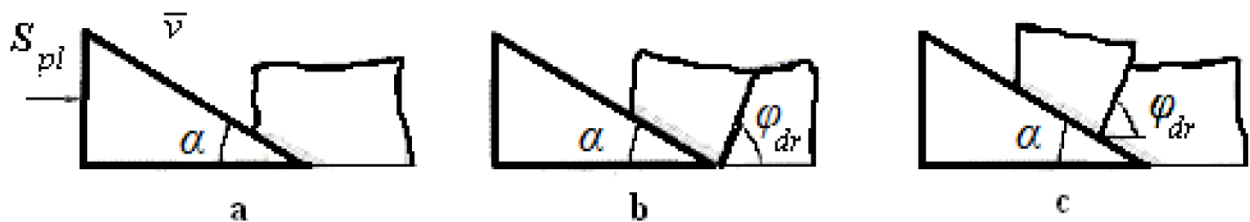


Рис. 1.8. Схема шару ґрунту, що деформується клином:  $S_{pl}$  – сила клину;  $v$  – швидкість клину;  $\alpha$  – кут нахилу клину;  $\varphi_{dr}$  – кут руйнування ґрунту [18].

На першому етапі клин рухається вперед, подрібнюючи вихідний верхній шар ґрунту в зоні перед ним (рис. 1.8, а). Повітря в капілярах ґрунту та між ними стискається. Частинки ґрунту рухаються вздовж поверхні клина [18].

На другому етапі (на схемі не показано) клин продовжує рухатися, збільшуючи стиснення ґрунту і повітря в ньому. Як на першому, так і на другому етапі частинки ґрунту рухаються в напрямку, майже перпендикулярному до робочої поверхні клина [18].

На третьому етапі шар ґрунту стискається до межі міцності і з'являється лінія розколу під кутом  $\varphi_{dr}$  (рис. 1.8, б). Розколотий шар ґрунту рухається в тому ж напрямку, що і частинки ґрунту на другій стадії [18].



На четвертому етапі потенційна енергія стисненого повітря і ґрунту в шарі, що відокремився, починає розривати зв'язки між частинками ґрунту і грудками. Шар починає інтенсивно розпадатися на більш дрібні грудки ґрунту (рис. 1.8, в). При подальшому русі клина знову спрацьовує той самий ефект з послідовним повторенням етапів робочого процесу, але вже на досить високій швидкості майже одночасно. Характер деформації шару ґрунту залежить від його гранулометричного складу та стану, тобто вологості, пластичності та неоднорідності. Так, на рис. 1.9 (а) показано процес деформування ґрунту середнього гранулометричного складу, при цьому трапецієподібні ґрунтові грудки відокремлюються під кутом  $\varphi_{dr}$ . При меншій глибині різання клином такий ґрунт розпадався б на вузчі грудки подібної форми, тобто кут розпаду  $\varphi_{dr}$  залишався б майже незмінним [18].

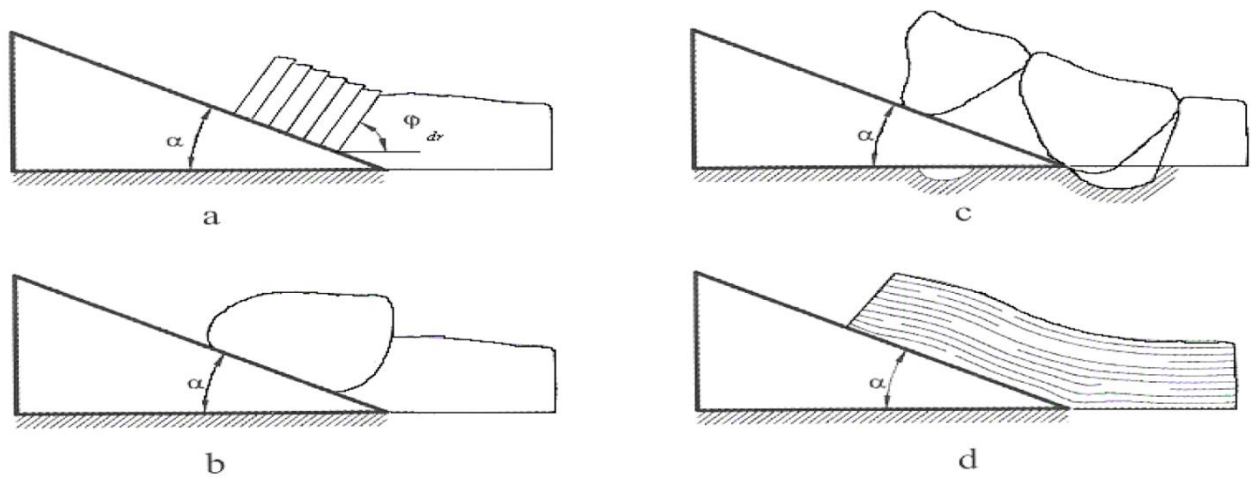


Рис. 1.9. Характер деформації ґрунту в залежності від його гранулометричного складу: а – ґрунт з помірним гранулометричним складом; б – ґрунт з легким гранулометричним складом; в – ґрунт з важким гранулометричним складом; д – ґрунт з високим гранулометричним складом.

Деформація ґрунту з легким гранулометричним складом показана на рис. 1.9, б. Агрегати і грудки ґрунту слабо пов'язані між собою, тому такий ґрунт утворює гребінь перед клином [18].

Ґрунти з важким гранулометричним складом і високим вмістом частинок фізичної глини мають сильний міжагрегатний зв'язок і при розрізі клином

розпадаються на правильні грудки. Відокремлені грудки мають настільки міцні зв'язки, що навіть частина ґрунту відривається від нижньої частини розрізу клина (рис. 1.9, с) [18].

Вологий ґрунт характеризується підвищеною пластичністю, і під впливом клина він прогинається і залишається однорідним без тріщин і розривів (рис. 1.9, d) [18].

Переваги оранки [18]:

На зораній землі легше підготувати відповідне посівне ложе;

Немає потреби в спеціальних сівалках для посіву;

Оранка успішно застосовується в широкому діапазоні кліматичних і ґрунтових умов;

Врожайність вирощуваних культур є вищою;

Покращується боротьба з бур'янами;

Зораний ґрунт має рівну поверхню.

Недоліки оранки:

- поверхня ґрунту схильна до водної та вітрової ерозії;
- утворення ґрунтової кірки;
- високі витрати палива;
- підвищене випаровування вологи з ґрунту;
- високі витрати праці та зниження продуктивності;
- підвищені викиди вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу.

Глибока оранка не сприяє зменшенню водної ерозії ґрунту. Згідно з експериментальними даними Калтїненської дослідної станції, найменші втрати ґрунту на схилі восени і навесні відбуваються з полів, які не оброблялися з осені. Заміна осінньої оранки глибоким розпушуванням призвела до зменшення змиву ґрунту в 3,3 рази або на 69% [18].

Експериментальні дослідження показали, що у верхньому шарі ґрунту (0...10 см) найкраща повітропроникність підтримується мілкою оранкою, тоді як глибока оранка зменшує повітропроникність [18].

Бельгійські дослідники виявили, що пряме сівба збільшує врожайність вівса, озимих бобів та озимої пшениці в середньому на 15%. Врожайність ярого ячменю і кукурудзи знизилася на 15%, а цукрових буряків – до 20% порівняно з глибокою оранкою [18].

Хоча глибока оранка має ряд недоліків, спрощення механічного обробітку ґрунту неминуче призводить до збільшення кількості бур'янів, особливо багаторічних [18].

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні польові випробування були проведені в 2022-2023 роках на ґрунтах Житомирської області. Досліди проводилися на полях кукурудзи за п'яти різних способів обробітку ґрунту. В експериментальних дослідах використовувалися ґрунтообробні машини:

1. Глибокорозпушувач (глибина 23-25 см) ( $P_G$ ) (рис. 2.1);
2. Мілкий плуг (глибина 12-15 см) ( $P_S$ ) (рис. 2.1);
3. Глибокорозпушувальний культиватор (глибина 30-40 см) ( $GK$ ) (Рис. 2.2);
4. Дискова борона для мілкового розпушування (глибина 12-15 см) ( $L$ ) (Рис. 2.3);
5. Сівалка ( $PS$ ) (рис. 2.4).



Рис. 2.1. Плуг



Рис. 2.2. Культиватор для глибокого розпушування



Рис. 2.3. Дискава борона



Рис. 2.4: Сівалка для конюшини

Початковий розмір однієї оброблюваної ділянки становив  $126 \text{ m}^2$ , а контрольний –  $70 \text{ m}^2$  (рис. 2.5).

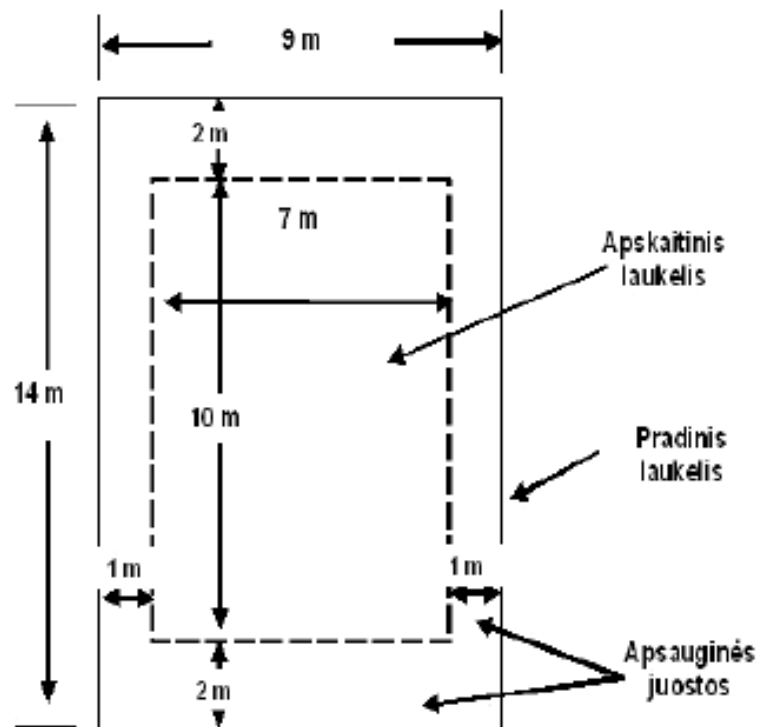


Рис. 2.5. Експериментальне випробувальне поле.

Сорт кукурудзи Сальдаго вирощується в експериментальних дослідках. В якості попередника для кукурудзи була озима пшениця. Після збору врожаю пшениці і після того, як бур'яни вирости або проросли, ґрунт культивували або обприскували гербіцидом загального призначення (поля прямого посіву). Навесні, коли ґрунт почав відновлюватися, було проведено передпосівний

обробіток ґрунту та внесено комплексні добрива. Кукурудзу висівали смугами. Ширина міжрядь становила 12,5 см на смугу і 75 см між смугами. Кукурудзу висівали сівалкою Vaderstadt на глибину 6-8 см з нормою висіву 100 кілограмів на гектар. Для хімічного контролю використовували гербіцид Майстер. Інсектициди та фунгіциди не застосовували. Підживлення кукурудзи проводилося в нормі N<sub>60</sub>. Кукурудза була зібрана механізованим способом у кінці вересня.

*Визначення щільності та вологості ґрунту.*

Щільність і вологість ґрунту визначали шляхом відбору зразків буром Некрасова, зважуванням (Рис. 2.6). Для визначення вологості та щільності ґрунту відбирали зразки на глибині 0-10 та 10-20 см. Зразки пронумеровані та зважені.



Рис. 2.6. Свердло Некрасова з втулками.

Після зняття кришечок з буклетів зразки поміщають у попередньо розігріту духовку при температурі 105 °С (рис. 2.7).





Рис. 2.7. Шафа для зберігання «Memmert»

Після того, як зразки висушені до повітряно-сухої маси, піч відкривають, колби закривають кришками і охолоджують до лабораторної температури. Потім бушелі зважують і розраховують вологість і щільність ґрунту.

*Визначення твердості ґрунту.*

Твердість ґрунту (до глибини 45 см) вимірювали за допомогою електронного твердоміра (рис. 2.8).

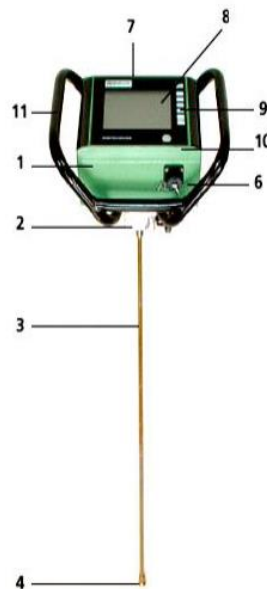


Рис. 2.8. Електронний твердомір: 1 – корпус; 2 – амортизатор; 3 – щуп; 4 – конічний наконечник; 5 – пластина для відліку глибини; 6 – перемикач; 7 – GPS-антена; 8 – дисплей; 9 – панель керування; 10 – рівень; 11 – ручки.

Послідовність дій при вимірюванні твердості: конічний наконечник нагвинчується на кінець щупа. Залежно від опору ґрунту, можна нагвинтити чотири різні наконечники (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Насадки для твердоміра

Щуп з'єднаний з амортизатором під діаметром. Вдавлюючи конічну насадку в ґрунт, внутрішній ультразвуковий датчик твердоміра точно реєструє глибину до 80 см за допомогою опорної пластини. Для тестування твердості ґрунту проводиться п'ять вимірювань на кожному полі. Записані дані про опір проникненню в ґрунт зберігаються в реєстраторі даних твердоміра.

Після підключення жорсткого диска до комп'ютера інформація, що зберігалася на реєстраторі даних, переносилася на комп'ютер і оброблялася програмним забезпеченням.

