

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ҐРУНТОЗАХИСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР З ЦИФРОВИМ КОНТРОЛЕМ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгМЗ-1-20 за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_Олег МОРГУН

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олег КАБАТ

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро – 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ЕМТП \_\_\_\_\_

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ \_\_\_\_\_

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Олегу МОРГУНУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Обґрунтування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур з цифровим контролем щільності ґрунту»

керівник роботи Олег КАБАТ, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ДДАЕУ від

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року № \_\_\_\_\_

2. **Строк подання студентом роботи** 05.02.2022 р. \_\_\_\_\_

3. **Вихідні дані до роботи.** Навчальні посібники: «Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві» (1993 р.), «Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві» (2007 р.), інструкція з використання цифрового твердоміра S600, навчальна, довідкова література з машиновикористання в рослинництві, офіційний сайт виробника цифрових пенетрометрів Skok Agro електронні джерела з технології обробітку ґрунту, інші джерела за темою дипломної роботи.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальний стан питання. 2. Аналіз впливу рушіїв енергозасобів на ущільнення ґрунту за різних технологій. 3. Розробка технологій вирощуван-

ня сільськогосподарських культур з контролем рівня ущільнення. 4. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 5. Економічне обґрунтування роботи. Загальні висновки. Бібліографічний список.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Титульний лист. 2. Тема, мета, завдання. 3. Проблеми ущільнення ґрунтів рушіями техніки. 4. Методи контролю твердості ґрунтів. 5, 6, 7. Дослідження та обробка результатів. 8. Розробка технологій з елементами розуцільнення ґрунту. 9. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 10. Економічне обґрунтування роботи. 11. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
2	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
3	Кабат О.С., доц. каф. ЕМТП		
4	Кравець В.В. , доц. каф. ЕМТП		
5	Вініченко І.І. , зав. каф. економіки		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 10.06.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 10.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 10.11.2021 р.	
3	Експериментально - розрахунковий	до 29.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 15.12.2020 р.	
5	Економічний	до 24.01.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 01.02.2022 р.	

**Студент**

( підпис )

Олег МОРГУН

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

( підпис )

Олег КАБАТ

(прізвище та ініціали)

## Реферат

Моргун О.М. Обґрунтування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур з цифровим контролем щільності ґрунту. ДДА-ЕУ, 2022 р. – 65 с.

В роботі наведено аналіз дії рушіїв тракторів на ущільнення ґрунту, з'ясовано причини надмірного ущільнення ґрунтів. Розроблено заходи оптимізації цього параметру та методи контролю. Обґрунтовано ґрунтозахисні технології за критерієм мінімального ущільнення ґрунту.

Робота складається з пояснювальної записки формату А 4, виконаної на 65 сторінках, додатків та супроводжувальних презентаційних слайдів, виконаних в програмі Power Point.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ.....	8
1.1. Сучасні енергозасоби та їх вплив на ущільнення ґрунту .....	8
1.2. Зв'язок технологій вирощування с.-г. культур з ущільненням ґрунту .....	13
1.3. Методи контролю щільності ґрунту.....	17
1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи.....	20
2. КОМПЛЕКТУВАННЯ МТА З УРАХУВАННЯМ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	22
2.1. Розрахунок енергії деформації ґрунту .....	22
2.2. Зв'язок енергії і площі ущільненого ґрунту рушіями техніки .....	23
2.3. Комплектування МТА.....	27
2.4. Проектування технологій з урахуванням ущільнення ґрунту .....	30
Висновки по розділу.....	34
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ С.-Г. КУЛЬТУР З ЦИФРОВИМ КОНТРОЛЕМ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТІВ.....	35
3.1. Програма експерименту.....	35
3.2. Контроль твердості ґрунту по коліях агрега- тив.....	35
3.3. Результати проектування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур з цифровим контролем щільності ґрунту .....	40
Висновки по розділу .....	44

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	45
4.1. Загальні положення.....	45
4.2. Аналіз небезпечних факторів при проведенні контролю твердості ґрунту .....	45
4.3. Організаційні та технічні заходи по створенню безпечних умов праці працівників .....	47
4.4. Вимоги безпеки праці при вимірюванні твердості ґрунту.....	48
Висновки по розділу.....	51
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	52
5.1. Суть економічного ефекту.....	52
5.2. Розрахунок економічної ефективності.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	63
Додатки	

## ВСТУП

Однією з глобальних причин деградації ґрунтів є надмірне їх ущільнення рушіями тракторів. Це пов'язано з тим, що в останні роки виробництво пропонує аграріям все потужніші трактори, а вони мають велику вагу. Нові технології сучасного землеробства повинні лежати в площині застосування енерго- та ґрунтозберігаючих операцій. Адже відомо, що урожайність ранніх зернових колосових культур, зокрема, ячменю ярого, по колії трактора класу 1,4 зменшується до 27 %. Площа ущільнення полів, на яких застосовуються класичні інтенсивні технології, перевищує площу поля вдвічі. Таким чином, тема зменшення ущільнення ґрунтів рушіями тракторів набуває сьогодні великої актуальності і потребує розв'язання проблеми.

У даній роботі пропонується вирішення проблеми ущільнення ґрунтів шляхом застосування машинно-тракторних агрегатів, які мають найменші значення тиску на ґрунт. Однак, поряд з цим враховано, що мають також знаходитись в оптимальних співвідношеннях агротехнічні терміни виконання с.-г. операцій, економічні показники.

## 1. ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ

### 1.1. Сучасні енергозасоби та їх вплив на ущільнення ґрунту

Україна багата чорноземами – одними із найпотужніших і найродючіших у світі. Проте, як не парадоксально, із розвитком їх технологій обробітку родючість ґрунтів стрімко знижується. Згідно даних, наведених у статті [1], можна виділити три ключові проблеми цього явища: надмірна розораність; деградація через порушення сівозмін та хімічне забруднення. Щодо останнього, то варто зауважити, що рівень буферності українських ґрунтів до пестицидів – високий [1]. Однак наявність великої кількості гумусу та інших в'язучих речовин, роблять наші ґрунти вразливими до ущільнення. І це – четверта, але дуже важлива причина зниження урожайності ґрунтів.

Широке застосування інтенсивних технологій землеробства у ХХ столітті призвели до значної деградації ґрунтів через їх надмірне ущільнення. Застосування енергонасичених тракторів з другої половини того ж століття призвели до ще більшої інтенсифікації ущільнення ґрунтів: було порушено їх структуру, родючість знижувалася, водно-повітряний баланс був порушений. Причина ущільнення ґрунтів – тиск на них рушіїв енергозасобів. Величина тиску рушіїв на ґрунт залежить від:

- маси трактора;
- типорозміру шин;
- тиску в шинах;



- матеріалу, з якого виготовлено шини.
- швидкості руху агрегату.

Сьогодні поряд з інтенсивними технологіями мають місце енерго- та ґрунтоощадні технології, такі як мінімальна (Mini-till), нульова (No-till), смугова (Strip-Till), технологія вертикального обробітку (Drill-Till) та їх різноманітні комбінації. Усіх їх об'єднує те, що крім зменшення ґрунтообробних операцій передбачають збільшення ширини захвату агрегатів, зменшення кількості проходів агрегатів по полю.

Разом з тим, як відомо, збільшення ширини захвату агрегату, веде за собою зростання ваги сільськогосподарської машин. А, отже, має зростати і вага самих енергетичних засобів. Потрібно збільшувати їх тягово-зчіпні властивості. Для цього потрібно збільшувати як потужність двигунів, так і вагу тракторів. Дійсно, із розвитком тракторобудування, вказані показники зростали (табл. 1.1). Однак, разом з тим, зростав і тиск рушіїв на ґрунт, спричинюючи деградацію ґрунтів. При чому, тиск на ґрунт зростав незалежно від технічного рівня енергетичного засобу. Вочевидь, маса тракторів зростала швидше, аніж відбувається впровадження ефективних заходів, направлених на зменшення негативної дії їх рушіїв на ґрунт.

Таблиця 1.1 – Коротка енергетична характеристика колісних тракторів\*

№ з/п	Марка і модель трактора	Потужність, кВт	Маса, кг	Питома потужність, кВт/ т	Площа контакту, см <sup>2</sup>	Тиск, кг/см <sup>2</sup>
1	MT3-5	28,8	3190	9,03	2848	1,12
2	MT3-50	39,6	3660	10,82	3102	1,18
3	MT3-80	57,6	3160	18,23	2633	1,2
4	MT3-82.1	60	3770	15,92	3090	1,22
5	BELARUS-1021	77	4675	16,47	3652	1,28
6	XT3-150K-09	121	8100	14,94	4909	1,65
7	K-744	221	13100	16,87	5696	2,3

\*власний аналіз

Побудована нами закономірність зміни величини тиску рушіїв на ґрунт (рис.1.1) також показує на стале зростання цього параметра симбатно масі.

Така закономірність пояснюється тим, що геометрична форма коліс не забезпечує суттєвого зростання площі контакту в силу геометрії. Отже, колісні трактори, особливо енергонасичені, вичерпали конструктивні важелі щодо зменшення тиску на ґрунт шляхом збільшення плями контакту. Необхідно застосувати або ефективні засоби контролю, або змінювати конструкцію рушіїв енергетичних засобів.

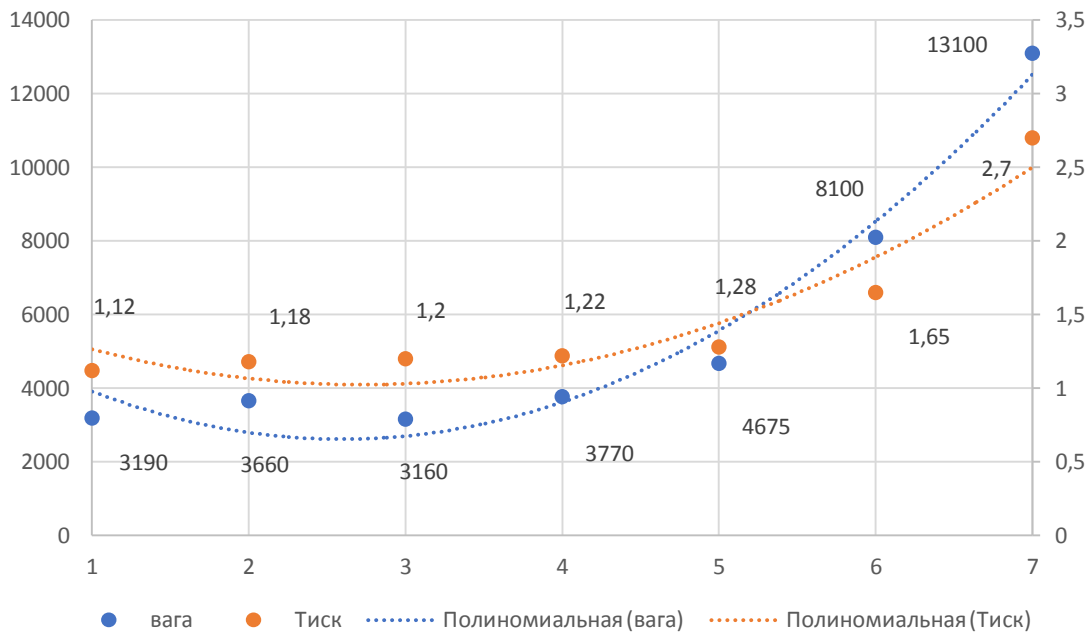


Рис.1.1. Закономірність зміни маси тракторів і тиску їх рушіїв на ґрунт.

Як наведено в [3], зростання навантаження на вісь до 10 т (важкі трактори, зернозбиральні комбайни типу Дон-1500Б, Case IH 8120 та ін.) зумовлюють критичне ущільнення ґрунту на глибину до 60 см. А відомий вчений Ю.П. Нагірний стверджував, що ущільнення від рушіїв зернозбиральних комбайнів може сягати навіть до 80 см [4, с. 8]. Дійсно, при повному бункері зерна пшениці комбайна Case IH 8120, його маса сягатиме близько 18 тонн і більше. Така маса безумовно спричинить критичний тиск на ґрунт і його ущільнення. Неправильна експлуатація техніки на полях є причиною утворення плужної підшви – зони критичного переущільнення ґрунту в орному шарі (рис. 1.2, а). Через таку зону ущільнення волога проникає з надзвичайною трудностю. Також наявність плужної підшви унеможливує рух вологи по капілярах нагору. Таким чином, утруднюється живлення рослин вологою під час посухи. Є ризик загибелі посі-

вів. Один з таких прикладів наведено на рис.1.2, б. Через утворену плужну підшву припинився рух вологи з нижніх орних шарів ґрунту. Це був 2019 рік, характерний посушливістю. Причиною утворення плужної підшви стала саме неправильна, хаотична експлуатація техніки без контролю тиску в шинах та без дотримання суворих агротехнічних термінів щодо виїзду в поле за критерієм вологості. [10].

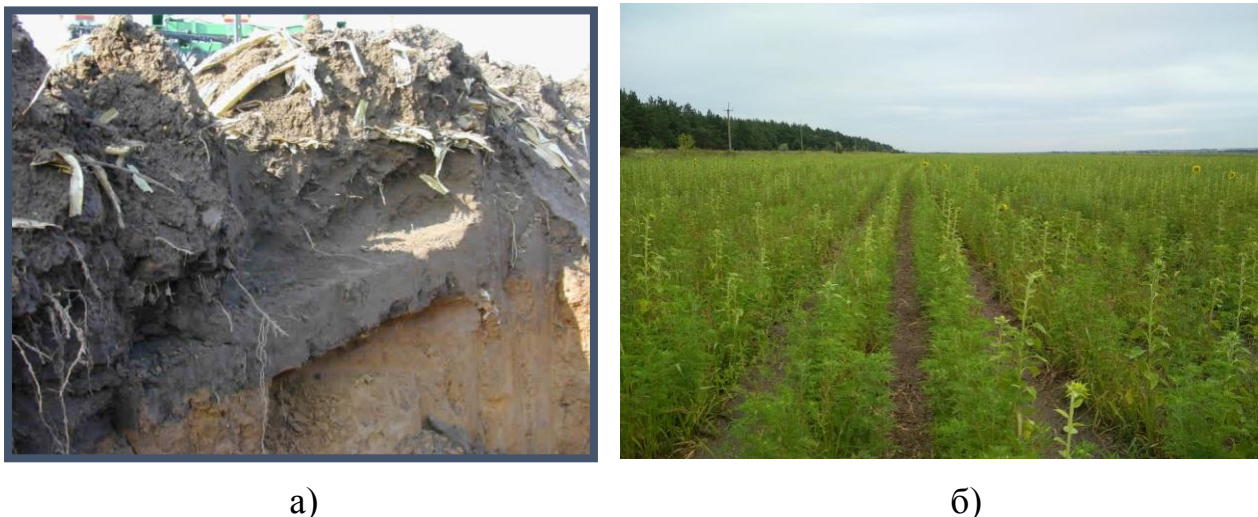


Рис.1.2. Утворення плужної підшви (а) та припинення розвитку посівів соняшника (б) як наслідок її дії.