#### *Визначення міцності структури ґрунту.*

Ґрунтові частинки або механічні елементи рідко бувають вільними. У ґрунтах, що містять гумус і колоїди, механічні елементи злипаються в агрегати різних розмірів і форм. Агрегований стан механічних елементів ґрунту називається структурою ґрунту. Вважається, що ґрунт структурований, якщо більше 55 % агрегатів є стійкими. Важливість структури ґрунту полягає в тому, що вона зумовлює хороші фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунту, відповідний для рослин вміст вологи, повітряний і поживний режим, хорошу активність мікроорганізмів і відсутність кірки на поверхні.



Перш ніж розпочати визначення міцності структури ґрунту, ґрунт необхідно розділити на повітроносні фракції. Збирається набір сит (рис. 2.10).

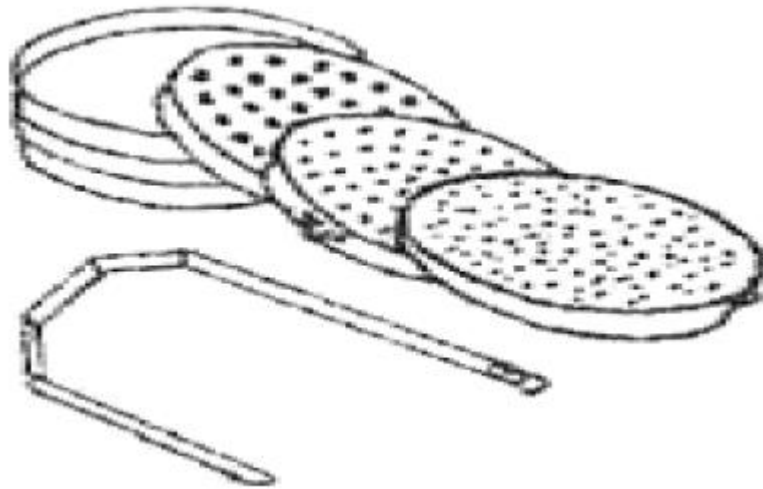


Рис. 2.10. Набір ситок і рама.

На дно помістити сито з отворами діаметром 0,25 мм, а потім сита з отворами діаметром 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 мм. Зважити 200 г повітряно-сухого ґрунту, який потрібно проаналізувати, і висипати його на верхнє сито. Накрити сито кришкою, тримаючи його горизонтально, і просіяти 10 круговими рухами. Різні за розміром агрегати, відсіяні з кожного сита, зважують і висипають в окремі тарілки. Вагу записують і обчислюють відсотковий вміст агрегатів у кожній фракції, що дає уявлення про структуру повітряно-сухого ґрунту.

*Визначення міцності структури.* З отриманих фракцій роблять середній зразок масою 50 г. У неї беруть чверть маси кожної фракції. Агрегати розміром менше 0,25 мм в середню пробу не включають, фіксують тільки їх масу. Після того, як середня проба розподілена, її висипають у скляний циліндр і зволожують. Потім воду повільно переливають через край циліндра до тих пір, поки всі заповнювачі не стануть вологими. Зволожений зразок залишають на 10 хвилин, щоб повітря вийшло з агрегатів і заповнило водою всі пори ґрунту. Додають відро води, збирають набір сит з отворами діаметром 0,25, 0,5, 1, 2, 3 і 5 мм і занурюють їх у воду у відрі за допомогою рамки. Набір сит не повинен мати кришки та дна. Через 10 хвилин заповнюємо циліндр зі змоченими вузлами водою (вода повинна литися по стінці циліндра) і накрити циліндр склом так,

щоб виключити доступ повітря з циліндра. Потім беремо циліндр однією рукою за верхню частину і притиснемо пальцями до скла, а долонею іншої руки - до дна циліндра (рис. 2.11).

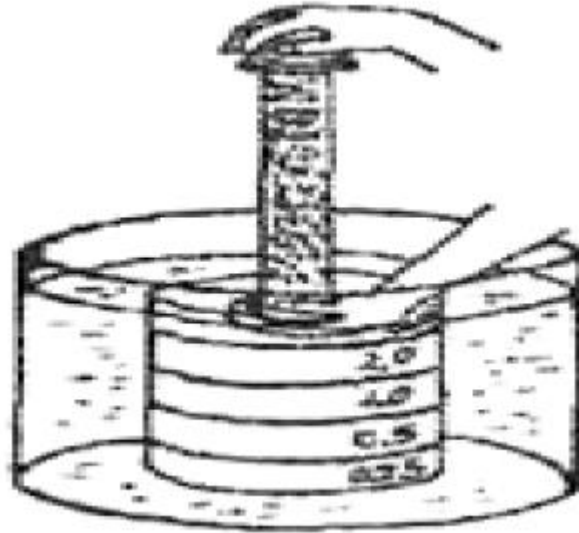


Рис. 2.11. Визначення довговічності конструкції.

Тримаємо циліндр таким чином 10 разів. Кожного разу перевертаючи циліндр, чекаємо, поки основна маса збірок не осяде на дно циліндра. Коли циліндр закінчив перевертання, занурюємо його у воду над ситами і виймаємо скло. Через 40-60 секунд циліндр знову накривають склом, виймають з води, перевертають дном донизу і ставлять на стіл. Набір сит повільно піднімаємо на поверхню води (до появи краю верхнього сита), а потім різко занурюємо на дно. Так зробити 10 разів. Потім, не виймаючи набір сит з води, виймаємо верхні сита з отворами 5 мм і 3 мм. Решту сит піднімаємо і занурюємо ще 5 разів. Коли просіювання завершено, піднімаємо сита і чекаємо, поки вода стече. Міцні агрегати з кожного сита змивали на окремі металеві пластини, які потім висушували при 105 °С в сушильній шафі до постійної ваги. Фракції охолоджували і зважували. Розраховано та підсумовано відсотковий вміст міцних заповнювачів.

*Визначення викидів CO<sub>2</sub> та температури ґрунту.*

Дослідження викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та визначення температури ґрунту проводяться в трьох повтореннях на кожному полі після обробітку ґрунту

(за винятком прямого посіву). Одне дослідне поле повинно складатися з п'яти систем обробітку ґрунту різної інтенсивності:  $P_G$  – звичайна глибока оранка,  $P_S$  – мілка оранка,  $GK$  – глибоке культиваторне розпушування,  $L$  – мілкий дисковий обробіток,  $PC$  – ротаційний посів.

Для дослідження викидів  $CO_2$  та температури ґрунту використовували «PasPort» рис. 2.12.



Рис. 2.12. Визначення вмісту  $CO_2$  та температури ґрунту.

На початку кожного дослідження, з метою отримання точних результатів тестування, аналізатор калібрували (рис. 2.13). Після калібрування аналізатор встановлювали на зонд. На наконечник зонду надягався спеціальний кожух, щоб запобігти впливу на аналізатор інших приладів під час досліджень викидів  $CO_2$  сторонніми газами або зміною швидкості вітру під час аналізу, щоб розсіювався на поверхні ґрунту газ  $CO_2$ , що виділяється.



Рис. 2.13. Датчик для вимірювання викидів  $CO_2$ .

Аналізатор розміщували на ґрунті та вмикали на 5 хвилин. На кожному полі миттєві вимірювання потоку вуглекислого газу проводилися в трьох різних

точках через 5 хвилин після обробітку ґрунту. Зареєстровані дані про вміст вуглекислого газу зберігаються в аналізаторі в реєстраторі даних. До аналізатора підключено датчик вимірювання температури (рис. 2.14), який вимірює температуру верхнього шару ґрунту (0-10 см).



Рис. 2.14. Датчик для вимірювання температури ґрунту

Після підключення аналізатора до комп'ютера дані, що зберігалися на накопичувачі, були перенесені на комп'ютер і статистично оброблялися.

Дані були оброблені за допомогою дисперсійного аналізу. Достовірність даних оцінювали за F-критерієм Фішера.

a, b, c, d, e, f, h - відсутні середні значення між показниками стовпчиків, позначених однією і тією ж літерою статистично значуща різниця на 95% довірчому рівні.

Економічна та експлуатаційна оцінка була проведена для трактора потужністю 67 кВт, плуга (робоча ширина захвату 1,40 м), глибокорозпушувача (робоча ширина 2,5 м), дискової борони (робоча ширина захвату 3,0 м), комбінований культиватор і борона (ширина захвату 5,0 м), звичайна сівалка (робоча ширина захвату 4,0 м), звичайна сівалка (робоча ширина захвату 3,0 м). Вся сільськогосподарська техніка була придбана в лізинг на 10 років під 9% річних.

Розраховуються фіксовані витрати на рік  $i_p$ :

$$i_p = N + i_{kap} + i_{dr}. \quad (2.1)$$

де  $i_{dr}$  - витрати на обов'язкове страхування техніки  $L_t$  рік<sup>-1</sup>;

$i_{kap}$  - капітальні видатки на придбання техніки  $L_t$  рік<sup>-1</sup>;

$N$  - амортизація машини  $L_t$  рік<sup>-1</sup>.

Знос сільськогосподарської техніки  $N$ :

$$N = \frac{\check{S}_i - \check{S}_l}{t_N}, \quad (2.2)$$

де,  $\check{S}_i$  - ціна придбання машини в грн;

$\check{S}_l$  - ліквідаційна вартість машини (10% від  $\check{S}_i$ ), грн;

$t_N$  - амортизаційний період машини, коли машина є новою  $t_N = 10$  років.

Капітальні витрати на придбання машин та обладнання  $i_{kap}$ :

$$i_{kap} = \frac{\check{S}_i \cdot i_{kred}}{200}, \quad (2.3)$$

де  $i_{kred}$  - відсоткова ставка на купівлю сільськогосподарської техніки у %.

Змінні (тимчасові) витрати  $i_k$  ( $L_t$  га<sup>-1</sup>) кошторис на експлуатацію техніки з урахуванням витрат на: паливно-мастильні матеріали, експлуатаційні витрати, заробітну плату, ремонт та технічне обслуговування, ремонт та оновлення.

Економіко-енергетична оцінка проводилась шляхом розрахунку продуктивності машин ( $h$  га<sup>-1</sup>), швидкості ( $L_t$  га<sup>-1</sup>), витрати палива ( $л$  га<sup>-1</sup>). Результати порівнювалися за п'ятьма різними технологіями обробітку ґрунту та посіву:

I – звичайний посів у ґрунт, оброблений глибокорозпушувачем та комбінованим культиватором;

II – звичайний посів на ґрунті, обробленому мілким плугом та комбінованим культиватором;

III – звичайний посів на ґрунті, розпушеному глибокорозпушувачем та комбінованим культиватором;

IV – звичайний посів на ґрунті, обробленому дисковою бороною та комбінованим культиватором;

V – посів ріпаку по повністю необробленому ґрунту.

### РОЗДІЛ 3

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

##### *Щільність ґрунту перед осіннім обробітком.*

Щільність є ключовим показником фізичного стану ґрунту і є величиною, що швидко змінюється. Залежно від вологості ґрунту, тиску, який чиниться технікою під час робочих процесів та різних практик обробітку ґрунту, вона може змінюватися в межах 30-40 %. Деякі автори вказують, що оптимальна щільність ґрунту коливається між 1,2 і 1,4  $\text{Mg m}^{-3}$ . Дослідники ґрунтів припускають, що 1,35  $\text{Mg m}^{-3}$  є критичною межею, і як надто висока, так і надто низька щільність ґрунту є несприятливою для ґрунту. Аналізом експериментальних даних встановлено, що щільність ґрунту у верхньому шарі (глибина 0-10 см) до обробітку варіювала від 1,4 до 1,5  $\text{Mg m}^{-3}$ . Найщільнішими були ґрунти, де використовували глибокорозпушувач (ДРК) – 1,5  $\text{Mg m}^{-3}$  та ротаційну сівалку (РС) - 1,46  $\text{Mg m}^{-3}$ . Найнижча щільність була виявлена в неглибоко зораних ґрунтах із середнім показником 1,43  $\text{Mg m}^{-3}$ . Щільність ґрунту у верхньому шарі практично відповідала рекомендованій щільності ґрунту для умов України в межах від 1,3 до 1,6  $\text{Mg m}^{-3}$  (рис. 3.1).

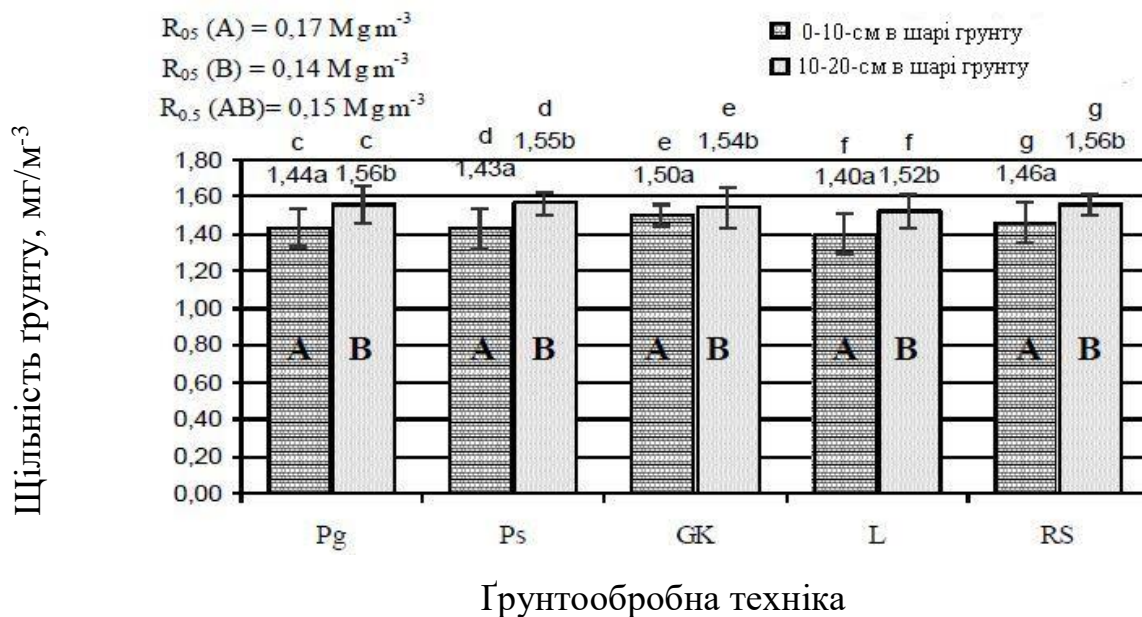


Рис. 3.1. Щільність ґрунту перед осіннім обробітком



Щільність ґрунту в глибших шарах на глибині 10-20 см була приблизно на  $0,10 \text{ мг/м}^{-3}$  вищою, ніж у верхніх шарах. Щільність ґрунту варіювала від  $1,52$  до  $1,56 \text{ мг/м}^{-3}$  в ґрунтах, оброблених різними ґрунтообробними машинами. Найщільніші ґрунти були виявлені там, де застосовували звичайну глибоку оранку (Pg) та раціональну сівбу (RS). Найнижча щільність була виявлена в ґрунті, обробленому дисковою бороною (L) -  $1,52 \text{ мг/м}^{-3}$ . Значні відмінності між різними ґрунтообробними (глибина 0-20 см) не було виявлено.

*Вплив ґрунтообробних машин на щільність ґрунту після зяблевого обробітку.*

Під час і після осіннього обробітку ґрунту на нього випали рясні опади. Експериментальні випробування можна було повторити лише через чотири дні після того, як у ґрунті з'явилася вода. Результати випробувань. На результати впливали фактори навколишнього середовища (опади). Експериментальні дані щільність верхнього шару ґрунту (глибина 0-10 см) після зяблевого обробітку в різних варіювала від  $1,33$  до  $1,45 \text{ мг/м}^{-3}$  (рис. 3.2).

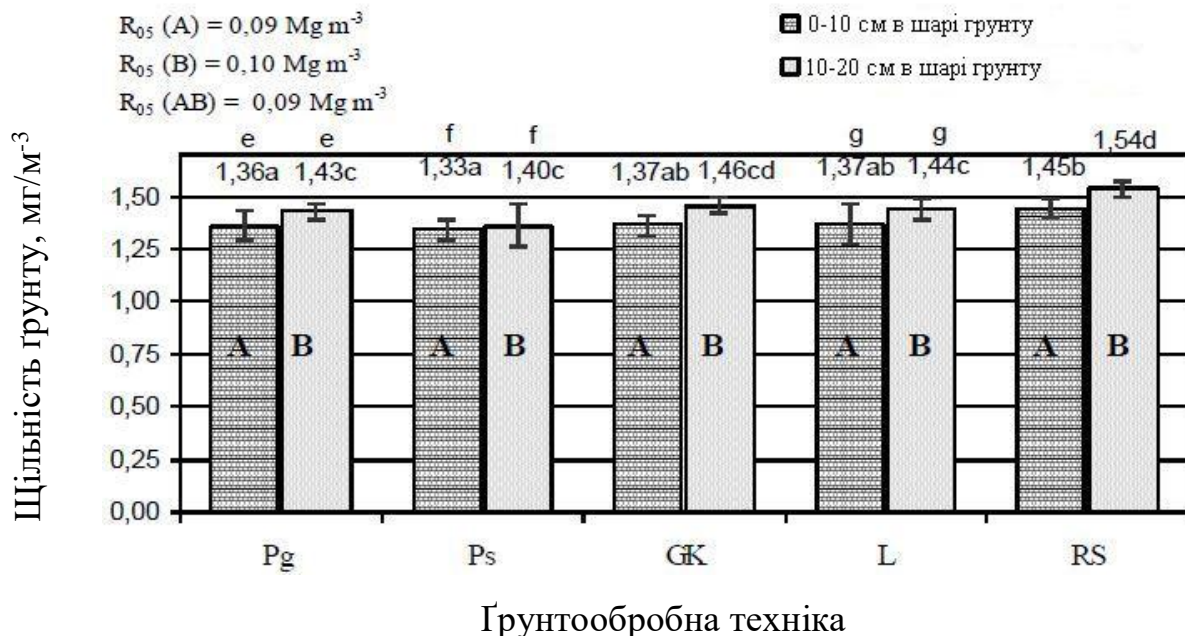


Рис. 3.2. Щільність ґрунту після осіннього обробітку

Найвища та найнижча щільність на глибині 0...10 см була виявлена відповідно в ґрунтах, де без обробітку (RS)  $1,45 \text{ мг/м}^{-3}$  та мілкої оранки  $1,33 \text{ мг/м}^{-3}$ . Різниця є суттєвою. На решті ґрунтів щільність варіювала від  $1,36$  до  $1,37$

мг/м<sup>-3</sup>, причому суттєві відмінності були виявлені там, де використовувався плуг (Pg). Аналогічні результати були отримані для орного шару 10-20 см. шару. Щільність ґрунту, зораного мілким плугом (1,40 мг/м<sup>-3</sup>), була на 10 % нижчою, ніж ніж у повністю необробленому посіві (1,54 мг/м<sup>-3</sup>).

Були виявлені значні відмінності між різними варіантами обробітку ґрунту (глибина 0-20 см) на ґрунтах, де використовувалися ротаційна сівба (RS) та глибоке розпушення (ГК).

#### *Щільність ґрунту перед весняним обробітком.*

Період з осені до другої половини весни 2022-2023 років був особливо вологим і прохолодним. Осінь була дощовою, а зима холодною, з рясними снігопадами на шар ґрунту. Навесні ґрунт сильно прогрівся, а рясні опади ущільнили весь шар орного шару. Найвища щільність була виявлена в глибоко зораному ґрунті (Pg) - 1,54 мг/м<sup>-3</sup> (рис. 3.3). Порівняно з результатами (глибина 0-10 см), отриманими після зяблевого обробітку ґрунту, щільність глибоко зораного ґрунту після зими збільшилася на 13,3 %. Щільність глибокорозпушеного ґрунту перевищувала щільність глинистого суглинку та глини з високим вмістом глини з високою межею ущільнення > 1,50 мг/м<sup>-3</sup>. Найнижча щільність була виявлена в ґрунтах з мілкою оранкою (Ps) 1,44 мг/м<sup>-3</sup>. На глибинах 0-10 см значних відмінностей не виявлено.

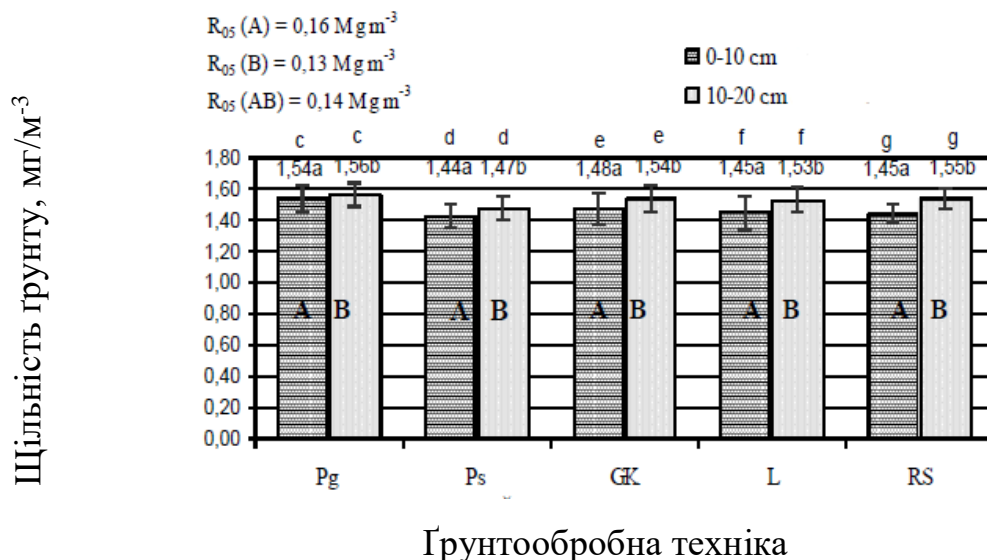


Рис. 3.3. Щільність ґрунту перед весняним обробітком



Найвищу щільність ґрунту в глибших шарах на глибині 10-20 см традиційно мали глибоко виораний (Pg) ґрунт, із середнім значенням  $1,56 \text{ мг/м}^3$ . Найнижча щільність була відповідно у мілко зораному ґрунті (Ps) -  $1,47 \text{ мг/м}^3$ . Щільність решти ґрунтів варіювала від  $1,53$  до  $1,55 \text{ мг/м}^3$ . Значних відмінностей не виявлено.

*Вплив ґрунтообробних машин на щільність ґрунту після весняного обробітку.*

Весну 2023 року було важко передбачити. Після весняного обробітку ґрунту на ґрунті протягом весни випали рясні дощі. Експериментальні випробування можна було повторити лише через сім днів. На результати вплинули фактори навколишнього середовища (кількість опадів, температура). Експериментальні дослідження, проведені після весняного обробітку ґрунту, показали, що щільність ґрунту у верхньому шарі змінювалася від  $1,39$  до  $1,45 \text{ мг/м}^3$  (рис. 3.4).

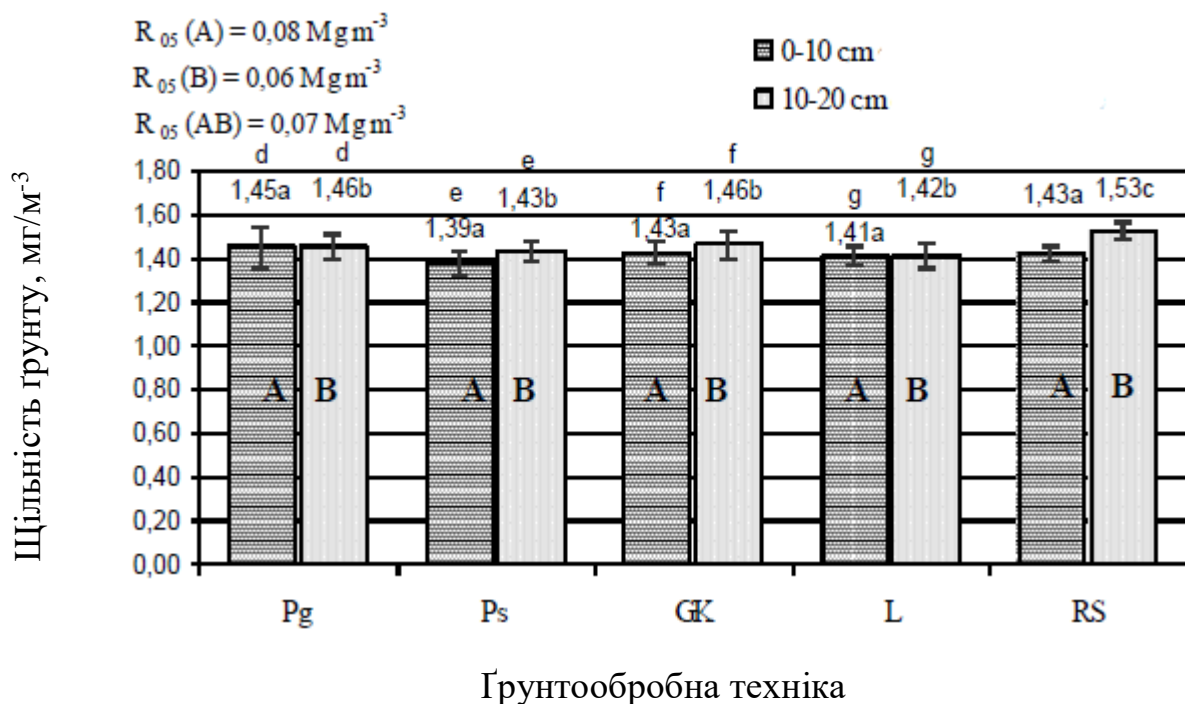


Рис. 3.4. Щільність ґрунту після весняного обробітку

Найвища щільність була виявлена в традиційно глибоко зораному ґрунті ( $1,45 \text{ мг/м}^3$ ). Найнижча щільність була виявлена в неглибоко зораному ґрунті ( $1,39 \text{ мг/м}^3$ ). Відмінності не були суттєвими. Найвища і найнижча щільність у

глибших шарах (глибина 10-20 см) було виявлено відповідно в повністю необробленому ґрунті сівозміни (RS) ( $1,53 \text{ мг/м}^{-3}$ ) і де використовувався мілкий розпушувач (дискова борона) ( $1,42 \text{ мг/м}^{-3}$ ). Для решти ґрунтів варіював між  $1,43$  і  $1,46 \text{ мг/м}^{-3}$ . Відмінності між ґрунтами сівалки (глибина 10-20 см) та ґрунтами, посіяними сівалкою (глибина посіву 10-20 см) з ґрунтами, посіяними іншими машинами (Pg, Ps, GK, L), були значними.

*Вологість ґрунту перед осіннім обробітком.*

Належне підтримання параметрів вологості ґрунту на важких ґрунтах, особливо важлива для проростання і розвитку рослин, а також для технологічних заходів, таких як обробіток ґрунту тощо. Наприкінці вегетації у верхньому 0-10 см шарі ґрунту шарі ґрунту вміст води змінювався від 18,85 до 22,43 %. Найвищий вміст води був у повністю необробленому ґрунті (РС) (22,43 %). (RS) ґрунті (22,43 %). Найсухіший ґрунт був виявлений там, де застосовувався традиційний обробіток ґрунту плуг (18,85 %). Відмова від глибокої полицевої оранки призвела до вищого вмісту води в з повністю необробленого ґрунту (НГ) випаровувалася повільніше. Різниця була суттєвою (рис. 3.5).