Таким чином, за наявності виявлених проблем та їх недопущення, необхідно дотримуватися ще одного критерію виїзду в поле – фізична стиглість ґрунту.

Заходи, які дозволять зменшити цей вплив є такі:

- зміна тиск в шинах відповідно до стану ґрунту і виконуваних робіт;
- не виїжджати в поле рано навесні без дуже нагальної потреби;
- застосовувати шини низького тиску (типу Ultraflex Michelin);
- застосовувати схему спарених коліс на тракторах;
- збільшити кількість осей тракторів.

Щодо останнього заходу, його можна вважати найбільш ефективним. Однак, до недоліків рушіїв з великою кількістю осей (гусеничні рушії) необхідно віднести їх високу вартість і складність обслуговування. Це є основними стримуючими факторами.

муючими факторами інтенсивного їх впровадження і використання в землеробстві.

Втім, тиск тракторів на гусеничних рушіях є в декілька разів нижчим, ніж у колісних (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Коротка енергетична характеристика гусеничних тракторів\*

№ з/п	Марка і модель трактора	Потужність, кВт	Маса, кг	Питома потужність, кВт/т	Площа контакту, см <sup>2</sup>	Тиск, г/см <sup>2</sup>
1	ДТ-75М	70	5700	12,28	12667	0,45
2	Т-150	129,6	8750	14,81	17500	0,5
3	ХТЗ-181	139,7	9990	13,98	24975	0,4
4	САТ95Е	295,2	16111	18,32	43543	0,37
5	CASE ІН 600	322	22500	14,31	53571	0,42

\*власний аналіз

Якщо виразити дані, наведені в табл. 1.2 у вигляді графіків, то можна побачити цікаву закономірність. Так, як уже ми говорили вище, із збільшенням ширини захвату машинно-тракторних агрегатів (МТА), маса тракторів також має зростати. Аналіз графіка 1.3 показує, що для гусеничних тракторів із зростанням їх маси, тиск на ґрунт зменшується.

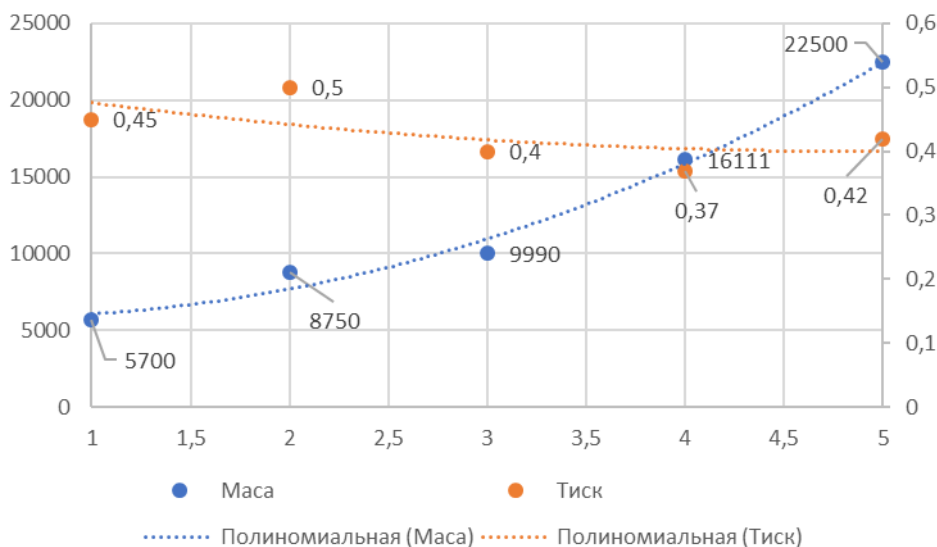


Рис.1.3. Закономірність зміни тиску і маси гусеничних тракторів.

Також, з даних, наведених в табл. 1.2, можна побачити, що для сучасних гусеничних тракторів рівень питомої потужності майже не змінюється або змінюється вкрай незначно. Питома потужність гусеничних тракторів зростає в межах 16...49 %, у той час як для колісних цей параметр максимально зріс на 86 % (для К-744 у порівнянні з МТЗ-5).

З цього можна навести висновок, що зменшення тиску на ґрунт у гусеничних тракторів відбувається за рахунок удосконалення конструкції рушіїв та застосування для їх виготовлення нових матеріалів. Так, для тракторів CAT Challenger 95E і CASE IH 600 Quadtrack, які мають найбільшу масу, вдалося досягти мінімального тиску на ґрунт за рахунок застосування гумометалевих рушіїв. Таким чином, відбувається максимально можливий контакт між рушієм і ґрунтом, а пляма контакту зростає.

Отже, для сучасних технологій вирощування, які забезпечуються тракторами з підвищеною масою, пріоритетно застосовувати гусеничні трактори або колісні на спарених колесах. Також значну роль грає застосування широкозахватних агрегатів.

## **1.2. Зв'язок технологій вирощування с.-г. культур з ущільненням ґрунту**

Як було вже вказано в п.1.1 на території України аграрії застосовують різні технології вирощування с.-г. культур. Їх умовно можна розділити на дві групи:

- *інтенсивні технології* – для яких характерний інтенсивний механічний обробіток ґрунту;
- *енерго- та ґрунтоощадні технології* – для яких характерні заходи, направлені на збереження енергії (тракторів, пального, людини) та запобігання ерозії ґрунтів (комбіновані операції, мульчування, технології нульового обробітку ґрунту).

Саме до інтенсивних технологій відносяться недоліки, пов'язані не тільки із значною витратою пального, а й спричинення підвищеної ерозії ґрунту. За інтенсивної технології глибина оранки знаходиться в межах 27...31 см, а ущільнення ґрунту відбувається аж до 80 см. Багатократний проїзд по одних і тих же коліях спричинює тотальне його ущільнення. За інтенсивної технології ущільненню підлягає до 80 % площі поля. Прості розрахунки показують, на полі прямокутної форми площею 100 га, зернозбиральний комбайн з жаткою 6 м утворює колії, довжиною 125...166 км в залежності від способу збирання та довжини гону. Виїзд автомобілів на поле для завантаження зерном від комбайна чинить чи не найбільше ущільнення ґрунту, так як водії, як правило, їх не обладнують спеціальними шинами.

Багаторазовий механічний обробіток ґрунту – оранка, ранньовесняне боронування, культивація суцільна, передпосівна, міжрядний обробіток та інші – сприяють утворенню дрібнодисперсних часточок ґрунту, які легко піддаються водній та вітровій ерозії.

За інтенсивних технологій, як правило виконуються такі технологічні операції (основні):

- *оранка* – агрегати МТЗ-82.1 + ПЛН-3-35; John Deere 6930 + Kuhn-5 Vary; К-744 + ПТК-9-35 та ін.;
- *ранньовесняне боронування* – ХТЗ-181 + ЗБР-24; Т-150 + СГ-21 + 21БЗСС-1,0;
- *передпосівна культивація* – ХТЗ-17702 + КПС-8 «Восход»; John Deere 8335 + JD3310; Case IH MX310 + Case IH Tiger-Mate-200 та ін.;
- *сівба* – МТЗ-82.1 + СЗ-5,4 (для просапних УПС-8); Case IH MX 340 + Case IH SDX 30/40;
- *збирання врожаю* – Дон-1500Б; John Deere S660; Case IH 8120.
- *транспортування зерна* – ГАЗ-3307/09; КамАЗ-4310 та ін.

Отже, як бачимо, за інтенсивних технологій на полях відбувається інтенсивна дія рушіїв агрегатів на ґрунт.

Універсальну формулу для визначення величини ущільнення ґрунту після збирання врожаю запропоновано в навчальному посібнику [5]:

$$\begin{aligned} \Pi_{n3} = & \Pi_{нк} \cdot K_{вщ} + \Pi_0 + \Delta\Pi_2 \cdot T_{н2} \times \\ & \times \left( \frac{S_{щ2,1}}{S_{з2,1}} + \frac{S_{щ2,2}}{S_{з2,2}} + \dots + \frac{S_{щ2,n}}{S_{з2,n}} \right) + \Delta\Pi_к \cdot T_{нк} \times \\ & \times \left( \frac{S_{щк,1}}{S_{зк,1}} + \frac{S_{щк,2}}{S_{зк,2}} + \dots + \frac{S_{щк,n}}{S_{зк,n}} \right), \end{aligned} \quad (1.1)$$

де  $\Pi_{нк}$  – щільність ґрунту після збирання попередньої с.-г. культури, г/см<sup>3</sup>.

Параметр  $\Pi_{нк}$  вимірюється твердоміром і перераховується, а якщо провести вимірювання можливості немає, то приймається нормативне значення на рівні

$$\Pi_{нк} = 1,5 \text{ г/см}^3;$$

$K_{вщ}$  – коефіцієнт, який враховує відновлення щільності. Прийнято вважати, що до початкової щільності ґрунт відновлюється за 10...20 років, тому приймаємо

$$K_{вщ} = 0,05-0,10;$$

$$\Pi_0 \text{ – початкова щільність; } \Pi_0 = 1,08-1,11 \text{ г/см}^3;$$

$\Delta\Pi_2, \Delta\Pi_к$  – темп зростання щільності ґрунту під дією рушіїв: для гусеничних 0,025 г/см<sup>3</sup>, а для колісних 0,03 г/см<sup>3</sup>;

$T_{н2}, T_{нк}$  – кількість проходів відповідно гусеничних і колісних машин від початку весняно-польових робіт до закінчення збирання. Ці дані вибираємо з технологічних карт вирощування с.-г. культур.

$S_{щ2,1}, S_{щ2,2}, \dots, S_{щ2,n}$  – ширина ущільнення ґрунту при проході агрегату з гусеничною машиною, м;

$$S_{з2,2}, \dots, S_{з2,n} \text{ – ширина захвату агрегату з гусеничною машиною, м;}$$

$S_{щк,1}, S_{щк,2}, \dots, S_{щк,n}$  – ширина ущільнення ґрунту при проході агрегату з колісною машиною, м;

$$S_{зк,1}, S_{зк,2}, \dots, S_{зк,n} \text{ – ширина захвату агрегату з колісною машиною, м.}$$

Отже, дана формула дозволяє спрогнозувати величину ущільнення ґрунту при застосуванні спроектованої технології. У разі необхідності ще на етапі проектування можна ужити необхідних заходів, направлених на зменшення дії рушіїв на ґрунт, зменшити його деградацію та ерозію.

Розрахунки за даною формулою, наведені в [5] показують, що за інтенсивних технологій, величина ущільнення ґрунтів після збирання урожаю знаходиться в межах 1,55...1,64 і більше. За нульових технологій цей показник зменшується до 1,28...1,32 г/см<sup>3</sup>. З графіка (рис.1.4) бачимо стале зменшення ущільнення ґрунту в залежності від технології.

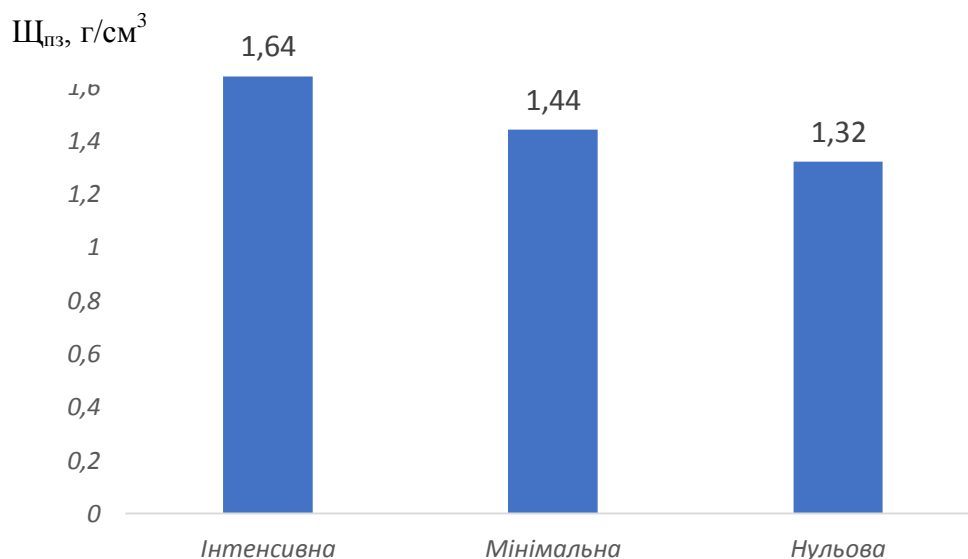


Рис.1.4. Усереднені значення щільності ґрунту в залежності від технологій вирощування с.-г. культур.

Більше ущільнення ґрунту за інтенсивних технологій вирощування, пов'язане не тільки з багаторазовими проходами агрегатів, але й з їх меншою шириною захвату. Однак, щільність ґрунту на рівні 1,64 г/см<sup>3</sup> є неприйнятно великою. Це неодмінно призводить до зниження урожайності. Так, в [4] вказувалося, що урожайність ячменю ярого по коліях трактора МТЗ-80 зменшується на 27 %.

Ущільнення ґрунту має бути не мінімальним і не максимальним, а оптимальним. Так в [7] наводиться залежність (рис.1.5), з якої видно, що за умов «сухого сезону», коли кількість опадів обмежена, урожайність зростає до величини щільності ґрунту 1,25...1,3 г/см<sup>3</sup>, а тоді починає знижуватись. А от за умов достатньої кількості опадів (як це було в 2021 році), урожайність знижується стабільно із зростання щільності ґрунту. Це відбувається тому, що за умови великої кількості опадів, вода в ущільненому ґрунті гірше інфільтрується в глиб-



ші шари. Утворюються поверхневі водойми, так звані озера, які сприяють вимоканню культур, зменшується доступ кисню і рослини гинуть або суттєво зменшують урожайність. Зі зростанням параметру  $\Pi_2$  урожайність  $U$  зменшується експоненціально.

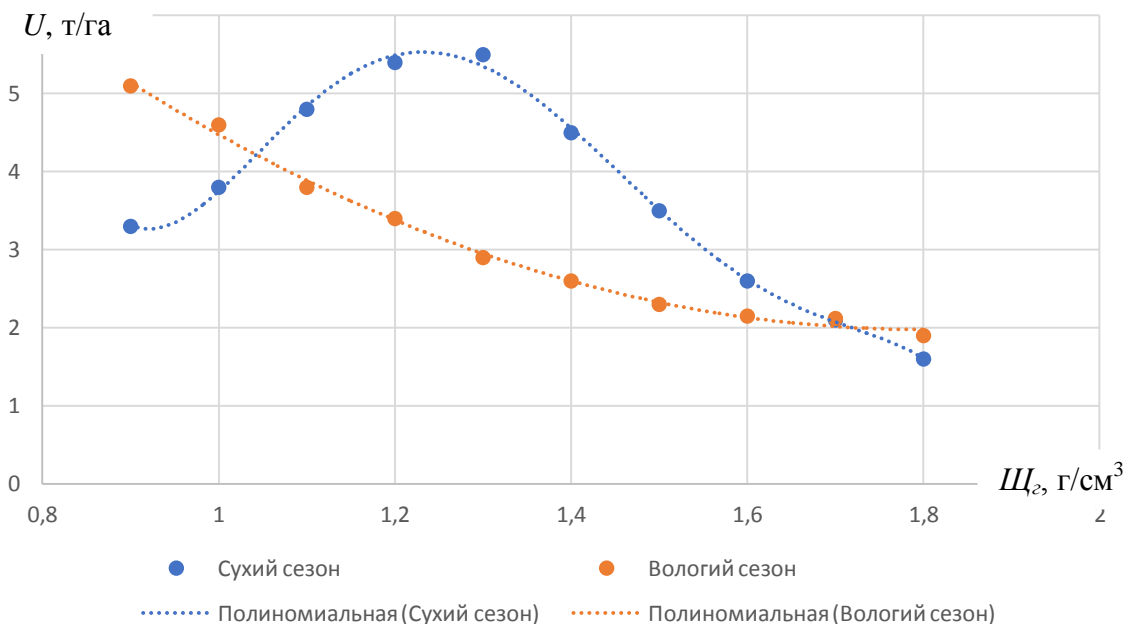


Рис. 1.5. Характерні залежності зміни урожайності зернових культур  $U$  від щільності ґрунту  $\Pi_2$ .

Таким чином виявлено, що найбільше ущільнення ґрунту відбувається за інтенсивних технологій вирощування с.-г. культур, а найменше – за нульової. При цьому параметр щільності при проектуванні технологій не враховується ніяк. Його можна проконтролювати лише по факту здійснення події. За словами Ігоря Бромота: «Як не прикро констатувати, але єдиної методики боротьби з ущільненням ґрунту не існує – «диявол криється в деталях». Потрібно системно підходити до вирішення цього питання, виявляти взаємозв'язки та прогнозувати можливі наслідки.» [7].

Розглянемо методи та обладнання для контролю щільності ґрунту.

### 1.3. Методи контролю щільності ґрунту

Одним із простих і ефективних методів контролю поточної щільності ґрунту є вимірювання його твердості. За загальним визначенням твердість ґрунту – це здатність ґрунту протидіяти вдавлюванню в нього твердого тіла у вигляді конуса, циліндра або кулі [8]. Вимірювання твердості проводиться оперативніше, дешевше і надає результати високої точності. Твердість корелює із щільністю. Так як твердість ґрунту корелює з його щільністю, доцільно схилитися саме до вимірювання цього параметра. Вимірювати щільність ґрунту – досить трудомісткий і тривалий процес і не може забезпечити оперативність отримання результату.

Вимірювання твердості ґрунту проводиться приладами – твердомірами або їх ще називають пенетрометрами. Вони працюють за єдиним принципом – вдавлювання конічного тіла (конуса) в ґрунт і фіксації зусилля вдавлювання в залежності від глибини проникнення. Твердоміри бувають різні за конструкцією і часто називаються за прізвищами своїх винахідників: Горячкіна, Ревякіна, Оганесяна і т.д. Ці твердоміри ще деінде застосовуються в освітньому процесі, але вони вже застаріли як морально, так і фізично. До сучасних твердомірів необхідно віднести механічний твердомір компанії Wile Soil (рис. 1.6, а) та цифровий пенетрометр українського виробництва S600 виробництва компанії Скок Агро (рис.1.67, б).



а)

б)

Рис.1.6. Механічний (а) та цифровий (б) пенетрометри.

Перевагою цифрових пенетрометрів є те, що вони обладнані додатковим устаткуванням для фіксації GPS-координат точок, в яких здійснюється вимірювання. Також, вони фіксують твердість ґрунту на глибину до 60 см з кроком 1 см і записом показань. Отримані дані оперативно передаються в особистий кабінет користувача. Це дозволяє здійснювати глибокий аналіз, нашаровувати карти твердості ґрунтів, порівнювати історію поля тощо. Після цього здійснюється, у разі необхідності, коригування технології вирощування с.-г. культури.

Методика вимірювання пенетрометрами має однакові алгоритми і включає калібрування приладу, фіксацію місця перебування, вимірювання показника, його фіксація та скидання даних в «хмарне середовище».

Так, результати вимірювання пенетрометром S600 відображаються в особистому кабінеті користувача (рис.1.7) і мають велику кількість даних для проведення ефективного аналізу.



Рис.1.7. Інтерфейс особистого кабінету користувача програмного забезпечення Skok Agro.

Наприклад, з рис.1.6 бачимо точки, в яких проводилося вимірювання, ситуація твердості поля на глибині 20 см та детальна зміна твердості в одній з точок. З графіка можна виявити, що вже на глибині 16 см твердість ґрунту досягла 4250 кПа, що є критичним значенням. Так проводиться аналіз отриманих да-

них в кожній точці і приймаються висновки щодо майбутнього обробітку ґрунту. Щоб розуміти, яка твердість ґрунту є прийнятною, а яка ні, користуються даними, наведеними в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Шкала оцінки стану ґрунту за критерієм твердості [8, 9]

Твердість ґрунту		Стан ґрунту
кПа	кг/см <sup>2</sup>	
< 1000	< 10	Пухкий
1000...2000	10...20	Відносно пухкий
2000...3000	20...30	Середньої твердості
3000...4000	30...40	Твердий (ущільнений)
4000...5000	40...50	Дуже твердий (переуцільнений)
> 5000	> 50	злитий

З порівняльних характеристик, наведених в табл. 1.3, скомбіновані дані з джерел [8, 9], з яких очевидно, що за твердості більше 3000 кПа, ґрунти вважають твердими. В такому разі, вони потребують технологічних заходів, направлених на їх розуцільнення.

#### **1.4. Обґрунтування теми дипломної роботи**

Отже, в процесі аналізу стану питання виявилися наступні проблеми.

По-перше, в останні роки маса енергетичних засобів зростає.

По-друге, виявлено закономірність сталого зростання величини тиску колісних рушіїв на ґрунт симбатно масі тракторів. Це – проблема.

По-третє, тиск на ґрунт в гусеничних тракторів менший в 4...10 разів, однак їх застосування обмежене через ряд причин, у тому числі економічних та технічних.

Да даному етапі розвитку технологій вирощування с.-г. культур виявлено, що ці технології реалізуються без детального урахування дії рушіїв на ущільнення ґрунту.

Тому, **метою** дипломної роботи є розробка ґрунтозахисних технологій вирощування с.-г. культур з контролем рівня ущільнення на етапі їх проектування.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

- навести аналіз стану питання та виявити загальний зв'язок ущільнення ґрунтів з технологіями вирощування с.-г. культур;
- розробити теоретичні засади алгоритму визначення величини ущільнення ґрунтів на етапі проектування технологій;
- розробити алгоритм складання технологічних карт з контролем величини ущільнення ґрунту;
- розробити і навести заходи з охорони праці при користуванні інструментом (пенетрометром) у полі;
- навести економічні розрахунки технологій та екологічні показники за критерієм ущільнення ґрунту.

**Об'єктом дослідження** процесу контролю твердості ґрунтів на етапі проектування технологій вирощування с.-г. культур.

**Предмет досліджень** – закономірності зміни твердості ґрунтів за ґрунтозахисних технологій вирощування с.-г. культур.

## **2. КОМПЛЕКТУВАННЯ МТА З УРАХУВАННЯМ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ**

### **2.1. Розрахунок енергії деформації ґрунту**

Як вказано в [11 – 13] надмірне ущільнення ґрунту призводить до перевитрати пального від 25 до 40 %. Корисна енергія МТА, що мала б витратитися на ефективну роботу, витрачається на рихлення ґрунту, а рушії витрачають енергію на його деформацію, знову ущільнюючи.

На етапі проектування технологій вирощування важко виявити вплив рушіїв трактора на ґрунт. Особливо це стосується випадків, коли один і той же енергетичний засіб використовується для агрегування різних с.-г. машин: культиватора, сівалки, плуга. Наприклад, практично визначити рівень ущільнення ґрунту трактором John Deere 8335R, який працює з культиватором John Deere 3310, сівалкою John Deere 1895 та плугом John Deere 8310 надзвичайно важко. Кожного разу необхідно здійснювати вимірювання пенетрометром, будувати карту ущільнення. У цього процесу дуже велика трудомісткість. А найголовніше, що ми можемо тільки констатувати факт, що вже здійснився! А нам необхідно такі дані отримувати ще до початку реалізації технології. Умова проектування не виконується.

Одним із методів, що дозволяє визначати умовне ущільнення ґрунту під дією машинно-тракторного агрегату (МТА) є визначення енергії, яка затрачається на деформацію ґрунту рушійми. Справді, трактор, рухаючись по полю, зминає під собою ґрунт, затрачаючи на це певну кількість енергії. Умовно мож-

на припустити, що чим більше енергії витрачається на деформацію ґрунту, тим більше буде ущільнення останнього.

Аналітично цей показник можна визначити із залежності [5]:

$$E_{уц} = \frac{10 \left[ G_m \cdot f_{mp} \cdot \eta_v + G_z \cdot f_z + \sum_{i=1}^k (G_M \cdot f_M \cdot \eta_M) \right]}{B_p}, \quad (2.1)$$

де  $E_{уц}$  – робота на утворення колії, МДж/га;

$G_{mp}, G_M, G_z$  – експлуатаційна вага трактора, сільськогосподарської машини, зчіпки, кН;

$B_p$  – робоча ширина захвату, м;

$f_{mp}, f_M, f_z$  – відповідно коефіцієнт опору кочення трактора, зчіпки і сільськогосподарської машини (залежить від типу трактора, сільськогосподарської машини, зчіпки (табл. 8.3, 8.4, 8.5 [5]);

$\eta_v$  – коефіцієнт, який враховує внутрішні витрати в ходовій системі трактора (для колісних тракторів  $\eta_{вк} = 0,98$ ; для гусеничних  $\eta_{вг} = 0,90-0,93$ );

$\eta_M$  – кількість сільськогосподарських машин в агрегаті;

$k$  – кількість типів сільськогосподарських машин.

Дана формула показує яку кількість енергії витрачає агрегат на ущільнення ґрунту. Це відносний параметр і не може дати уявлення про конкретне ущільнення на полі: яка кількість ущільненої площі, наскільки критичне це ущільнення і т.д.

Таким чином, необхідно ув'язати результати аналітичних розрахунків (2.1) із реальним ущільненням ґрунту МТА.

## 2.2. Зв'язок енергії і площі ущільненого ґрунту рушіями техніки

На ущільнення ґрунту впливає не тільки вага трактора або сільськогосподарської машини (СГМ), але й профіль шин, ширина захвату МТА, тиск в шинах. Для подальших досліджень зробимо такі припущення:

- що тиск в шинах залишається оптимальним для проведення технологічних операцій;

- агрегат рухається по полю, площею 100 га з рівними сторонами 1000×1000 м;

- спосіб руху агрегатів – човниковий.

За наведених припущень визначити кількість робочих ходів можна за формулою:

$$N_x = L_p / B_p, \quad (2.2)$$

де  $L_p$  – робоча довжина гону, м;

$B_p$  – робоча ширина захвату агрегату, м.

За умови човникового руху, раціональними будуть петльові розвороти агрегату в кінці загінки. При цьому ширина поворотної смуги  $E$  повинна бути кратною конструктивній ширині захвату агрегату.

Так, для агрегату John Deere 8345 + ЛДГ-20 ширина поворотної смуги  $E$  повинна складати не менше 40 м. Приймаємо цю величину з кожного боку поля. Тоді, робоча довжина гону  $L_p$  складе  $1000 - 80 = 920$  м.

Робочу ширину захвату агрегатів визначаємо із залежності:

$$B_p = k \cdot B_k, \quad (2.3)$$

Де  $k$  – коефіцієнт, що враховує перекриття суміжних проходів; складає 0,95...0,97 для лушчильників, культиваторів, жаток [14] і 1,1 – для плугів.

Площа, ущільнена рушіями тракторів буде залежати не тільки від геометричних розмірів поля, способу руху, але й від ширини профілю шин трактора.

Комплектація шин для даного трактора може бути різною, в залежності від вимог технологічної операції.

Для виконання польових ґрунтообробних операцій, доцільно комплектувати шинами, задніми 710/75 R42, передніми 600/70 R30. Тому розрахунки площі ущільнення проводимо, спираючись на ці типорозміри шин. До уваги беремо профіль задніх шин, так як 2/3 ваги трактора припадає на них.

Площу ущільнення рушіями трактора знаходимо за формулою:

$$S_y = N_x \cdot 2b_{ш} \cdot L_p, \quad (2.4)$$



де  $b_{ш}$  – ширина профілю шини, тобто ширина сліду ущільнення, який залишає на полі трактор, м.