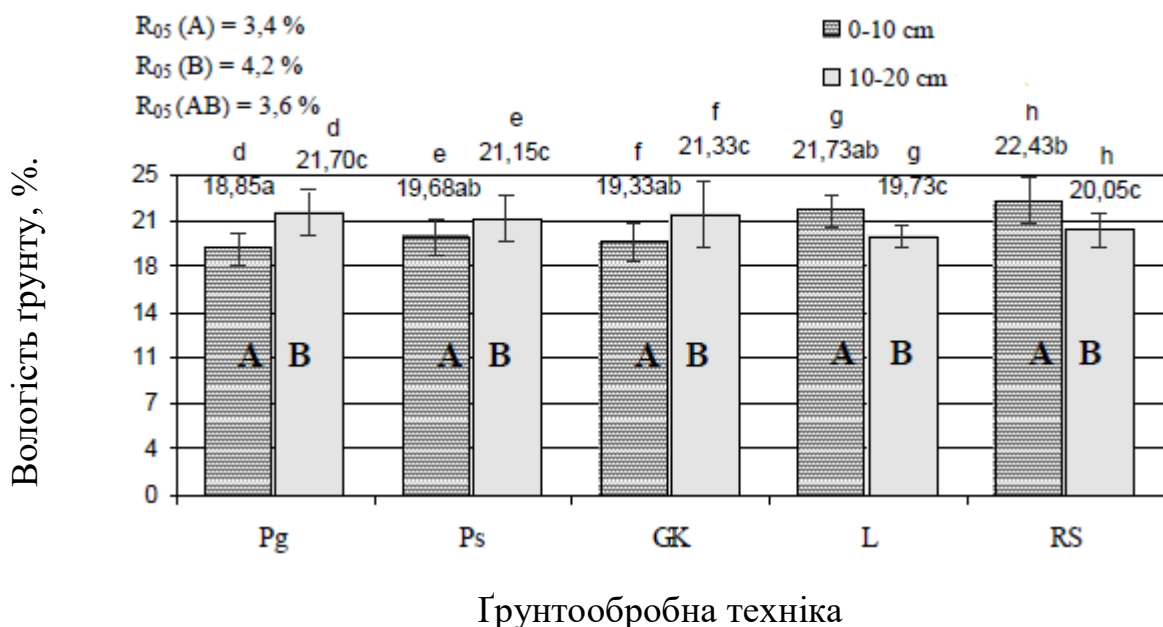


Рис. 3.5. Вологість ґрунту перед осіннім обробітком.

У глибших шарах ґрунту на глибині 10...20 см вміст води варіював від 19,73 до 21,70 %. Найнижчий і найвищий вміст води був виявлений у мілкому

дисковому ґрунті (19,73 %) і в глибоко зораних ґрунтах (21,70 %). Суттєвих відмінностей не виявлено.

*Вплив ґрунтообробної техніки на вологість ґрунту після зяблевого обробітку.*

Минула осінь 2022 року була дуже вологою та дощовою. Під час і після обробітку ґрунту і після культивації на ґрунт випали сильні опади, і на отримані результати вплинули фактори навколишнього середовища. Найвища вологість верхнього шару ґрунту була виявлена в ґрунтах з використанням нульового обробітку (GK, L) 29,15 - 29,52 %. Найнижчий вміст води був виявлений у глибоко виораних ґрунтах (Pg), в середньому 24,35 %. Різниця є суттєвою (рис. 3.6).

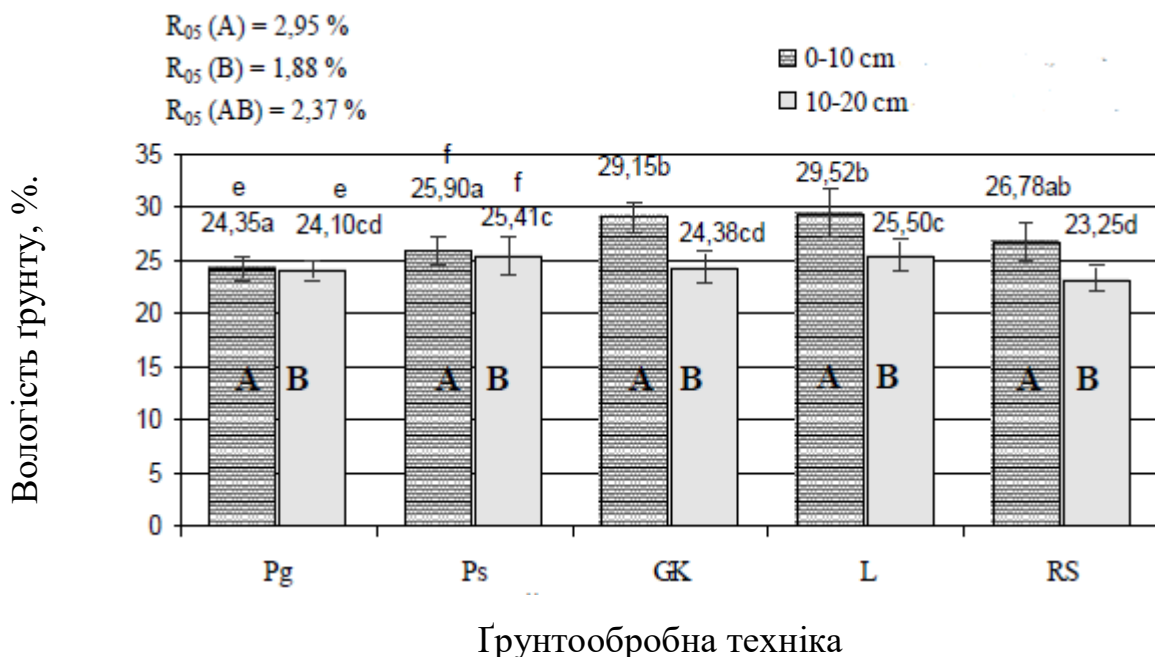


Рис. 3.6. Вологість ґрунту після зяблевого обробітку

Вологість ґрунту на глибині 10-20 см змінювалася від 23,25 до 25,50 % у варіантах, оброблених різними ґрунтообробними машинами. Найвищий вміст води був виявлений у ґрунті, обробленому дисковою бороною (L). Найнижчий вміст води становив 23,25 % у повністю необробленому ґрунті.

Було виявлено значні відмінності між різними варіантами обробітку ґрунту (глибина 0-20 см) на ґрунтах, де використовувалися агрегати no-till (GK, L, RS).

*Вологість ґрунту перед весняним обробітком.*

Минула весна 2023 року була пізньою і прохолодною. Дослідження передвесняного обробітку ґрунту показали, що найсухішими були ґрунти глибокого (Pg) та мілкового (Ps) плужного обробітку (18,98 % - 19,45 %). Це свідчить про те, що ґрунт збагачений органічними рештками, що призводить до більшої кількості повітряних пор, меншої капілярності та накопичення вологи протягом зимового та весняного періодів. Найвищий вміст вологи був виявлений у ґрунті з посіву (25,75 %). Різниця була суттєвою (рис. 3.7).

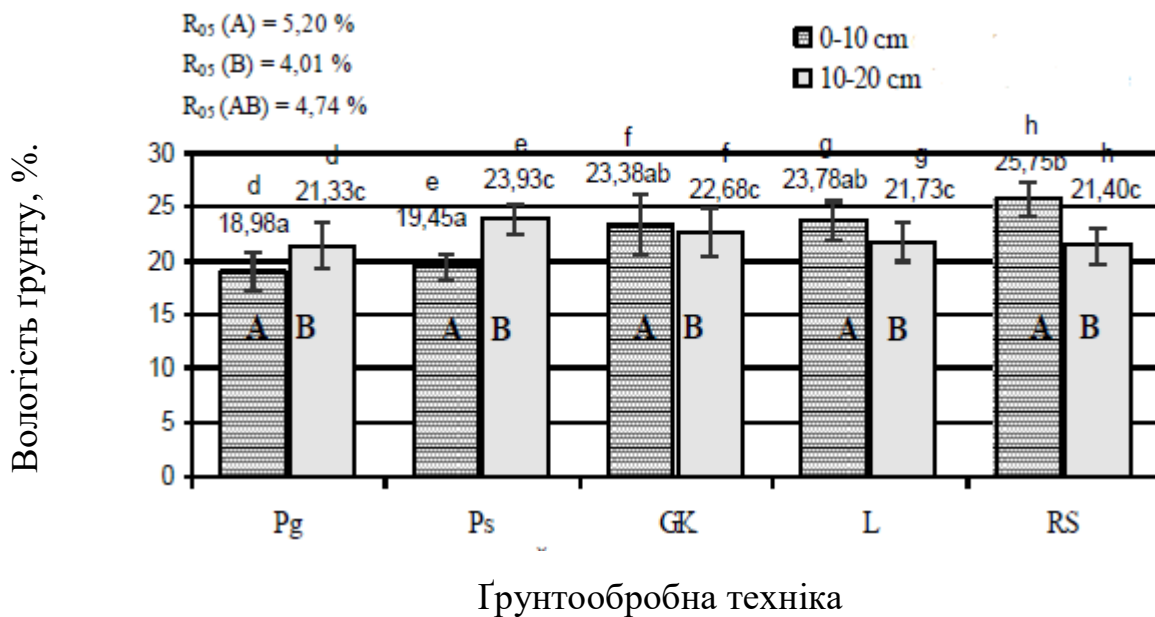


Рис. 3.7. Вологість ґрунту перед весняним обробітком

Вологість ґрунту в глибших шарах на глибині 10-20 см варіювала від 21,33 до 23,93 %. Найвищий вміст вологи був виявлений у мілко зораному ґрунті - в середньому 23,93 %. Найнижчий вміст вологи був виявлений у традиційному глибоко виораному ґрунті (Pg). Не було виявлено суттєвих відмінностей між різними ґрунтообробними машинами на глибині 0-20 см.

*Вплив ґрунтообробної техніки на вологість ґрунту після весняного обробітку.*

Після весняного обробітку ґрунту на ньому випали рясні опади. Експериментальні дослідження були повторені через сім днів після того, як ґрунт почав відновлюватися, і на результати впливали фактори навколишнього середовища (опади, температура). Вміст вологи в ґрунті варіював від 21,90 до

25,28 % в експериментальних даних (на глибині 0-10 см). Ґрунти були вологішими (в середньому на 2,7 %) у варіантах з використанням агрегату no-till. Розстелена солома виконувала роль мульчі та утримувала вологу, необхідну для проростання насіння, протягом тривалого періоду часу, захищаючи поверхню ґрунту від пересихання. Основні відмінності були між звичайним (Pg) та стерньовим (рис. 3.8).

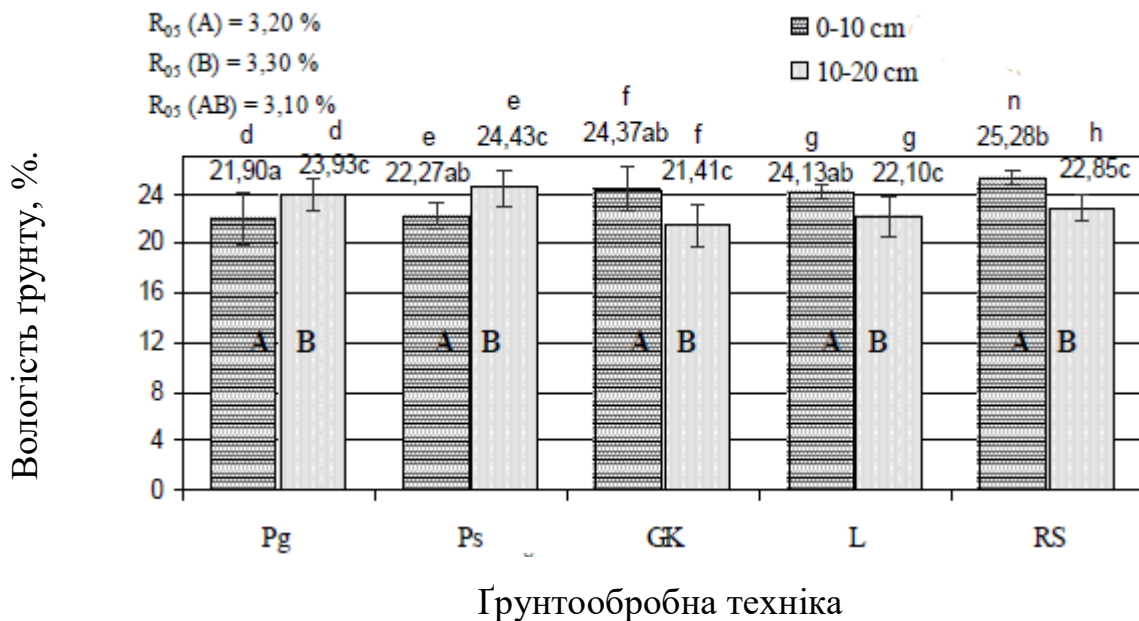


Рис. 3.8. Вологість ґрунту після весняного обробітку

Ґрунти з меншим вмістом води на глибині 10-20 см виділялися застосуванням глибокого обробітку ґрунту культиватора (ГК) та дискової борони (Л). Глибокі та мілкі розпушувачі порушували водяні капіляри, що призвело до зменшення надходження води з глибших шарів. Найвищий вміст води після весняного обробітку було виявлено в мілко зораному ґрунті (Ps), в середньому 24,43 %. Суттєвих відмінностей між різними ґрунтообробними машинами (глибина обробітку 0-20 см) не виявлено.