Наприклад, для агрегату John Deere 8345 + ЛДГ-20 робоча ширина захвату складе:

$$B_p = k \cdot B_k = 0,96 \cdot 20 = 19,2 \text{ м.}$$

Однак, у випадку використання навігаційних систем типу StarFire 3000/6000, що забезпечують ведення по паралельних лініях з точністю до  $\pm 2,5$  см, робочу ширину захвату можна прирівняти до конструктивної. Враховуючи те, що сьогодні трактори John Deere працюють переважно з телематичними та навігаційними системами, приймаємо саме такий варіант експлуатації МТА. Тобто,  $B_p = 20$  м.

Тоді, кількість робочих ходів на даному полі при луценні стерні агрегатом John Deere 8345 + ЛДГ-20 за формулою (2.2) складуть:

$$N_x = B_n / B_p = 1000 / 20 = 50 \text{ проходів.}$$

де  $B_n$  – ширина поля, м; у нашому випадку,  $B_n = 1000$  м.

Площа ущільнення рушіями трактора John Deere 8345 за формулою (2.4) складе:

$$S_y = 50 \cdot 2 \cdot 0,71 \cdot 920 = 65\,320 \text{ м}^2 \text{ або } 6,53 \text{ га.}$$

Подальші розрахунки проведемо в Microsoft Excel. Результати подамо у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Ущільнення трактором John Deere 8345 в складі з різними с.-г. машинами

Трактор	СГМ	Робоча ширина захвату $B_p$ , м	Кількість проходів	Ширина сліду $b_{ш}$ , м	Довжина гону $L_p$ , м	Площа ущільнення $S$ , га
John Deere 8345	ЛДГ-20	20	50	0,71	920	6,53
	JD726	9,38	111	0,71	920	14,51
	JD1895	11	95	0,71	920	12,37
	JD2210	7,4	141	0,71	920	18,39
	JD3810	2,8	372	0,71	920	48,60

Як бачимо з даних, наведених в табл. 2.1. в залежності від агрегування з СГМ, площа ущільнення дуже різниться і складає від 6,5 до 48,6 % від площі поля. Так, найбільше її значення – 48,6 га – складає при роботі трактора з плугом JD3810.

Інтерпретуючи дані в графічну залежність, можемо виявити практично лінійну залежність площі ущільнення ґрунту і затраченої енергії на її ущільнення (рис.2.1).

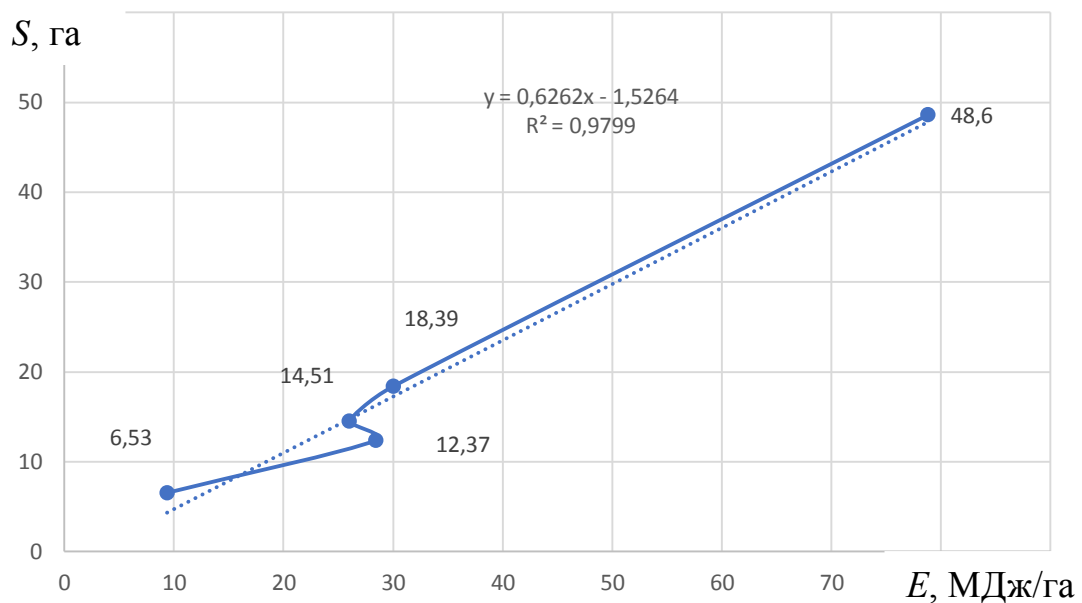


Рис.2.1. Залежність площі ущільнення ґрунту рушіями трактора John Deere 8345 і енергії, затраченої на це ущільнення.

Як видно із наведеної залежності, локальний незначний нелінійний характер закономірності має в області значень 25...30 МДж (рис.2.1). Це пов'язано із застосуванням комбінованих ґрунтообробних та посівних агрегатів. Об'єднання декількох операцій в одному агрегаті і призводить до локалізації точок навколо лінії тренда.

Математично залежність параметра  $S$  від  $E$  для тракторів John Deere 8345 можна описати рівнянням:

$$S = 0,626 \cdot E - 1,526$$

Дане рівняння описує залежність з вірогідністю 98%.

Дану формулу можемо використовувати для розрахунку ущільненої площі і затраченої енергії на ущільнення ґрунту МТА.

При експлуатації зернозбиральних комбайнів, ґрунт рушіями комбайнів ущільнюється на глибину до 80 см [4]. А деформація ґрунту без суттєвого зрушення структури відчувається ще на глибині до 2 м. Отримані за вищенаведеною методикою значення параметрів  $S$  і  $E$  (рис.2.2) показують, що найменшу кількість енергії, затраченої на ущільнення ґрунту мають комбайни КЗС-9-1 «Славутич» (19,6 МДж/га); John Deere 670i (18,48) та Case IH 2388 (17,92).

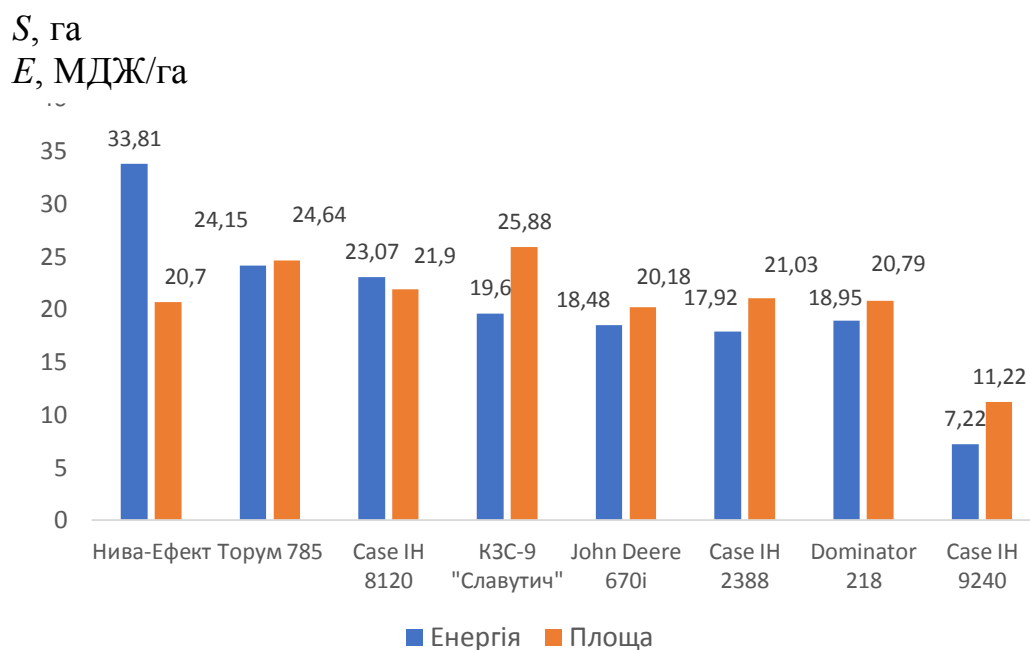


Рис.2.2. Енергія і площа ущільнення ґрунту рушіями зернозбиральних комбайнів.

При цьому, найбільшу площу ущільнення має комбайн КЗС-9-1 «Славутич» та Торум 785. Це вказує на нижчий технічний рівень вказаних марок техніки. Тому, для використання в технологічних картах плануємо комбайни типу John Deere 670i. Комбайни Case IH 2388 планувати недоцільно, так як їх випуск на сьогодні припинений, хоч на вторинному ринку вони є. З графіка якісно виділяється комбайн Case IH 9240, обладнаний жаткою MacDon FD 75. Він має найменші показники за параметрами  $E$  і  $S$ . Це пов'язано з тим, що даний комбайн обладнаний напівгусеничним ходом та жаткою, шириною захвату 13,7 м.

### 2.3. Комплектування МТА

На основі методики і отриманих в п.2.2. результатів, виконаємо вибір агрегатів на основних технологічних операціях за критерієм мінімальної кількості енергії на ущільнення ґрунту. Наприклад, ґрунтообробні операції властиві всім технологіям вирощування с.-г. культур, крім нульової. Плануючи розробити ґрунтозахисні технології за критерієм мінімального ущільнення ґрунту, вносимо до розрахункової таблиці 2.2 декілька альтернативних агрегатів.

Вихідні дані та результати наведемо в табл 2.2.

Таблиця 2.2 – Енергія ущільнення ґрунту ґрунтообробними МТА

Трактор	$G_m$ , кН	$f_{mp}$	$\eta_v$	СГМ	$G_m$ , кН	$f_m$	$\eta_m$	$B_p$ , м	$E_{уц}$ , МДж/га
John Deere 8345	180	0,08	0,98	John Deere 2260	10,5	0,1	1	10,2	14,86
Case IH STX 535	245	0,08	0,98	Kronos 8	115	0,1	1	7,7	39,88
John Deere 6930	58	0,1	0,98	Kronos 4	36,5	0,1	1	4	23,34
ХТЗ-150К-09	87	0,1	0,98	БД-10	44,5	0,1	1	7,4	17,54
John Deere 8345	180	0,1	0,98	СТЕП АГМ 5,9П	33	0,1	1	5,9	35,49

Як видно з результатів, наведених в табл 2.2., мінімальну енергію  $E_{уц}$  мають агрегати John Deere 8345 + John Deere 2260 (14,86 МДж/га) та ХТЗ-150К-09 + БД-10 (17,54 МДж/га). Розрахувавши площу ущільнення  $S$  (табл. 2.3) бачимо, що результати  $E_{уц}$  і  $S$  корелюють.

Таблиця 2.3 – Площа ущільнення рушіями тракторів у складі МТА на полі, площею 100 га

Трактор	СГМ	$B_p$ , м	Кількість проходів	Ширина сліду, м	Довжина гону, м	Площа ущільнення $S$ , га
John Deere 8345	John Deere 2260	10,2	98	0,71	920	12,81

Case IH STX 535	Kronos 8	7,7	135	0,8		19,91
John Deere 6930	Kronos 4	4	260	0,6		28,75
ХТЗ-150К-09	БД-10	7,4	141	0,65		16,84
John Deere 8345	СТЕП АГМ 5,9П	5,9	177	0,71		23,06

Тому, при проектуванні технологічних карт доцільно керуватися виділеними в таблицях 2.2 і 2.3 агрегатами.

При обґрунтуванні посівних агрегатів також будемо віддавати перевагу МТА, які можна використовувати і за мінімальних, і за нульових технологій. До таких відносяться агрегати з сівалками прямого посіву та універсальні сівалки типу John Deere 1890/95, Horsch Maestro 36.5 MW та ін.

Результати заносимо в табл 2.4.

Таблиця 2.4 – Енергія ущільнення ґрунту посівними МТА

Трактор	$G_m$ , кН	$f_{mp}$	$\eta_e$	СГМ	$G_m$ , кН	$f_m$	$\eta_m$	$V_p$ , м	$E_{уш}$ , МДж/га
John Deere 8345	180	0,12	0,98	John Deere 1895	134	0,12	1	12,2	30,53
Case IH MX 340	130	0,12	0,98	Turbosem II 19-60,	119	0,12	1	9,3	31,79
John Deere 6930	58	0,12	0,98	СЗ-4 "НІКА"	20,5	0,12	1	4	23,20
ХТЗ-150К-09	87	0,12	0,98	АПП-6	61	0,12	1	6	29,25
Case IH MX 340	130	0,12	0,98	Horsch Maestro 36,5	152	0,12	1	18	18,63

Як видно з даних, наведених в табл. 2.4, найменшу енергію ущільнення ґрунту мають агрегати John Deere 6930 + СЗ-4 «НІКА» - 23,2 МДж/га та агрегат Case IH MX 340 + Horsch Maestro 36,5 – 18.63 МДж/га. Ці агрегати можна планувати в залежності від площі обробітку, величини господарства і т.д.

Таблиця 2.5 – Площа ущільнення рушьями тракторів у складі посівних МТА на полі, площею 100 га

Трактор	СГМ	$B_p, м$	Кількість проходів	Ширина сліду, м	Довжина гону, м	Площа ущільнення $S, га$
John Deere 8345	John Deere 1895	12,2	82	0,71	920	10,71
Case IH MX 340	Turbosem II 19-60,	9,3	112	0,8		14,63
John Deere 6930	С3-4 "НІКА"	4	260	0,6		28,75
ХТЗ-150К-09	АПП-6	6	174	0,65		20,76
Case IH MX 340	Horsch Maestro 36,5	18	58	0,71		7,56

Результати розрахунків, наведені в табл. 2.5 показують, що раціональним агрегатом за критеріями  $E_{yц}$  і  $S$  які корелюють в обох таблицях є МТА Case IH MX 340 + Horsch Maestro 36,5. Посівний агрегат John Deere 6930 + С3-4 «НІКА», маючи невелику кількість енергії, затрачену на ущільнення ґрунту, має значну площі ущільнення через малу ширину захвату (4 м). Натомість, малу площу ущільнення мають агрегати John Deere 8345 + John Deere 1895 (10,71 га на полі, площею 100 га) та Case IH MX 340 + Turbosem II 19-60 (14,63 га).