*Вплив ґрунтообробної техніки на викиди  $CO_2$  та температуру ґрунту після осіннього обробітку обробіток ґрунту.*

Обробіток ґрунту, внесення органічних і мінеральних добрив сприяють викидам поверхневого  $CO_2$ . Метеорологічні умови та вологість ґрунту також впливають на виділення вуглекислого газу. Дослідження показали, що найвищі

середні викиди  $\text{CO}_2$  на  $1 \text{ м}^2$  ґрунту традиційно спостерігаються з глибокою обробкою 11281 проміле, а найнижчий - у ґрунті, що обробляється за традиційною глибокою оранкою (Pg), - 7201 проміле. Традиційно глибоко зорані ґрунти (Pg) мали значно вищі викиди  $\text{CO}_2$  порівняно з ґрунтами за ґрунтозахисного обробітку (Ps, GK, L, RS) (Рис. 3.9).



Рис. 3.9. Миттєві викиди  $\text{CO}_2$  після осіннього обробітку ґрунту на  $1 \text{ м}^2$  ґрунту.

У прохолодному та вологому кліматі швидкість викидів  $\text{CO}_2$  визначається температурою ґрунту. Зміни температури ґрунту визначаються тепловими потоками в ґрунті (рис. 3.10).

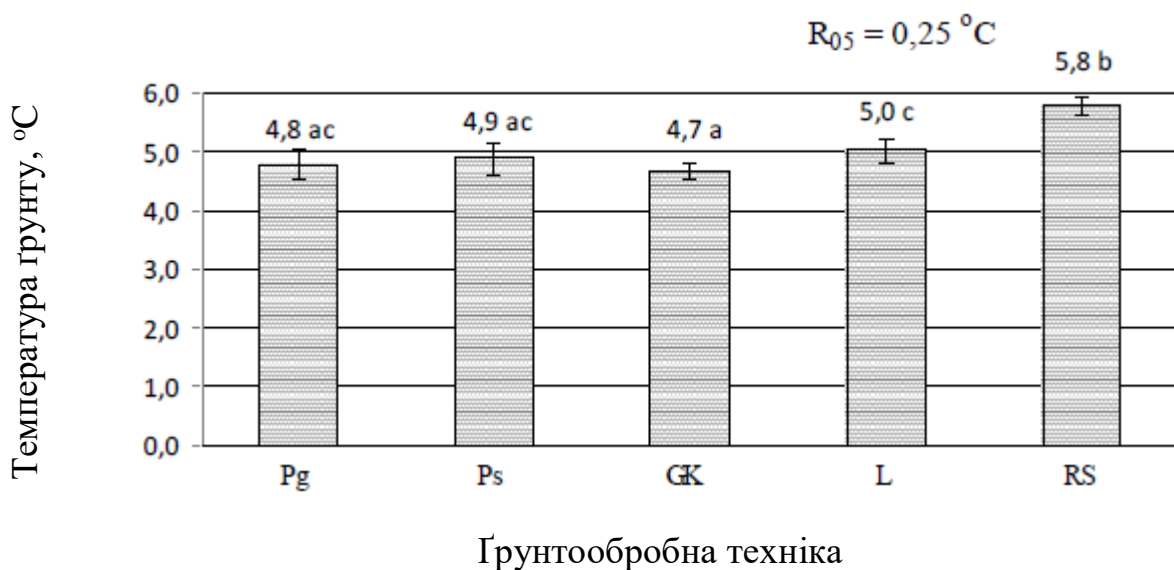


Рис. 3.10. Температура ґрунту після осіннього обробітку

Середня максимальна температура (глибина 0-10 см) у верхньому шарі була у ґрунті, засіяному ротаційною сівалкою, а найнижчою - у ґрунті, обробленому глибокорозпушувачем (GK). Істотні відмінності були виявлені в ґрунтах, де не проводився обробіток. Грубий ґрунт (RS) довше зберігав тепло восени.

Викиди CO<sub>2</sub> та температура ґрунту перед весняним обробітком.

Дослідження показали, що найвищі середні викиди CO<sub>2</sub> з ґрунту були у неглибоко зораному ґрунті (Ps) - 21442 проміле, найнижчі - на повністю необроблених орних землях (RS) засіяному ґрунті, з середнім значенням 17477 проміле (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Миттєві викиди CO<sub>2</sub> перед весняним обробітком ґрунту на 1 м<sup>2</sup> ґрунту.

Традиційно, глибоко та мілко зорані ґрунти мали значно вищі викиди CO<sub>2</sub> порівняно з ґрунтами, обробленими дисковими боронами та ротаційною сівалкою. Спрощення або повна відмова від інтенсивності обробітку ґрунту зменшує викиди CO<sub>2</sub> з ґрунту навесні.

Як зазначає J.K. Radke (1982), вологість і температура ґрунту тісно пов'язані між собою величини. Україна розташована в поясі надмірних опадів, де опадів випадає більше, ніж випаровується. Вологий ґрунт має високу теплоємність, тому для його прогрівання потрібно більше тепла, ніж



випаровування води, що міститься в ґрунті. Минула зима була дуже холодною, і на ґрунті випав товстий шар води. Ґрунт вкрився товстим шаром снігу. Після того, як сніг розтанув, вологий ґрунт повільно прогрівався навесні (рис. 3.12).

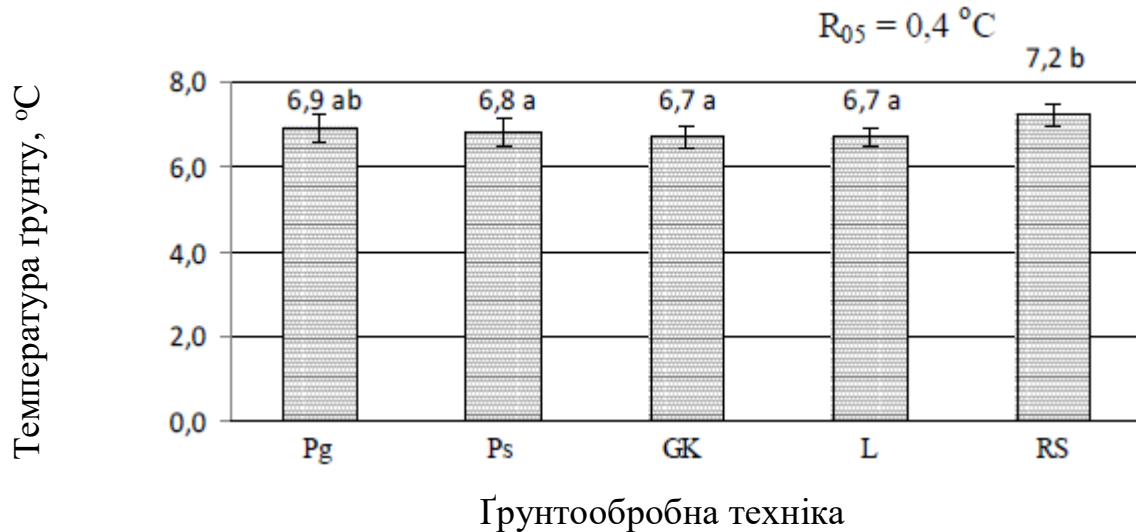


Рис. 3.12. Температура ґрунту перед весняним обробітком

На ґрунтах, оброблених різними машинами, температура суттєво відрізнялася там, де обробіток ґрунту не проводився. Найвища температура (глибина 0-10 см) була виявлена в посівному шарі ґрунту (RS) (7,2 °C). Найнижчі температури були зафіксовані при обробці глибокорозпушувачем і дисками (6,7 °C).

Вплив ґрунтообробної техніки на викиди CO<sub>2</sub> та температуру ґрунту після весняного обробітку ґрунту.

Погода в травні була прохолодною і дощовою. Деякі автори стверджують, що дощ зменшує CO<sub>2</sub> і викиди вуглекислого газу не досягають максимуму випаровування. Ґрунти, оброблені різними ґрунтообробними машинами, прогрівалися нерівномірно, а підвищена мікробіологічна активність у ґрунті збільшила виділення CO<sub>2</sub> в навколишнє середовище (рис. 3.13).



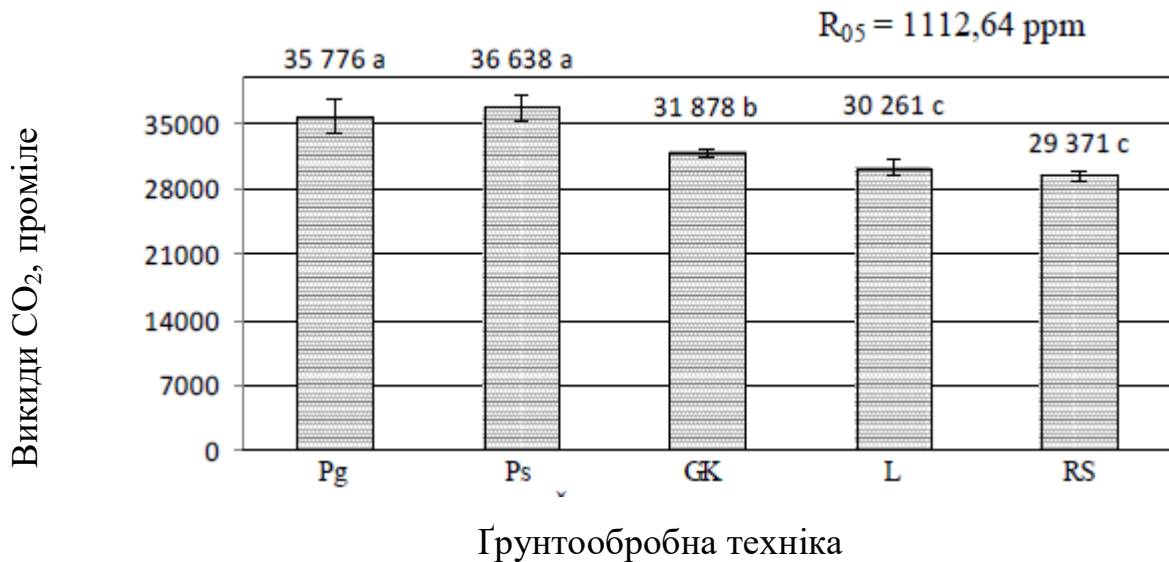


Рис. 3.13. Миттєві викиди CO<sub>2</sub> після весняного обробітку ґрунту на 1 м<sup>2</sup> ґрунту

Найвищі середні викиди CO<sub>2</sub> на 1 м<sup>2</sup> ґрунту були виявлені при мілкій оранці плугом (Ps) ґрунту - 36638 проміле, а найнижчі - у ґрунті з посівною осокою (RS) - в середньому 29371 проміле. Орані (Pg, Ps) ґрунти мали значно вищі викиди CO<sub>2</sub> порівняно з ґрунтами. Ефект від обробітку ґрунту безвідвальними машинами був значно вищим. Відмова від плужного обробітку ґрунту з ґрунту виділялося в середньому на 5703 проміле менше газу CO<sub>2</sub>.

Весняний обробіток ґрунту призвів до швидшого прогрівання ґрунту та вищої температури на поверхні ґрунту (рис. 3.14).

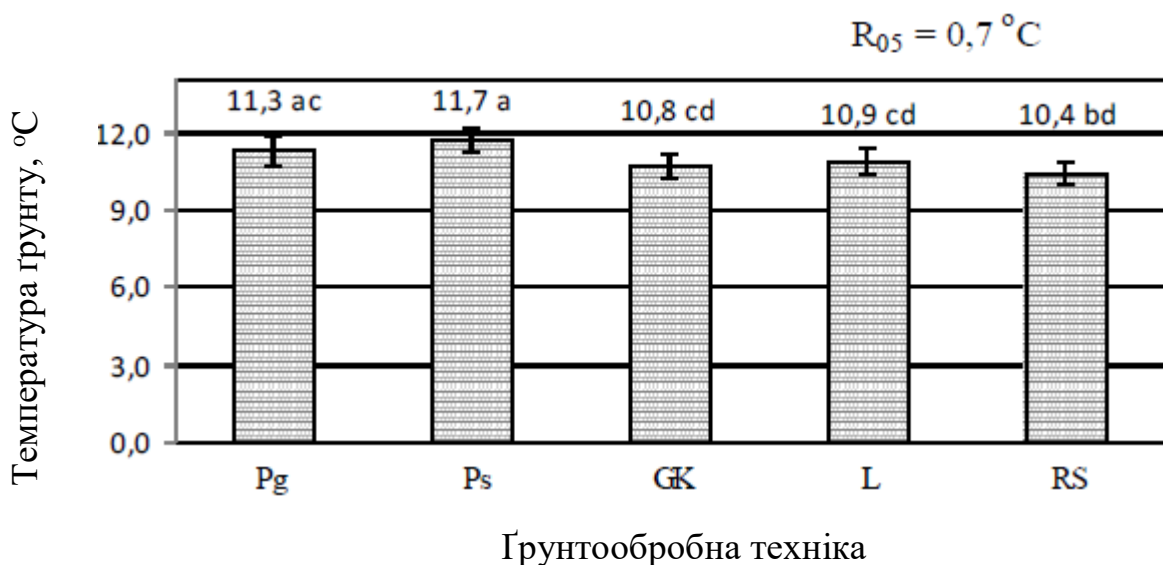


Рис. 3.14. Температура ґрунту після весняного обробітку

Підвищення температури ґрунту є більш вираженим навесні. Це пояснюється кращою фільтрацією прогрітої води в ґрунт і меншою вологістю верхніх шарів. Найвища середня температура на глибині 0-10 см була виявлена на ділянках з мілкою (11,7 °С) та глибокою оранкою (11,3 °С), ґрунтах (11,3 °С), а найнижча - у висадженому ґрунті (10,4 °С). Різниця була суттєвою.

*Луцання ґрунту перед осіннім обробітком.*

При традиційному обробітку ґрунту плуги утворюють ущільнений шар ґрунту, тобто орний шар. Орний шар утворюється внаслідок оранки на однакову глибину з року в рік і проходження колесами трактора по борозні. Ущільнений верхній шар ґрунту знижує продуктивність рослин. Він перешкоджає глибокому проникненню коріння рослин, перешкоджає доступу коріння до мінеральних поживних речовин у глибших шарах ґрунту тощо.

У 2022 році перед осіннім обробітком ґрунту були проведені дослідження ґрунту на твердість. Експериментальні дослідження проводилися на глибині 45 см для оцінки змін твердості ґрунту при різних способах обробітку. P<sub>g</sub> - традиційна глибока оранка плугом (23-25 см), P<sub>s</sub> - мілка оранка плугом (12-15 см), GK - глибоке розпушування культиватором (30-40 см), L - мілке розпушування дисковою бороною (12-15 см), RS - посів ріпаку Раундовий посів (нульовий обробіток ґрунту) (рис. 3.15).

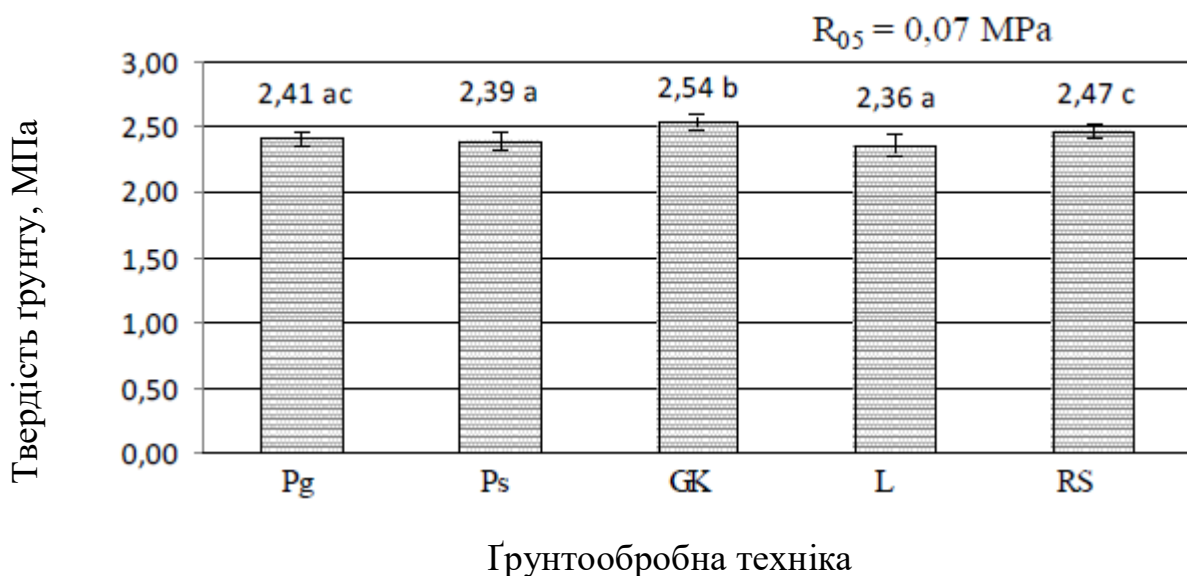


Рис. 3.15. Ґрунту перед осіннім обробітком ґрунту

Експериментальні дані показали, що твердість ґрунту змінювалася від 2,36 до 2,54 МПа. В кінці вегетаційного періоду найвища і найнижча міцність ґрунту була в глибокому і поверхневому шарах, відповідно у розпушених ґрунтах. Різниця була значною порівняно з ґрунтом, засіяним за ротаційної сівби (RS).

*Вплив ґрунтообробних машин на склад ґрунту після зяблевого обробітку.*

Фейза (2006) виявив, що твердість ґрунту неухильно зростає в міру того, як ґрунт "заглиблюється", причому найвища твердість була виявлена в ґрунтах, де використовувалися машини для нульового обробітку ґрунту. Експериментальні дані осіннього обробітку ґрунту (глибина 45 см) показали, що твердість ґрунту варіювалася від 2,16 до 2,46 МПа. Найвища твердість була виявлена в повністю необробленому ґрунті, який був на 13 % твердішим, ніж мілко (Ps) і на 11 % твердішим, ніж традиційно глибоко (Pg) зорані ґрунти. Різниця є суттєвою (рис. 3.16).

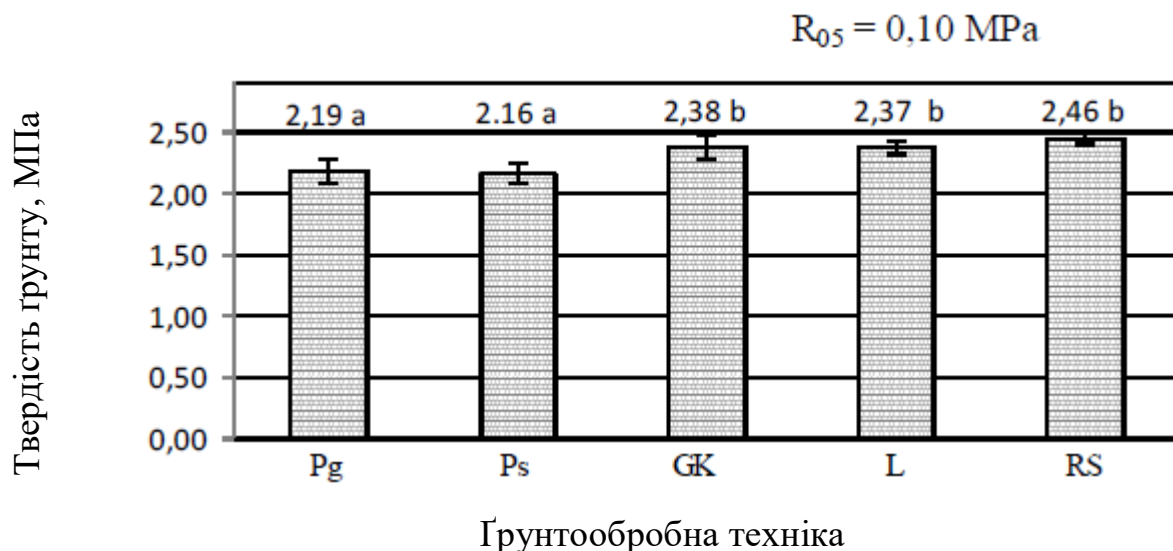


Рис. 3.16. Ґрунт після осіннього обробітку.

Спрощений обробіток ґрунту змінює фізичні властивості ґрунту: щільність, твердість тощо. Вища твердість ґрунту спостерігалася в ґрунтах з тим вище, чим більше ґрунт оброблявся безполицевими знаряддями (GK, L, RS). Різниця порівняно з ґрунтами, обробленими плугом була суттєвою.

*Луцнення ґрунту перед весняним обробітком.*

Збільшення твердості визначається розміром агрегатів, щільністю ґрунту та вмістом вологи. Чим менший діаметр ґрунтових агрегатів, тим вища твердість

грунту. Твердість зростає зі збільшенням щільності ґрунту або зменшенням вмісту вологи. В останній період 2022-2023 рр. з осені до другої половини весни переважали несприятливі метеорологічні умови. Рясні опади спричинили ущільнення всього орного шару ґрунту, що призвело до збільшення твердості ґрунту (рис. 3.17).

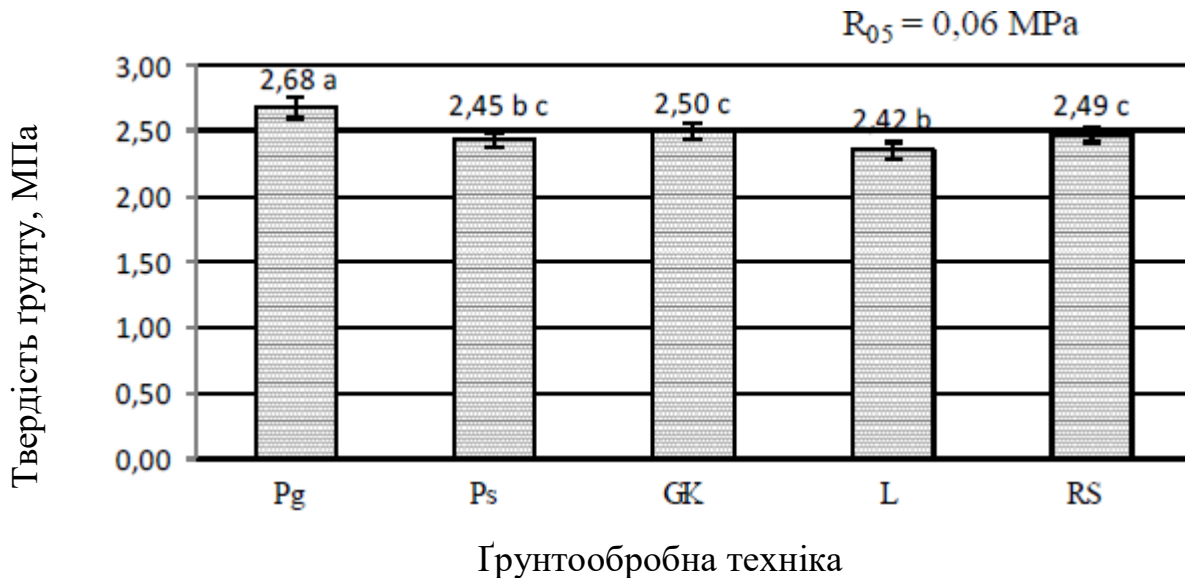


Рис. 3.17. Ґрунт перед весняним обробітком

Експериментальні дані показали, що К ґрунту на глибині 45 см змінювався від 2,42 до 2,68 МПа. Найвищі значення були виявлені в традиційно глибоко виораному ґрунті (Pg). Різниця з ґрунтами, обробленими іншими ґрунтообробними знаряддями, була суттєвою. Спрощення обробітку ґрунту або повна відмова від обробітку ґрунту може зменшити вплив факторів навколишнього середовища на твердість ґрунту.

*Вплив ґрунтообробних машин на склад ґрунту після весняного обробітку.*

Повторні експериментальні випробування (на глибині 45 см) після весняного обробітку ґрунту показали зміну межі міцності ґрунту на розрив від 2,22 до 2,45 МПа (рис. 3.18).

Найтвердіший ґрунт був виявлений у повністю необробленому ротаційному посіві, який був на 9,4% твердішим, ніж мілко зораний ґрунт і на 8,2% твердішим, ніж ґрунт, оброблений дисковою бороною. Технологічні заходи обробітку ґрунту зменшили твердість ґрунту. У мілко зораному (P) та

дискованому (L) ґрунтах показник твердості був значно нижчим, ніж у ґрунтах, де технологічний обробіток ґрунту включав повну відмову від оранки і використовували сівалку.

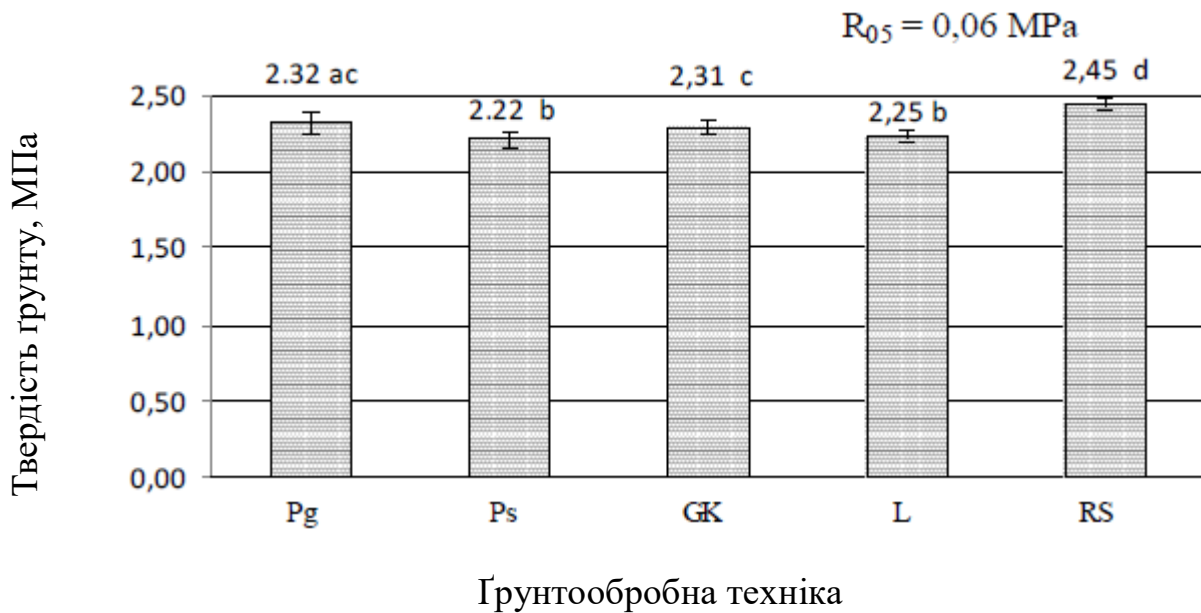


Рис. 3.18. Ґрунту після весняного обробітку

*Збереження структури ґрунту після осіннього обробітку.*

Хороші фізичні властивості ґрунту означають, що ґрунт має достатній вміст повітря і вологи. Структура ґрунту, а особливо кількість води та стійких до механічних впливів частинок (крихт), має велике значення для розвитку сприятливих ґрунтових умов. Найціннішою якісною характеристикою структурних частинок є їхня стійкість, яка захищає ґрунт від злипання і, як наслідок, утворення кірки внаслідок сильних опадів та інших атмосферних явищ, структурних частинок (рис. 3.19).

Результати показують, що кількість стійких частинок у ґрунті (глибина 0-25 см) наприкінці вегетації після обробітку ґрунту була низькою. Показано, що коріння рослин найкраще забезпечується киснем і водою, коли структуровані частинки становлять 70-80 % від загальної кількості. Найвищий вміст водостійких агрегатів був виявлений у повністю необробленому ґрунті сівозміни (RS), в середньому 48,64 %. Найнижчий - у мілко зораному ґрунті ((Ps), в середньому 26,30 %. Мілка оранка мала тенденцію до зменшення кількості

водостійких агрегатів. Різниця з грунтами, обробленими безвідвальними машинами, була суттєвою. Коли від зяблевої оранки відмовилися на користь плужного обробітку ґрунту за допомогою агрегатів no-till, кількість структурованих частинок у ґрунті була значно вищою.