Таким чином, раціональні за критеріями ущільнення ґрунту агрегати включаємо в технологічну карту вирощування с.-г. культур за ґрунтоощадними технологіями. Контроль фактичного ущільнення будемо здійснювати цифровим твердоміром S600 виробництва Skok Agro.

#### 2.4. Проектування технологій з урахуванням ущільнення ґрунту

Технологічна карта являє собою узгоджену в часі і просторі послідовне виконання технологічних операцій раціональними агрегатами. Сучасні технології вирощування с.-г. культур, на нашу думку, мають бути спроектовані з урахуванням сучасних вимог до сталого розвитку складних екотехносистем. Які б відповідали вимогам до таких екосистем, наведеним в роботі [15].

Розрахунки технологічних карт проводимо згідно з методикою [16].

Технологічну карту складаємо у вигляді таблиці у форматі Microsoft Excel та наводимо в додатках 1 і 2.

Порядковий номер технологічної операції навидимо в графі 1. Перелік операцій, агротехнічні вимоги, показники якості роботи, одиниці вимірювання, об'єм робіт та календарні і фактичні строки виконання робіт заносимо у відповідні графи 2, 3, 4, 5, 6, 7 технологічної карти (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Фрагмент технологічної карти вирощування пшениці озимої

№ п/п	Операції	Агротех вим	Од. виміру	Обсяг роботи	Строки виконання	
					календ.	трив. днів
1	2	3	4	5	6	7
1	Дискування	12-14см	га	110	20-26.07	7
2	Навантаження добрив	0,1 т/га	т	11	05-25.09	7
3	Транспортування добрив	0,1 т/га	т	11	05-25.09	7
4	Внесення добрив	0,1 т/га	га	110	05-25.09	7
5	Оранка	32 см	га	32	05-25.09	15
6	Ранньовесняне броронування	3 см	га	110	31.03-4.04	3
7	Культивація передпосівна	6-8см	га	110	15-30.04	6

До граф 9 – 11 вносимо обґрунтовані агрегати, які будуть виконувати технологічні операції. Агрегати також можуть бути обрані, з урахуванням наявної у підприємстві техніки (табл.2.7). В графі 12 записуємо кількість с.-г. машин, яка може бути в одному агрегаті.

Таблиця 2.7 – Фрагмент технологічної карти вирощування пшениці озимої; графи 9 – 15.

Склад агрегату			к-сть с.-г.м.	Виробіток		
трактор	зчіпка	с.-г. м.		за год	за зм.	за добу
9	10	11	12	13	14	15
John Deere 8345		ЛДГ-20	1	8,1	56,7	56,7
Maniteu			1	20	140	140
MT3-82.1		МВД-900	1	4,8	16,1	33,6
John Deere 8345		ЛДГ-20	1	7,1	49,6	56,7
John Deere 8345		John Deere 3310	1	2,3	16,4	16,4
John Deere 8345		БЗР-24	1	8,7	61	63,2
Maniteu			1	20	140	140

Для обраних (обґрунтованих) агрегатів визначаємо змінні норми виробітку і витрати пального з довідкової літератури або з записів хронометражу. Ці дані заносимо в технологічну карту відповідно граф 13-15.

На основі сконцентрованих таким чином даних, розраховуємо необхідні значення і результати обчислень заносимо у відповідні графи.

Такий параметр як «Агротехнічна тривалість виконання операцій» встановлюється у відповідності до основних агротехнічних вимог. Наприклад, згідно агровимог дискування стерні попередника не повинно перевищувати 7 днів. А тривалість робочого дня за добу встановлюється на основі режиму роботи в агропідприємстві з урахуванням характеру процесу, що виконується. Згідно КЗоТ, ми можемо планувати 7 годинний робочий день. При цьому, кількість змін може бути встановлена така: 1-змінна робота (7 годин робочого часу); 1,5 зміни (10,5 годин); 2 зміни (14 годин); 3 зміни (21 година). Один механізатор може працювати в одну або півтори зміни. При дво- або тризмінному плануванні робіт, необхідно планувати відповідно 2 або й 3 працівника.

При виконанні шкідливих робіт, наприклад, внесення добрив чи гербіцидів, тривалість зміни не повинна перевищувати 6 год.

Тривалість робочого дня визначаємо за формулою:

$$T_{доб} = T_{зм} \cdot K, \quad (2.5)$$

де  $T_{доб}$  – добова тривалість роботи агрегату, год.;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, год.;

$K$  – коефіцієнт змінності. Приймається в залежності від того, у скільки змін планується проведення робіт (1,0; 1,5; 2,0; 3,0).

Наприклад, якщо технологічну операцію проводимо в три зміни, то тривалість лушення агрегатом John Deere 8345+ЛДГ-20 визначимо з виразу:

$$T_{доб} = 7 \cdot 3 = 21 \text{ год.}$$

Результати планування роботи в змінах заносимо до графі (8).

В залежності від обсягу робіт, продуктивності агрегатів та агротехнічної тривалості робіт визначаємо кількість агрегатів (графі 16), необхідних для виконання даної роботи:



$$n = \frac{Q}{W_{\text{доб}} \cdot D_p}, \quad (2.6)$$

де  $n$  – кількість агрегатів;  $Q$  – обсяг робіт (графіа 5), га;  $W_{\text{доб}}$  – виробіток агрегату за добу, га/доб., т/доб.;  $D_p$  – агротехнічна тривалість виконання операції, діб.

Таблиця 2.8. – Фрагмент технологічної карти вирощування пшениці озимої; графіа 16 – 24.

Потрібно для виконання роботи			Витрати палива		Затрати праці, люд-год/га		К-сть нормо-змін	Обсяг роботи, у.е.га
агрегат.	тракторис.	доп. прац.	За нормою	На весь обсяг	На одиниц. роботи	На весь обсяг		
16	17	18	19	20	21	22	23	24
1,4	1		2	800	0,09	36	7,05	228,57
1,0	1		0,18	7,2	0,05	2	0,29	
3,0	3		1,1	440	0,63	250	11,90	41,71
1,4	3		2,4	960	0,42	169,4	8,06	228,57
1,0	3		18,5	7400	1,28	512,2	24,39	228,57
2,0	2		0,75	300	0,23	91,8	6,56	228,57

Наприклад, для виконання дискування агрегатом John Deere 8345+ЛДГ-20 стерні ячменю в агротехнічні терміни необхідну кількість агрегатів знайдемо за формулою (2.6):

$$n = \frac{100}{56,7 \cdot 7} = 0,25.$$

Отже, можемо прийняти для виконання даної операції 1 агрегат.

Витрату палива на одиницю роботи (на 1 га) визначаємо за довідковою літературою [10-13]. Витрату палива на весь обсяг робіт, (у нашому випадку це 100 га), знаходимо множенням даних графіа 5 на графу 19.

Затрати праці на одиницю роботи (графіа 21) знаходимо за формулою:

$$Z_n = \frac{m_{\text{мех}} + m_{\text{доп}}}{W_{\text{год}}}, \quad (2.7)$$

де  $Z_n$  – затрати праці, люд-год/га; люд-год/т; люд-год/м<sup>3</sup>;  $m_{\text{мех}}$  – кількість трактористів-машиністів, які обслуговують агрегат при роботі в одну зміну;  $m_{\text{доп}}$  – кількість допоміжних працівників, які обслуговують агрегат при роботі в одну зміну;  $W_{\text{год}}$  – годинний виробіток агрегату, га/год; т/год.

Кількість нормо-змін визначаємо окремо для кожного виду робіт за формулою:

$$H_{зм} = \frac{Q}{T_{зм} \cdot W_{год}}, \quad (2.8)$$

де  $H_{зм}$  – кількість нормозмін.

Так, кількість нормо-змін на луценні стерні попередника на площі 100 га агрегатом John Deere 8345+ЛДГ-20 складе:

$$H_{зм} = \frac{100}{7 \cdot 8,1} = 1,76.$$

Обсяг роботи в умовних еталонних гектарах знайдемо за формулою:

$$Q_{ум.ет.га} = H_{зм} \cdot W_{зм.ет}, \quad (2.9)$$

де  $Q_{ум.ет.га}$  – обсяг роботи в умовних еталонних гектарах.

Так, при виконанні операції луцення стерні попередника на площі 100 га агрегатом John Deere 8345+ЛДГ-20 обсяг роботи складе:

$$Q_{ум.ет.га} = 1,76 \cdot 4 \cdot 7 = 49,28. \text{ ум.ет.га}$$

Еталонний виробіток даного трактора за зміну визначають множенням коефіцієнта переведення його в умовні трактори на тривалість зміни в годинах.

Наприклад, коефіцієнти переведення деяких фізичних тракторів в еталонні такі: Т-150 – 1,6; ХТЗ-150К – 1,65; ЮМЗ-6 – 0,6; ДТ-75М – 1,1; МТЗ-82.1 – 0,73; МТЗ-1025 – 1,3. Для зарубіжних тракторів ці коефіцієнти є дещо більшими: John Deere 8345 —4 ум.ет.тр.; Case IH STX 535 – 5.

Аналогічно проводимо розрахунки за всіма іншими операціями і результати розрахунків заносимо в таблицю плану механізованих робіт.

Користуючись розробленим алгоритмом розробки технологічних карт, розробимо їх для вирощування декількох с.-г. культур з цифровим контролем твердості ґрунту.

**Висновок по розділу.** У розділі наведено математичну залежність площі  $S$ , ущільненої рушіями трактора John Deere 8345 від енергії, затрачену на ущіль-

льнення ґрунту  $E$ . Цю залежність можна описати рівнянням:  $S = 0,626 \cdot E - 1,526$  з достовірністю 98%.

Обґрунтовані раціональні ґрунтообробні та посівні агрегати, а також зернозбиральні комбайни, які мають мінімальну ущільнюючу дію на ґрунт.

### **3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ С.-Г. КУЛЬТУР З ЦИФРОВИМ КОНТРОЛЕМ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТІВ**

#### **3.1. Програма експерименту**

Польовий експеримент полягав у тому, щоб на поле виїхав агрегат. Потім по колії виміряли твердість ґрунту та ув'язали отримані дані із розрахунковими значеннями енергії, затраченої на ущільнення ґрунту та безпосередньо саму величину щільності ґрунту.

Для цього обрали контрольне поле, площею 20 га.

Обрали зернозбиральний комбайн MEGA 218 з жаткою, шириною захвату 6 м.

Для контролю обрали зернозбиральний комбайн Case IH 9240 на напівґусеничному ході.

Вимірювали твердість ґрунту по колії і між проходами агрегатів. Порівнювали твердість ґрунту.

На основі отриманих результатів здійснювали коригування структури МТА з найменшими затратами енергії на ущільнення ґрунту. Таким чином, внівши зміни в технологію вирощування с.-г. культур, отримаємо технологію з мінімально можливою деградацією ґрунтів за критерієм щільності.

### **3.2. Контроль твердості ґрунту по коліях агрегатів**

На обраному полі, з вмістом гумусу до 1,4 % (дуже мала його кількість, ґрунт збіднений) зернозбиральний комбайн MEGA 218 (рис.3.1) з характеристиками, наведеними в табл. 3.1 здійснив два проходи.

Потім по його слідах зробили вимірювання твердості ґрунту пенетрометром S600.

Згідно з розрахунками, наведеними в Розділі 2, площа ущільнення на еталонному полі (100 га) для цього комбайна складе 20,79 га, а енергія, затрачена на це ущільнення дорівнює 18,95 МДж/га.



Рис.3.1. Комбайн MEGA 218 на експериментальному полі.

Комбайн рухався з технологічною швидкістю 7,3 км/год, урожайність пшениці озимої – 3,2 т/га.

Таблиця 3.1 – Коротка характеристика зернозбирального комбайна  
MEGA 218 [20]

Параметр	Показник
Ширина захвату, м	6
Номінальна потужність двигуна, кВт	199
Ширина молотарки, мм	1580
Кількість клавiш соломотряса	6
Площа сепарації, м <sup>2</sup>	8,67
Площа очистки, м <sup>2</sup>	5,65
Місткість бункера, м <sup>3</sup>	8
Маса без жатки, кг	11060
Пропускна здатність, кг/с	14
Продуктивність по намолоченому зерну, т/год	18

Як видно з даних, отриманих твердоміром, твердість ґрунту після проходження комбайна складає 5000 кПа на глибині 19 см (рис.3.2). Допустиме значення твердості для забезпечення оптимальної структури ґрунту складає 3000 кПа і менше.

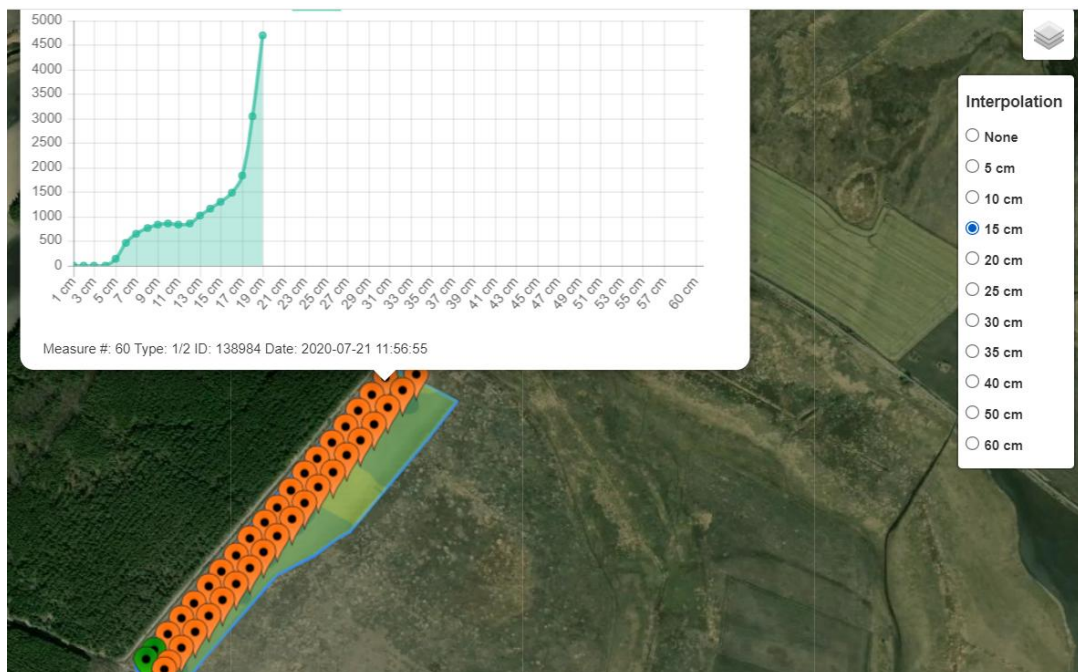


Рис. 3.2. Точки замірів та значення твердості ґрунту по сліду комбайна

Порівнюючи результати статистичного набору даних (рис.3.3), можемо зробити висновок, що усереднене значення оптимальної твердості ґрунту – 3000 кПа – перетинається на глибині 13...14 см і далі показник цього параметру зростає. Це свідчить про надмірний вплив рушіїв комбайна на ущільнення ґрунту, створення несприятливих ґрунтових умов. В такому разі необхідно проводити розущільнення ґрунту: оранка, глибоке рихлення, щілювання тощо. Встановлено взаємозв'язок між параметрами:  $S - E - T$  (площа ущільнення рушіями – енергія, затрачена на це ущільнення – твердість).

Таблиця 3.2 - Взаємозв'язок параметрів:  $S - E - T$  для комбайна MEGA 218

$S$ , га	$E$ , МДж/га	$T$ , кПа	$h^*$ , см
20,79	18,95	5000	19

\*критична глибина початку зони переущільненого ґрунту

Отже, виходячи з цих даних, з'ясовано, що даний комбайн при збиранні ранніх зернових колосових культур ущільнить поле до критичного значення 5000 кПа на площі 20,79 га. Критична глибина ущільнення – 19 см. Таким чином, даний комбайн, за наявності альтернатив має бути замінений на такі, що менше діють на деградацію ґрунтів.

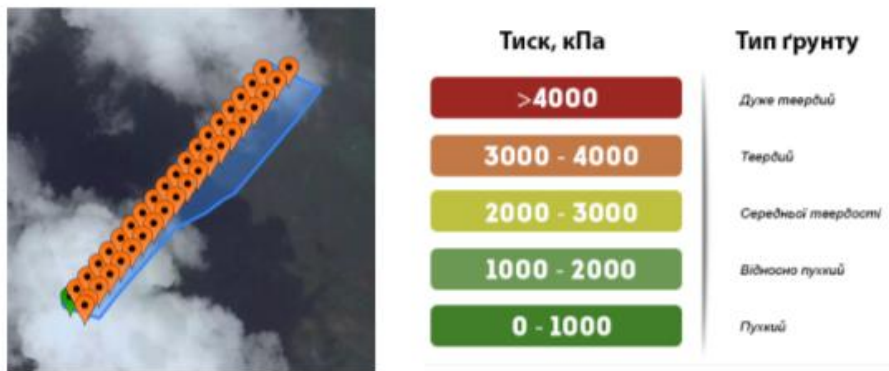
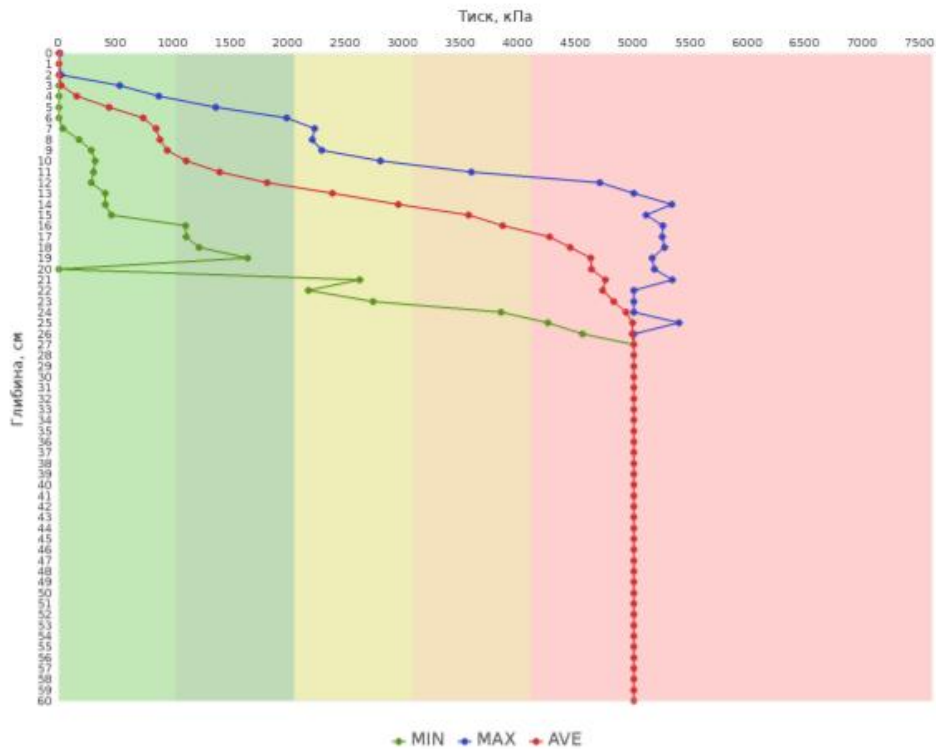


Рис. 3.3. Статистичний набір експериментальних даних твердості ґрунту.

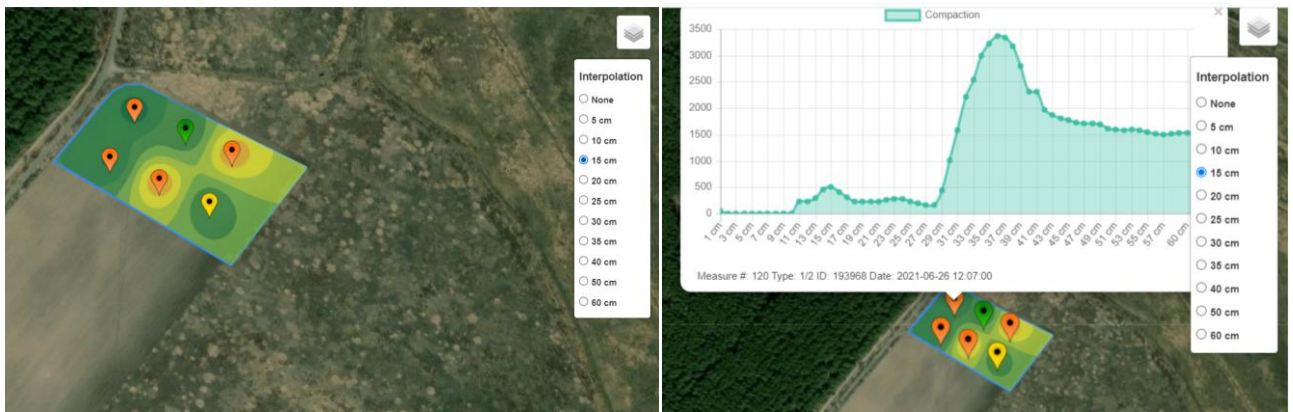
Таким чином, застосування комбайна MEGA 218 на збиранні врожаю є нерациональним з точки зору ущільнення ґрунтів.

Експериментальні дослідження роботи комбайна Case IH 9240 (рис.3.4) показали, що відносна площа ущільнення ґрунту рушіями комбайна склала близько 11,2 %. Показники твердості ґрунту при цьому набули іншого характеру (рис.3.5), ніж після використання комбайна MEGA 218. Так, виміряна твердість ґрунту на ділянці, де працював комбайн Case IH 9240, мала тенденцію до зниження цього параметра.





Рис.3.4. Комбайн Case IH 9240 на експериментальному полі.  
Ширина між суміжними проходами – 13,7 м.



а)

б)

Рис.3.5. Ділянка, на якій працював комбайн Case IH 9240 (а) та динаміка твердості в одній з типових точок (б).

Таблиця 3.3 - Взаємозв'язок параметрів:  $S$  –  $E$  –  $T$  для комбайна Case IH 9240

$S$ , га	$E$ , МДж/га	$T$ , кПа	$h^*$ , см
11,22	7,22	3368	34

Як показали результати вимірювань твердості ґрунту, значне ущільнення (більше 3000 кПа) розпочинається з глибини більше 34 см. Як видно з графіка



зміни твердості в залежності від глибини (рис.3.5, б), протягом всього орного шару ґрунту, його твердість має нормальні показники. Характерно, що при досягненні глибини 34...37 см, твердість зростає, а потім починає незначно спадати. Такий характер кривої означає процес формування плужної підшви. Однак, негативна дія рушіїв комбайна Case IH 9240 – мінімальна.

### **3.3. Результати проектування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур з цифровим контролем щільності ґрунту**

Згідно з результатами розрахунків, проведених в п. 2.3, методикою проектування технологічних карт, наведеною в п. 2.4 та експериментальними даними, отриманими в п.3.2, маємо достатню кількість вихідних даних для проектування ґрунтозахисних технологій.

#### *3.3.1. Технологія вирощування пшениці озимої.*

У проектну технологію включаємо обґрунтовані за критерієм мінімального ущільнення ґрунту агрегати (рис.3.6).

За спроектованою технологією вирощування пшениці озимої на полі, площею 100 га отримали такі основні результати (Додаток 1):

- енергія, затрачена всіма МТА на ущільнення ґрунту – 15821 МДж;
- витрата пального на весь обсяг робіт – 5799 кг;
- загальна площа ущільнення – 109,68 га.

Площа ущільнення – 109,68 га – означає, що площа слідів від МТА перевищує площу поля на 9,6 %. В технології задіяні два агрегати на напівгусеничному ході (трактор Case IH MX340 і комбайн Case 9240). Це дозволило значно зменшити рівень ущільнення ґрунтів. Моніторинг цифровим твердоміром дозволяє оперативного в реальному часі контролювати рівень твердості ґрунту та швидко реагувати на можливі зміни цього параметра. Для цього вводимо контроль твердості ґрунту в операціях № 5 і № 21.

№ п/п	Технологічна операція	Агротехнічні вимоги	Об'ємний вимір	Обсяг роботи	Строки виконання			Склад агрегату		
					календ.	триє. днів	Триє. роботи за добу	трактор	зчіпк.	с.-г. м.
1	Навантаження добрив	0,1 т/га	т	10	10.09.-20.09	3	14	Manitou		
2	Транспортування добрив	0,1 т/га	т	10	10.09.-20.09	3	14	МТЗ-80		2ПТС-4
3	Внесення добрив	0,1 т/га	га	100	10.09.-20.09	3	14	МТЗ-82.1		МВД-900
4	Лущення стерні попердника	6-8 см	га	100	10.09.-20.09	7	21	John Deere 8345		ЛДГ-20
5	Контроль твердості ґрунту	60 см	га	100	10.09.-20.09	1	7	Цифровий пенетрометр S 600		
6	Оранка	32 см	га	100	15.09.-25.09	5	14	John Deere 8345		John Deere 3810
7	Передпосівний обробіток	4-6 см	га	100	15.09.-25.09	5	21	John Deere 8345		John Deere 2210
8	Навантажування насіння	0,21 т/га	т	21	15.09.-25.09	5	21	Manitou		
9	Навантажування добрив N16P16K	0,3 т/га	т	10	15.09.-25.09	5	21	Manitou		
10	Підвезення насіння	0,21 т/га	т	21	15.09.-25.09	5	21	МТЗ-80		2ПТС-4
11	Підвезення мінеральних добрив	0,3 т/га	т	10	15.09.-25.09	5	21	МТЗ-80		2ПТС-4
12	Сієва з прикочуванням (напівгусеничний хід)	4-6 см	га	100	15.09.-25.09	5	21	Case IH MX 340		Turbosem II 19-60
13	Навантаження добрив	0,1 т/га	т	10	01.03.-20.03	3	14	Manitou		
14	Транспортування добрив	0,1 т/га	т	10	01.03.-20.03	3	14	МТЗ-80		2ПТС-4
15	Внесення добрив по мерзлоталому ґрунту	0,1 т/га	га	100	01.03.-20.03	3	14	МТЗ-82.1		МВД-900
16	Транспортування води	0,33 т/га	т	11	01.-10.05	5	12	DAF		Бочка
17	Внесення гербіцидів	0,33 т/га	т	11	01.-10.05	5	12	John Deere 4030		
18	Транспортування води	0,33 т/га	т	11	01.-10.06	5	12	DAF		Бочка
19	Внесення фунгіцидів та інсектицидів	0,33 т/га	т	100	01.-10.06	5	12	John Deere 4030		
20	Пряме комбайнування	5 т/га	га	100	07.07.-20.07	12	14	Case IH 9240		
21	Контроль твердості ґрунту	60 см	га	100	10.09.-20.09	1	7	Цифровий пенетрометр S 600		
22	Протипожежне чергування		га	100	07.07.-20.07	12	14	МТЗ-1025		ЛТД-3
23	Транспортування зерна на тік (розвантаження на краю поля)	6,5 т/га	т	650	07.07.-20.07	12	14	Volvo FN 13		ГБК-8527

Рис.3.6. Фрагмент (скрін) технологічної карти з обґрунтованими МТА

Контроль твердості ґрунту № 5 необхідний для визначення оптимальної глибини оранки. Контроль твердості ґрунту № 21 – для визначення стану ґрунту після збирання врожаю та планування подальших видів обробки ґрунту.

За формулою (1.1) визначили, що теоретична щільність ґрунту після збирання врожаю за спроектованою технологією складе  $\Pi_{нз} = 1,409 \text{ г/см}^3$ . Таким чином, загальна щільність не досягне критичного –  $1,5 \text{ г/см}^3$ . Однак, контроль твердості ґрунту рекомендуємо здійснювати на постійній основі.

Що стосується класичної технології вирощування пшениці озимої на полі, площею 100 га, то маємо такі основні результати (Додаток 2):

- енергія, затрачена всіма МТА на ущільнення ґрунту – 16789 МДж;
- витрата пального на весь обсяг робіт – 5859 кг;
- загальна площа ущільнення – 202,01 га.

Площа ущільнення – 202,01 га – означає, що площа слідів від МТА перевищує площу поля вдвічі, що характерно для класичних інтенсивних технологій.

Теоретична щільність ґрунту після збирання врожаю складе  $\rho_{nz} = 1,789$  г/см<sup>3</sup>.