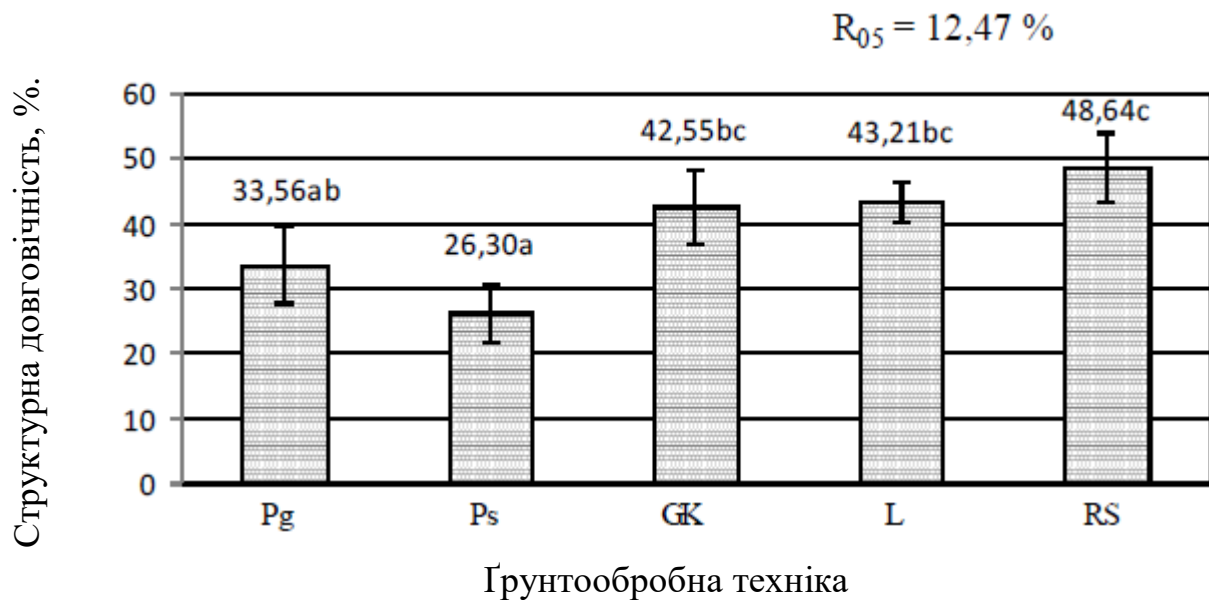


Рис. 3.19. Збереження структури ґрунту після зяблевого обробітку  
*Збереження структури ґрунту після весняного обробітку.*

У 2023 році зразки ґрунту були відібрані після весняного обробітку ґрунту на глибинах 0-15 та 15-25 см для визначення вмісту водостійких частинок у верхньому та нижньому шарах ґрунту (Рис. 3.20).

У верхніх шарах кількість водостійких крихт (глибина 0-15 см) варіювала від 55,06 до 72,15% при обробітку ґрунту різними машинами. Найнижчий вміст структурованих часток було виявлено в ґрунті, обробленому мілкою дисковою бороною (L) (55,13 %). Ґрунт, оброблений дисковою бороною, мав значно меншу структуру на глибині 0...15 см.

У глибших шарах ґрунту кількість водостійких частинок (на глибині 15-25 см) варіювала від 60,66 % до 69,45 % у різних варіантах обробки. Найстійкіший ґрунт був виявлений у повністю необробленому ґрунті – 69,45 % і в ґрунті, обробленому дисковими знаряддями – 68,43 %.

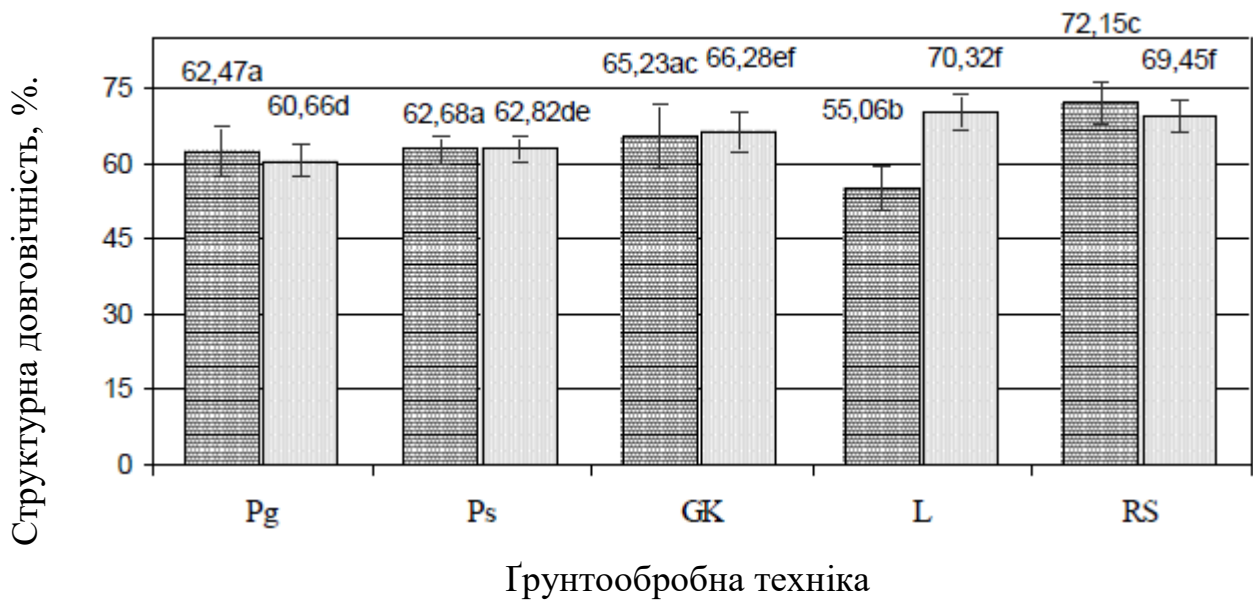


Рис. 3.20. Збереження структури ґрунту після весняного обробітку

Як у верхньому, так і в нижньому шарах ґрунту вміст водостійких частинок у повністю необробленому ґрунті сівозміни був близьким до оптимального і варіював від 72,15 до 69,45% відповідно. Повна відмова від обробітку збільшила вміст водостійких частинок у ґрунті, в той час як рослини були найкраще забезпечені водою і киснем.

#### *Економіко-експлуатаційна оцінка.*

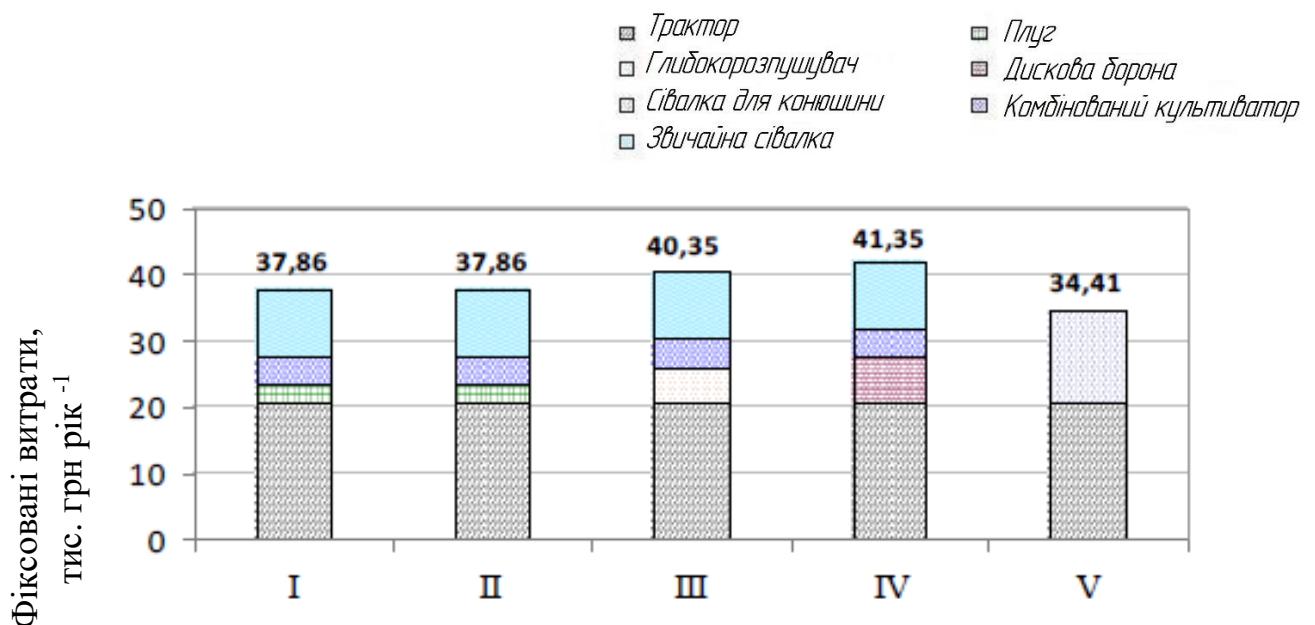
Аналіз різних технологій обробітку ґрунту та посіву показує, що ми будемо сіяти кукурудзи (без урахування подальших операцій з догляду за кукурудзою та збирання врожаю) необхідна наступна сільськогосподарська техніка: трактор; плуг; глибокорозпушувальний культиватор; дискова борона; комбінований культиватор з бороною; звичайна сівалка; ротаційна сівалка.

Для посіву на глибоких і неглибоких ґрунтах (I - II) потрібен трактор, плуг, комбінований культиватор і звичайна сівалка. Для посіву кукурудзи на глибоких пухких ґрунтах (III) потрібен трактор, глибокорозпушувальний культиватор, комбінований культиватор і звичайна сівалка. Для посіву в неглибокий пухкий ґрунт (IV) потрібен трактор, дискова борона, комбінований культиватор і звичайна сівалка. Для прямого посіву кукурудзи по стерні (V) потрібен трактор і стерньова сівалка.



Річні постійні витрати на експлуатацію сільськогосподарської техніки для різних технологій обробітку ґрунту та посіву, оцінені економіко-експлуатаційними розрахунками, становили: для трактора - 20,932 тис. євро, для сівалки - 20,932 тис. євро, відповідно. 20 2023 тис. грн. для трактора; 2 453 тис. грн для плуга. 2 745 тис. грн; культиватор для глибокого розпушування 4 945 тис. грн; плуг для культивації; 4 332 тис. грн; за культиватор для глибокого розпушування 10 150 тис. грн за звичайну сівалку LTL 13 485 тис.

Річні фіксовані витрати на експлуатацію сільськогосподарської техніки показані на рис. 3.21.



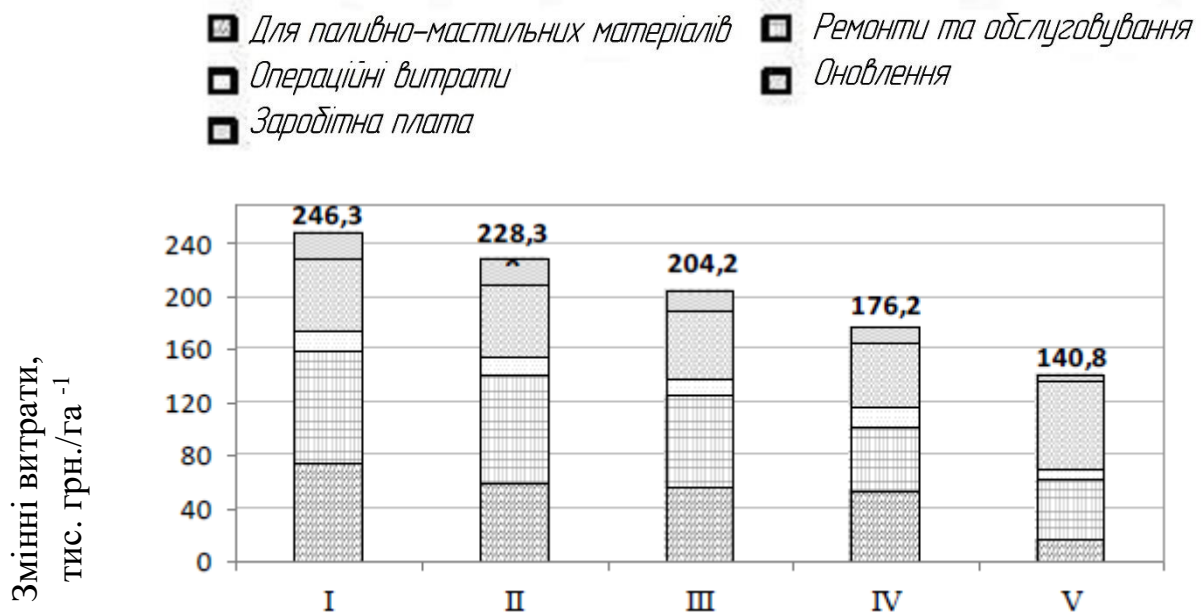
### Технології обробітку ґрунту та посіву

Рис. 3.21. Постійні витрати на ґрунтообробку та посівну техніку

Розрахунок постійних витрат на експлуатацію сільськогосподарської техніки показує, що найвищі та найнижчі витрати при сівбі на ґрунті, що обробляється дисковими боронами та комбінованим культиватором (IV) - 41 359, а при сівбі ротаційною сівалкою на ґрунті, що не оброблявся взагалі (V) - 34 417 тис. євро. рік<sup>-1</sup>.