Згідно з даними, наведеними в [4], урожайність зернових по слідах трактора зменшується до 27%. Таким чином, можемо отримати зниження урожайності до значення 4,75 т/га. Однак, враховуючи те, що ущільнена не вся площа поля, бо частина агрегатів рухатиметься по одному й тому ж сліду декілька разів, плануємо урожайність в межах 6,0 т/га.

Рівень екологічності за ущільненням ґрунту визначаємо за формулою

$$K_{euc} = \frac{\rho_{en}}{\rho_{nz}}, \quad (3.1)$$

де  $\rho_{en}$  – поріг ущільнення ґрунту;  $\rho_{en} = 1,5$  г/см<sup>3</sup>.

Для проектної технології  $K_{euc}^{проект} = 1,5 / 1,409 = 1,06$ ;

Для класичної технології  $K_{euc} = 1,5 / 1,789 = 0,83$ .

Якщо значення  $K_{euc}$  менше одиниці, то це свідчить про порушення екологічної безпеки стану ґрунту з точки зору критичного ущільнення.

Таким чином, розроблена технологія вирощування пшениці озимої з цифровим контролем твердості ґрунту є більш ефективна і екологічно безпечна у порівнянні з класичною.

*Технологія вирощування соняшника.* У проектну технологію вирощування соняшника включаємо обґрунтовані за критерієм мінімального ущільнення ґрунту агрегати (рис.3.7).

За спроектованою технологією вирощування соняшника на полі, приведеного до площі 100 га отримали такі основні результати (Додаток 3):

- енергія, затрачена всіма МТА на ущільнення ґрунту – 7129,43 МДж;
- витрата пального на весь обсяг робіт – 3162,9 кг;
- загальна площа ущільнення – 65,38 га.

№ з/п	Операції	Агротех вим	Об. виміру	Обсяг роботи	Строки виконання		Трив. Роботи за доб	Склад агрегату		
					календ.	трив. днів		трактор	зчілка	с.-г. м.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<b>Контроль твердості ґрунту</b>	<b>60 см</b>	<b>га</b>	<b>100</b>	<b>10.09-20.09</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>Цифровий пенетрометр S 600</b>		
2	Дискування	12-14см	га	100	20-26.07	7	10	John Deere 8345	John Deere 2266	
3	Навантаження добрив	0,1 т/га	т	10	05-25.09	7	14	Manitou		
4	Транспортування добрив	0,1 т/га	т	10	05-25.09	7	14	MT3-80		2ПТС-4
5	Внесення добрив	0,1 т/га	га	100	05-25.09	7	14	MT3-82.1		МВД-900
6	Вирівнювання і прочищення стерні попередника	3 см	га	100	31.03-4.04	3	14	Case IH MX 340		ЗБР-24
7	Навант. мін. добр.	0,16т/га	т	10	15-30,04	6	12	Manitou		
8	Перев мін добр	0,16т/га	т	10	15-30,04	6	12	MT3-82.1		2ПТС-4
9	Сівба	6-8см	га	100	15-30,04	6	12	Case IH MX 340		Horsch Maestro 36,5
10	Транспортування води	0,33 т/га	т	10	01.-10.05	5	12	ЮМЗ-6		ВР-3М
11	Внесення гербіцидів	0,33 т/га	т	10	01.-10.05	5	12	John Deere 4030		
12	Боронує до сход	3-4см	га	100	26,04-06,05	3	14	MT3-80		КТС-4
13	Міжряд обробіток з пригортанням	5-6см	га	100	01-10,06	3	14	MT3-80		КРН-5,6
14	Збирання врожаю	2,7 т/га	га	100	10-20,09	8	14	Case IH 9240		
15	<b>Контроль твердості ґрунту</b>	<b>60 см</b>	<b>га</b>	<b>100</b>	<b>10.09-20.09</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>Цифровий пенетрометр S 600</b>		
16	Перевез зерна	6км	т	270	10-20,09	8	14	Volvo FN 13		

Рис. 3.7. Фрагмент (скрін) технологічної карти вирощування соняшника з обґрунтованими МТА

Як видно з рис.3.7, в дану технологію, крім обґрунтованих МТА уводимо додаткові операції з контролю твердості ґрунту. Це операції № 1 і № 15. Контроль твердості ґрунту №1 проводимо відразу після збирання врожаю попередника.

Порівнюючи дані розробленої (Додаток 3) та класичної технології (Додаток 4) бачимо, що в проектній технології зменшено площу ущільнення ґрунту з 176,08 га до 65,38 га. Це зумовлено використанням широкозахватних МТА та агрегатів на напівгусеничному ході. Використання агрегатів з кратним значенням по ширині захвату також сприяє зменшенню деградації ґрунту за параметром ущільнення.

Виключення оранки та уведення агрегату для прямої сівби Case IH MX 340 + Horsch Maestro 36,5 сприятимуть збереженню структури ґрунту і сталому процесу його розущільнення.

Застосування таких МТА як Case IH MX 340 + ЗБР-24, Case IH MX 340 + Horsch Maestro 36,5 та інших, забезпечить зростання урожайності. Тому, в технологічній карті плануємо як мінімум збільшення урожайності до 2,7 т/га.

**Висновки по розділу.** Експериментами встановлено, що твердість ґрунту після проходу комбайна MEGA 218 складає 5000 кПа на глибині 19 см, що є значним перевищенням. Допустиме значення твердості для забезпечення оптимальної структури ґрунту складає 3000 кПа і менше. При застосуванні комбайна Case IH 9240, твердість ґрунту 3368 кПа досягається на глибині 34 см, що є кращим показником. Крім того, площі ущільнення рушіями комбайнів знижено з 20,79% до 11,22 % від загальної площі поля.

Розроблені ґрунтозахисні технології вирощування пшениці озимої та соняшника з цифровим контролем щільності ґрунту забезпечать зменшення величини ущільнення ґрунту: по пшениці озимій з 1,789 до 1,409 г/см<sup>3</sup>; по соняшнику – з 1,642 до 1,286 г/см<sup>3</sup>.

Таким чином, проведені дослідження та спроектовані технологічні заходи по зменшенню ущільнення ґрунту і його контролю є ефективними.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Загальні положення**

Так як ми ввели в технологічні карти вирощування пшениці озимої та соняшнику принципово нові операції контрольно-вимірювального характеру, то необхідно розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, які можуть виникнути при роботі з цифровим твердоміром у полі.

Покладаючись на статтю 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний розробити і затвердити інструкції з охорони праці, що діють у межах підприємства при впровадженні нових елементів у виробництві.

Згідно вказаного Закону, інструкції належать до нормативних актів про охорону праці, чинних у межах конкретного підприємства. Вони повинні бути затверджені власником підприємства (роботодавцем) і є обов'язковими для виконання і дотримання їх працівниками, для яких складені ці інструкції. Їх зміст має відповідати чинному законодавству України та вимогам нормативно-правових актів про охорону праці. В інструкції має вказуватися також, що порушення її виконання буде розглядатися як порушення трудової дисципліни з відповідальністю різного ступеня. В залежності від тяжкості порушень це може бути дисциплінарна, адміністративна або кримінальна відповідальність. Контроль за додержанням працівниками положень, викладених в інструкціях покладається на роботодавців.

### **4.2. Аналіз небезпечних факторів при проведенні контролю твердості ґрунту**

Згідно з технологічних карт (Додатки 1, 3) операція «Контроль твердості ґрунту» проводиться восени в межах 10 – 20 вересня. Це період помірно високих температур, запиленості. Як правило, вимірювання твердості ґрунту доцільно проводити відразу після збирання врожаю комбайном, то працівнику, зайнятому вимірюванням, доведеться працювати одночасно з комплексом техні-

ки: комбайнами, транспортними засобами. Можливо з бункерами-перевантажувачами.

Таким чином до небезпечних факторів при вимірювання твердості ґрунту можна віднести такі:

- вплив сонячного випромінювання;
- вплив вітру;
- обезводжування;
- негативна дія с.-г. техніки, що працює на близьких відстанях від оператора твердоміра та інші фактори.

Наведемо детальніше аналіз негативної дії кожного з наведених факторів.

Вплив сонячного випромінювання: веде до отримання сонячного або теплового удару; можуть проявлятися алергічні реакції шкіри, у тому числі, сонячні опіки, сухість тощо.

Вплив вітру: також сприяє підвищеній сухості шкіри, обвітрення рук, обличчя, інших відкритих частин тіла.

Обезводжування: як наслідок двох вищенаведених явищ. Також може проявлятися за відсутності денного запасу води в працівника, зайнятого на даній операції в полі протягом дня.

Негативна дія с.-г. техніки, що працює на близьких відстанях від оператора твердоміра: один з найнебезпечніших факторів, так як техніка, що працює близько від оператора може нанести травми. Наприклад, наїзд, поранення рухомими частинами, що відлетіли від агрегату внаслідок виходу з ладу (поламка, відрив і т.д.). Можуть бути випадки травмування людини технологічними матеріалами. Наприклад, рослинними рештками, що вилітають з подрібнювачами зернозбирального комбайна. В цілому, на ділянці поля, де ведуться збиральні роботи, проводиться вивантаження зерна, здійснюються розвороти агрегатів, знаходитись і виконувати інші роботи заборонено. Це стосується і проведення вимірювання твердості ґрунту.

Тому, необхідно правильно і раціонально планувати організаційні та технічні заходи по забезпеченню безпечних умов праці при вимірюванні твердості ґрунтів.

### **4.3. Організаційні та технічні заходи по створенню безпечних умов праці працівників**

Викладені у попередньому пункті небезпечні та шкідливі фактори можна усунути або не допустити чи зменшити їхній вплив на людину шляхом розробки організаційно-технічних заходів.

Для зручності користування, наведемо їх у вигляді таблиці.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та несприятливі фактори і способи їх усунення або зменшення

№ з/п	Небезпечний/несприятливий фактор	Спосіб усунення (зменшення впливу)
1	Сонячне випромінювання: - ультрафіолет  - інфрачервоне	Працювати в штаних і сорочці з довгими рукавами. Не працювати на полі без бавовняно-лляного легкого одягу світлого кольору. В сонячний день працювати на полі у вранішні та післяобідні години. Наявність головного убору. Легкий одяг світлого кольору, наявність запасу питної води не менше 1,5 л. Наявність головного убору.
2	Вітер	Використання захисних кремів, наявність головного убору, запасу води не менше 1,5 л.
3	Обезводжування	Наявність запасу води не менше 1,5 л.
4	Вплив дії техніки	Не підходити ближче 10 м до комбай-



		нів; МТА. Не знаходитись на ділянці завантажувально-розвантажувальних робіт, технологічних ліній, постійно тримати в полі зору працюючу техніку.
--	--	--

Щодо останнього пункту, наведеного в табл. 4.1 необхідно бути особливо уважним, бо розташування техніки в полі змінюється динамічно. Її постійно треба тримати в полі зору (рис.4.1).



Рис.4.1. Працююча техніка повинна бути завжди у полі зору працівника, що вимірює твердість ґрунту.

#### **4.4. Вимоги безпеки праці при вимірюванні твердості ґрунту**

##### *4.4.1. Вимоги безпеки праці перед початком роботи агрегату.*

Під час роботи з пенетрометром на полі, де працюють агрегати необхідно виконувати загальні вимоги безпеки, вказані у „Правилах техніки безпеки при роботі на тракторах, сільськогосподарських і спеціалізованих машинах”.

Оператору, що проводитиме вимірювання твердості ґрунту необхідно видати спецодяг яскравого кольору (жовтого, червоного), або забезпечити жилетом зі світловідбивними елементами. Це зробить дослідника помітним у полі на великих безпечних відстанях.

До роботи по виконанню вимірювання твердості ґрунту можуть бути допущені особи, які досягли 18 років, не мають медичних протипоказань для роботи на відкритому повітрі за наявності сонячних променів, пройшли навчання роботи з приладом, інструктажі з питань охорони праці.

Перед початком роботи необхідно:

1. Перевірити комплектність та справність пенетрометра S600 та його зв'язок із особистим кабінетом SkokAgro. Перевірити заряд акумуляторів твердоміра та мобільного телефону або планшета, який буде використовуватися як допоміжне обладнання.

2. Забезпечити запас питної води (не менше 1,5 л), мати при собі капелюх.

3. Якщо на поле прибули автомобілем, останній поставити в безпечне місце, щоб уникнути наїзду МТА, що працюють на полі.

4. Не розпочинати роботу за наявності ознак на несприятливі погодні умови. Вимірювання, проведені за різних кліматичних умов (після рясних дощів, з перервою більше двох тижнів), можуть призвести до викривлення результатів.

#### 4.4.2. Вимоги безпеки праці під час проведення робіт.

1. Під час проведення вимірювань на полі, де продовжують працювати МТА, оператор твердоміра повинен постійно тримати їх у полі зору.

2. Рухатись по полю найкоротшим шляхом від точки до точки, визначеної в навігаційних програмах (наприклад, Locus Map або GPS Viewer). Як приклад маршруту оператора по полю, наведено його траєкторію на рис.4.1.

3. Забороняється проводити ремонт твердоміра у відкритому полі, на сонці.



Рис.4.1. Приклад руху оператора по точках вимірювання в полі.

4. Відпочинок, перерву на обід робити тільки на краю поля у спеціально відведеному і безпечному місці.

5. Переїзд між полями та по дорогах загального користування необхідно проводити у відповідності з «Правилами дорожнього руху».

6. Дотримуватись правил безпеки при вимушеній роботі полі при сутінках.

#### *4.4.3. Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях.*

При роботі з твердоміром єдиною небезпекою можуть бути аварійні ситуації, пожежі на агрегатах, що працюють на тому полі, що й оператор з вимірювання ґрунту.

У разі виникнення пожежі на агрегатах, іншої надзвичайної ситуації необхідно:

- правильно оцінити обстановку;
- подбати про особисту безпеку, та безпеку осіб, що оточують агрегат або знаходяться поблизу нього;
- сповістити керівника робіт про аварійну ситуацію;
- викликати пожежну, або іншу рятувальну службу;
- у випадку пожежі прийняти заходи по запобіганню розповсюдження вогню (горіння стерні тощо), взяти участь у ліквідації осередку загорання;
- не під'їжджати на небезпечну відстань до агрегату, що загорівся іншими транспортними засобами, крім спецмашин.