Змінні витрати на експлуатацію сільськогосподарської техніки (Lt га<sup>-1</sup>) за різних технологій обробітку ґрунту та технології сівби визначалися з

урахуванням витрат на: паливно-мастильні матеріали, заробітну плату ремонт і технічне обслуговування, оновлення, експлуатаційні витрати (рис. 3.22).



### Технології обробітку ґрунту та посіву

Рис. 3.22. Змінні витрати на ґрунтообробну та посівну техніку

Оцінка змінних витрат на експлуатацію сільськогосподарської техніки показує, що найбільші витрати виникають при посіві на традиційно глибоко зораній і обробленій землі (I), в середньому 246,39 грн на га<sup>-1</sup>. Найнижчі операційні витрати виникають при посіві раціональною сівалкою 140,85 грн/га<sup>-1</sup>. Використання більш ефективних ґрунтообробних і посівних машин та поступовий поетапного переходу до прямого посіву, змінні витрати можна зменшити до 105,54 грн/ га<sup>-1</sup>.

#### *Економічно-енергетична оцінка.*

Основна мета екологічно чистих ґрунтообробних та посівних машин - захист ґрунту та навколишнього середовища, споживання енергії, а також прискорення операцій з обробітку ґрунту та посіву, що дозволяє знизити собівартість сільськогосподарської продукції.

Таблиця 3.1 – Економіко-енергетична оцінка для різних технологій обробітку ґрунту та сівби.

Технології обробітку ґрунту та посіву	Основний та передпосівний обробіток ґрунту					Посівний матеріал		Загальні витрати на обробіток ґрунту та посів
	Оранка 23-25 см	Оранка 12-15 см	Розпушування міжрядь на 30-40 см	Неглибоке розпушування дисками 13-15 см	Культивація 5-8 см	Звичайний посів	Посів врожаю	
Урожайність (ц/га <sup>-1</sup> ) за різних технологій обробітку ґрунту та посіву								
I	0,78	-	-	-	0,29	0,32	-	1,37
II	-	0,72	-	-	0,29	0,32	-	1,31
III	-	-	0,52	-	0,29	0,32	-	1,11
IV	-	-	-	0,39	0,29	0,32	-	0,98
V	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
Витрати пального (л/га <sup>-1</sup> ) для різних технологій обробітку ґрунту та посіву								
I	23,5	-	-	-	5,8	3,8	-	32,9
II	-	20,56	-	-	5,8	3,8	-	29,8
III	-	-	15,82	-	5,8	3,8	-	25,3
IV	-	-	-	7,81	5,8	3,8	-	17,21
V	-	-	-	-	-	-	7,3	7,31
Норма витрати (т/га <sup>-1</sup> ) для різних технологій обробітку ґрунту та посіву								
I	153	-	-	-	48	62	-	261
II	-	135	-	-	48	62	-	243
III	-	-	109	-	48	62	-	216
IV	-	-	-	81	48	62	-	189
V	-	-	-	-	-	-	148	149

Ефективність ґрунтообробних і посівних машин залежить від характеристик машин і швидкості виконання операцій, розміру полів, які потрібно обробити або засіяти, рельєфу місцевості, характеристик ґрунту тощо. Різні технології обробітку ґрунту і посіву призводять до різної продуктивності (рис. 3.23).

Середня норма традиційного обробітку ґрунту становить 1,36 год/га<sup>-1</sup>. Однак при застосуванні спрощених технологій обробітку ґрунту цей показник зменшується в середньому з 1,30 до 0,97 год/га<sup>-1</sup>, а при відмові від обробітку

грунту і посіви на повністю необроблену землю врожайність знижується до  $0,33$  год/га<sup>-1</sup>.

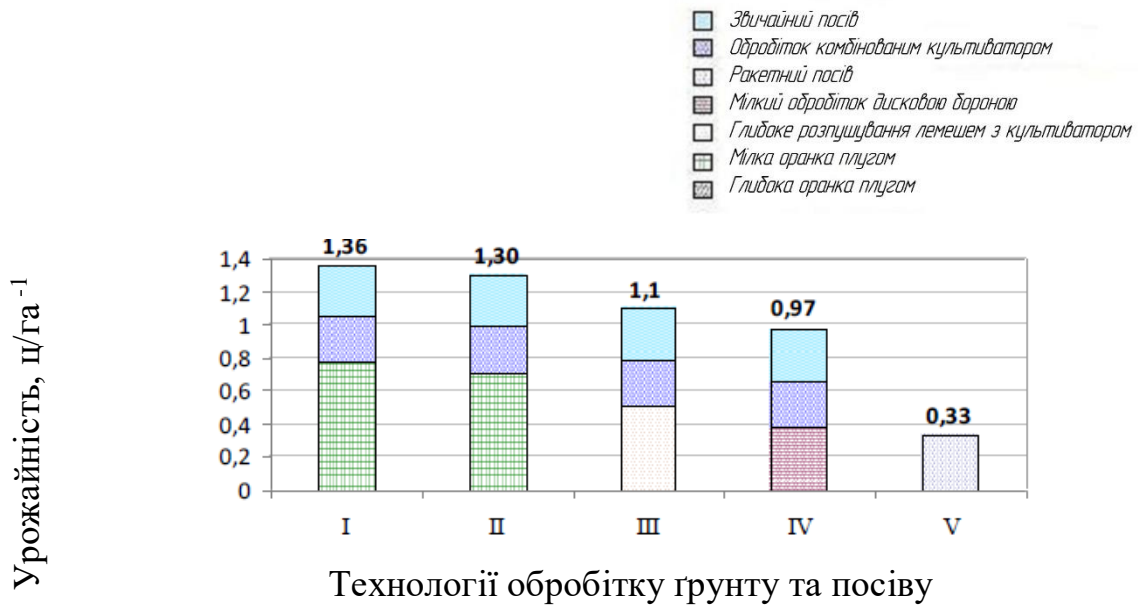


Рис. 3.23. Продуктивність ґрунтообробних та посівних машин



Рис. 3.24. Витрати пального ґрунтообробними та посівними машинами за різних технологій.

Енергетичні оцінки оброботку ґрунту та сiвби показали, що при сiвбi безпосередньо в необроблений ґрунт, витрати пального становлять  $7,3$  л/га<sup>-1</sup> (рис. 3.24).

Перехід від традиційного до ґрунтозахисного обробітку ґрунту в інтенсивному сільському господарстві, витрати пального відповідно зменшуються з 32,8 до 7,3 л/га<sup>-1</sup>. У традиційному землеробстві при посіві в глибоко зораний і оброблений ґрунт (I), витрата палива в 4,5 рази вища, ніж при посіві по стерні ніж при посіві сівалкою в повністю необроблений ґрунт (V). Ґрунтозахисні технології обробітку ґрунту та сівби (II, III, IV, V) мають тенденцію до зниження енергоспоживання.

Економічні розрахунки показали, що найбільші витрати виникають при сівбі в глибоку оранку та оброблений ґрунт (I) (рис. 3.25).

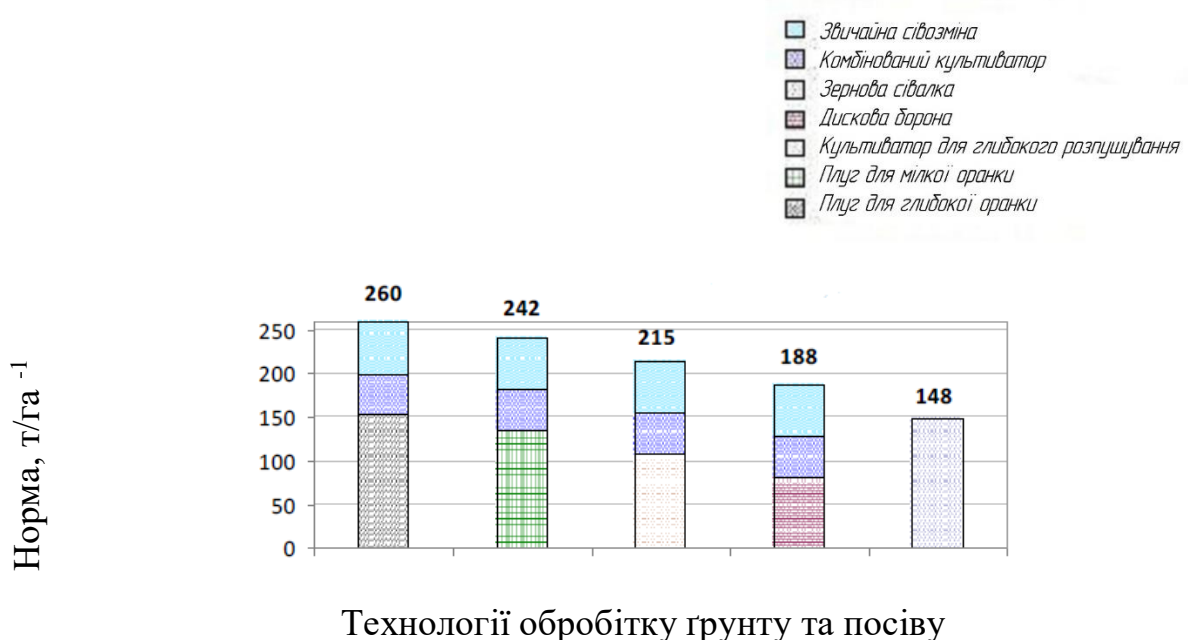


Рис. 3.25. Швидкість обробітку ґрунту та посівної машини для різних технологій.

При традиційному землеробстві, оранці (глибиною 23-25 см) і посіві на оброблюваній землі середні витрати на гектар становлять 260 га<sup>-1</sup> (I). Однак при використанні спрощених технологій обробітку ґрунту та посіву витрати на гектар зменшуються з 242 до 188 грн, а якщо повністю відмовитися від обробітку ґрунту і перейти до сівозмінного посіву, то витрати можуть бути зменшені до 148 грн. на гектар.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел показує, що фізико-механічні властивості ґрунту, такі як твердість, щільність, вологість тощо, мають значний вплив на якість робочих органів, стійкість, причини виходу з ладу та зношування деталей.

Ґрунтообробні машини за технологією no-till мають менший вплив на ґрунт порівняно з традиційною ґрунтообробною машиною – плугом. Міцність структури ґрунту була приблизно на 15..25% вищою на ґрунтах, оброблених за технологією no-till, ніж на ґрунтах, оброблених плугом. Це призвело до вищого вмісту водостійких частинок ґрунту та зменшення водної та вітрової ерозії ґрунту. Вміст вологи в неораних ґрунтах був в середньому на 25...30% вищим, ніж у ґрунтах, оброблених іншим ґрунтообробним обладнанням. У зораних ґрунтах щільність у верхньому шарі (глибина 0...20 см) була значно меншою порівняно з необробленими ґрунтами. Однак на глибині 45 см щільність ґрунту була на 7...12 % вищою за глибокої оранки, ніж за інших способів обробітку ґрунту.

Ґрунтообробні машини за технологією no-till мають кращий вплив на навколишнє середовище, ніж звичайні ґрунтообробні машини. Після зими температура верхнього шару ґрунту (0...10 см) необроблених ґрунтів була в середньому на 5 % вищою на зораних ґрунтах і на 7 % вищою, ніж на ґрунтах, оброблених глибокорозпушувачем або дисковою бороною. Викиди парникових газів CO<sub>2</sub> з необроблених і мілко оброблених дисковими знаряддями ґрунтів були на 25...35 % нижчими порівняно з обробленими плугом і глибоким плугом.

Ґрунтообробні машини за технологією no-till мають нижчі економічні та енергетичні показники порівняно зі звичайними ґрунтообробними машинами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьєва С. Якісна елементна база – основа надійності вітчизняної техніки. *Техніка АПК*. 2005. №5-6. С. 40-43.
2. Бернштейн Д.Б. Абразивне зношування лемішного леза і працездатність плуга. *Трактори та сільгоспмашини*. 2002. № 6. С. 40–45.
3. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицький. К., 2007. 20 с.
4. Бойко А. І. Сучасні проблеми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Підвищення надійності деталей відновлюємих машин*. Випуск 15. Харків, 2003. – С.10 – 13.
5. Василенко М. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4063>.
6. Василенко М.О. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів. *Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку АПК»*. – Львів, 2006. С. 324–328.
7. Вибір раціонального основного обробітку ґрунту під цукрові буряки // Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3075>.
8. Войтюк В.Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 / Валерій Дмитрович Войтюк . Мелітополь : ТДАТУ, 2012 . 39с.
9. Денисенко М.І. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин. *Науковий вісник НУБІП України*. 2011, Вип. 166. (1) С. 175–183.



10. Забезпечення агрофірм сучасною ґрунтообробною технікою та ефективність її використання. Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=2582&number=83>.

11. Зазимко О. Методи оцінки надійності деталей сільськогосподарських машин. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць УкрНДПВТ. Дослідницьке, 2004. Вип. 7 (21). С. 343 – 348.

12. Легкодух Н. Надійність техніки для обробітку ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : Збірник наукових праць. Випуск 11 (25). Дослідницьке, 2008. С. 248 – 255.

13. Легкодух Н.Ф. Аналіз показників надійності техніки вітчизняного виробництва для обробітку ґрунту. Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Випуск 80. Харків, 2009. С. 46 – 52.

14. Луб П.М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / П. М. Луб. Львів., 2006. – 23 с.

15. Механізми поліпшення техніко-технологічного забезпечення сільськогосподарського виробництва в Україні : Аналітична записка [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1260/>.

16. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

17. Дерев'янка Д. А., Тишко В. О. Визначення ступеня закріпленості абразивних частинок в ґрунті. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023

року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 31-34.

18. Деревянко Д. Тишко В. Вплив основних технологічних параметрів ґрунтообробних машин на ґрунт. *Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи»*. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет. 2023. С. 38-42.

19. Деревянко Д. Тишко В. Методика визначення ступеня закріпленості абразивних частинок в ґрунті. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 422-423.