У випадку травмування працівника слід надати йому першу долікарську допомогу, доповісти безпосередньому керівнику та викликати швидку медичну допомогу.

#### *4.4.4. Вимоги безпеки праці після виконання робіт.*

1. На краю поля передати на сервер виміряні твердоміром показники за допомогою GSM-зв'язку.

2. Пересвідчитися у відсутності пошкоджень, несправностей деталей твердоміра.

3. Дотримуючись правил безпеки, очистити твердомір чистою ганчіркою від залишків технологічного матеріалу, ґрунту.

4. Не застосовувати дизельне паливо, гас, бензин або мийні засоби для миття чи очищення деталей твердоміра.

5. Після очищення сухою ганчіркою, розібрати твердомір, а його елементи скласти у відповідності з інструкцією в спеціальний ящик або сумку.

**Висновки по розділу.** Визначені небезпечні фактори при роботі з твердоміром на полі: вплив сонячного випромінювання; вплив вітру; обезводжування; негативна дія с.-г. техніки, що працює на близьких відстанях від оператора твердоміра. Розроблені заходи безпеки праці при роботі з твердоміром, які враховують більшість імовірних виробничих ситуацій.

## **5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ**

### **5.1. Суть економічного ефекту**

Як було вказано вище даної роботи, урожайність по коліях тракторів знижується до 27%. Цифровий контроль твердості ґрунту дозволить уникнути його переущільнення, як локально, так і в цілому усереднено по полю. Суть економічного ефекту у розроблених технологіях полягає в підвищенні урожайності с.-г. культур за рахунок оптимізації щільності ґрунту. Оптимізація щільності досягається шляхом раціонального комплектування МТА, використання широкозахватних агрегатів, агрегатів з кратною шириною захвату. Агрегати з кратною шириною захвату також зменшують кількість неконтрольованих проходів МТА по полю. Агрегати рухаються по одних і тих же слідах. Також пропонуємо застосовувати агрегати на напівгусеничному ході.

Комплекс вказаних технічних та технологічних заходів за умови цифрового контролю щільності ґрунту твердоміром S600 і цифрової платформи SkokAgro забезпечать збереження структури ґрунту та підвищення урожаю.

### **5.2. Розрахунок економічної ефективності**

Для обґрунтованих технологій вирощування пшениці озимої та соняшника з цифровим контролем щільності ґрунту проведемо економічні розрахунки. Вихідні дані для розрахунків економічних показників всіх технологій, візьмемо з Додатків 1 – 4.

*Економічна ефективність ґрунтозахисної технології вирощування пшениці озимої.*

Визначаємо кількість палива, технологічних матеріалів, рівень експлуатаційних витрат, необхідних для вирощування пшениці на заданій площі (100 га).

Витрати на затрачене паливо розрахуємо за формулою:

$$Z_{\text{пал}} = C_{\text{пал}} \cdot Q_{\text{пал}}, \quad (5.1)$$

де:  $C_{\text{пал}}$  – ціна 1 кг дизельного палива. За останніми даними, ринкова ціна ціна 1 л, тобто 0,83 кг дизельного пального складає 31,5 грн. Тоді, вартість 1 кг пального дорівнює  $31,5 \cdot 1,2 = 37,8$  грн.;

$Q_{\text{пал}}$  – витрати палива на весь комплекс виконання робіт, кг (додатки 1, 2).

Визначено, що загальна витрата палива для вирощування пшениці озимої на площі 100 га складає:

- для розробленої ґрунтозахисної технології – 5799 кг (57,99 кг/га);
- для класичної технології – 5859 кг (58,59 кг/га).

Тоді, затрати на паливо-мастильні матеріали для виконання запланованого обсягу робіт складуть:

- для ґрунтозахисної технології:

$$Z_{\text{пал}}^{\text{ґрунтозах}} = 37,8 \cdot 5799 = \mathbf{219\ 202,2} \text{ грн.}$$

- для класичної:

$$Z_{\text{пал}}^{\text{класич}} = 37,8 \cdot 5859 = \mathbf{221\ 470,2} \text{ грн.}$$

Вартість посівного матеріалу для посіву дорівнює:

$$Z_{\text{нас}} = C_{\text{нас}} \cdot Q_{\text{нас}} = 7500 \cdot 21 = \mathbf{157\ 500} \text{ грн.}; \quad (5.4)$$

де  $C_{\text{нас}}$  – вартість однієї тонни посівного матеріалу, приймаємо 7500 грн.;  $Q_{\text{нас}}$  – кількість посівного матеріалу, необхідного для засівання площі 100 га, складає 21 тону. Для обох технологій плануємо однакову норму висіву – 210 кг/га.

Величину витрат на оплату праці визначимо через кількість людино-годин, затрачених на вирощування с.-г. культури для кожної з технологій за формулою:

$$Z_{\text{пл}} = C_{\text{пл}} \cdot Q_{\text{пл}}, \quad (5.5)$$

де  $C_{\text{пл}}$  – норма оплати однієї люд-год., грн.;

$Q_{\text{пл}}$  – загальна кількість затрат праці на виробництво продукції (беремо з плану механізованих робіт).

Для механізаторів, зайнятих на польових механізованих роботах тарифна ставка складає 455 грн/зм. Отже, вартість однієї люд-год складе  $455 : 7 = 65$  грн/год.

Враховуємо надбавку за класність механізатора - 20 %.

Тоді, разом з надбавкою, вартість оплати праці за люд.-год складе:

$$C_{nl} = 65 \cdot 1,2 = 78 \text{ грн.}$$

Враховуємо до цих витрат відрахування в соцстрах (19,5 %) та військовий збір (1,5 %).

Тоді, загальна сума відрахувань складе:  $78 \cdot 0,21 = 16,38$  грн.

Тоді, загальні витрати на оплату праці працівникам дорівнюють:

$$B_{nl} = 78 + 16,38 = 94,38 \text{ грн.}$$

З технологічних карт (додатки 1 і 2) знаходимо затрати праці  $Q_{nl}$  на виконання технологічних операцій:

- за ґрунтозахисної технології -  $Q_{nl}^{\text{ґрунтозахис}} = 1057,7$  люд.-год.;
- за класичної технології -  $Q_{nl}^{\text{класич}} = 1284,9$  люд.-год.

Тоді, затрати на оплату праці будуть дорівнювати:

- за ґрунтозахисної технології

$$Z_{nl} = 94,38 \cdot 1057,7 = \mathbf{99\ 825,73} \text{ грн.}$$

- за класичної технології:

$$Z_{nl} = 94,38 \cdot 1284,9 = \mathbf{121\ 268,86} \text{ грн.}$$

До ґрунтозахисної технології включимо витрати на вимірювання твердості ґрунту. Якщо послуга надається з боку, то вартість такого вимірювання коштує 60 грн./га. Якщо вимірювання проводити власними силами, то необхідно придбати твердомір (40 500 грн) та підтримку особистого кабінету (3000 грн/рік). На площі 100 га є очевидним, що краще проводити контроль твердості ґрунту, як послугу. Так як загальні витрати на цю послугу складуть 6000 га. Включаємо цю суму до загальних витрат.

Розраховуємо величину амортизаційних витрат техніки, задіяної у виробництві пшениці озимої.

Суму амортизації, розраховуємо виходячи з балансової вартості техніки [14]: для тракторів і сільськогосподарських машин – 22 %, для автомобілів – 34,4 %.

Вартість тракторів і с.-г. машин доцільно визначити, виходячи із плану механізованих робіт та зводимо дані по їх вартості в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Балансова вартість техніки, задіяної на вирощуванні пшениці озимої за ґрунтозахисною технологією

Назва	Кількість, од.	Вартість оди-ниці, грн.	Приведена вартість до 100 га*, грн.
<i>Трактори:</i>			
МТЗ-80	1	322 000	107 333
МТЗ-82.1	1	389 000	129 666
МТЗ-1025	1	925 000	154 000
John Deere 8345	1	4 175 000	139 166
Case IH MX 340	1	3 950 000	131 666
<i>Комбайни: Case IH 9240</i>	1	6 900 000	276 000
<i>Сівалка: Turbosem II 19-60</i>	1	2 100 000	42 000
<i>Культиватори: JD 2210</i>	1	824 000	54 933
<i>Плуги: JD 3810</i>	1	345 000	172 500
<i>Луцильники:</i>			
ЛТД-3	1	132 000	44 000
ЛДГ-20	1	540 000	54 000
<i>Обприскувачі:</i>			
John Deere 4030	1	7 560 000	75 600
<i>Інше:</i>			
2ПТС-4	1	101 000	33 666
МВД-900	1	18 000	
<i>Навантажувач Manitou</i>	1	215 000	21 500
<b>Всього, грн</b>			<b>1 358 364</b>

\*дану графу приводимо з міркувань, що техніка, викладена в технологічній карті застосовується на більших площах.



Загальна приведена до площі вирощування 100 га вартість с.-г. техніки складає – **1 358 364 грн.**

Отже, амортизаційні відрахування з тракторів і с.-г. машин складуть:

$$A = 0,22 \cdot 1\,358\,364 = \mathbf{298\,840 \text{ грн.}}$$

Загальні експлуатаційні витрати на вирощування пшениці озимої за розробленою ґрунтозахисною технологією з цифровим контролем щільності ґрунту знайдемо за формулою:

$$Z = Z_{\text{пал}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{пл}} + Z_{\text{аморт}} + Z_{\text{твердомір}} \quad (5.6)$$

де  $Z_{\text{пал}}$  – затрати на пальне, грн.;

$Z_{\text{нас}}$  – затрати на насіннєвий матеріал, грн.;

$Z_{\text{пл}}$  – затрати на оплату праці людей, грн.;

$Z_{\text{аморт}}$  – затрати на амортизацію техніки, що використовується в даній технології, грн.;

$Z_{\text{твердомір}}$  – затрати на послуги контролю пенетрометром. Проводимо контроль двічі на рік, отже  $Z_{\text{твердомір}} = 12\,000$  грн.

Підставимо розраховані на стор. 53...55 дані у формулу (5.6), отримаємо затрати на виробництво пшениці за ґрунтозахисною технологією:

$$Z_{\text{техн}}^{\text{ґрунтозахис}} = 219\,202,2 + 157\,500 + 99\,825,73 + 298\,840 + 12\,000 = \mathbf{787\,367,93}$$

грн.

Для того, щоб визначити суму амортизації та експлуатаційні витрати на вирощування пшениці озимої за класичною технологією, зведемо дані по техніці в табл. 5.2.

Вартість тракторів і с.-г. машин визначаємо, виходячи із плану механізованих робіт (див. у додатках) за класичною технологією та зводимо дані по їх вартості в табл. 5.2.

Розрахунок вартості техніки, віднесеної до 100 га беремо з умов річного навантаження на трактора або с.-г. машину. Наприклад, зернозбиральний комбайн Торум-785 фактично щосезону здатен збирати 1500 га і більше. При вартості 4 200 000 грн, на площу 100 га буде віднесено вартість 280 000 грн. Цю суму і вносимо в табл.5.2. Аналогічно розраховуємо віднесену до 100 га вартість решти техніки.

Таблиця 5.2. – Балансова вартість техніки, задіяної на вирощуванні пшениці озимої за класичною технологією

Назва	Кількість, од.	Вартість оди-ниці, грн.	Приведена вартість до 100 га*, грн.
<i>Трактори:</i>			
МТЗ-80	1	322 000	107 333
МТЗ-82.1	1	389 000	129 666
МТЗ-1025	1	925 000	154 000
John Deere 6930	1	1 674 000	279 900
Case STX 535	1	6 453 000	215 100
<i>Комбайни:</i> Торум 785	1	4 200 000	280 000
<i>Сівалка:</i> СЗМ-4 «НІКА»	1	478 000	119500
<i>Культиватори:</i> КПС-3	1	80 000	40000
<i>Плуги:</i> ПОН-3-35	1	235 000	235000
<i>Луцильники:</i>			
ЛТД-3	1	132 000	44 000
Kronos-8	1	753 000	188 250
<i>Обприскувачі:</i>			
ОП-2000	1	393 000	39 300
АПЖ-12	1	275 000	27 500
ВР-3М	1	12000	1200
<i>Інше:</i>			
2ПТС-4	1	101 000	33 666
МВД-900	1	18 000	1800
<i>Навантажувач</i> Manitou	1	215 000	21 500

Всього, грн	<b>1 382 250</b>
-------------	------------------

\*дану графу приводимо з міркувань, що техніка, викладена в технологічній карті застосовується на більших площах.

Загальна приведена до площі вирощування 100 га вартість с.-г. техніки за класичної технології вирощування складає – **1 382 250 грн.**

Знаходимо амортизаційні відрахування з тракторів і с.-г. машин складуть:

$$A = 0,22 \cdot 1\,382\,250 = \mathbf{304\,095 \text{ грн.}}$$

Підставимо розраховані на стор. 53...55 дані у формулу (5.6), отримаємо затрати на виробництво пшениці за класичною технологією:

$$Z_{\text{техн}}^{\text{класич}} = 221\,470,2 + 157\,500 + 121\,268,86 + 304\,095 = \mathbf{804\,334,06 \text{ грн.}}$$

Величину собівартості однієї тонни пшениці озимої знаходимо за формулою:

$$C = Z / U, \quad (5.7)$$

де  $U$  – валовий збір насіння пшениці, т.

$Z$  – загальні витрати на вирощування продукції, грн.

Згідно з розробленою ґрунтозахисною технологією плановий урожай з площі 100 га повинен скласти 650 тонн.

Тоді, собівартість однієї тонни урожаю дорівнює:

$$C = \mathbf{787367,93} / 650 = 1211 \text{ грн/т.}$$

Вартість пшениці другого класу за безготівковим розрахунком складає від 7200 грн./т.

Тоді, вартість вирощеної продукції, складе:

$$B_{np} = C_{\text{ни}} \cdot U = 7200 \cdot 650 = 4\,680\,000 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

де  $C_{\text{ни}}$  – ціна однієї тонни зерна пшениці, грн.

Прибуток від реалізації зерна пшениці, вирощеного за ґрунтозахисною технологією, знайдемо за формулою:

$$П = B_{np} - Z = 4\,680\,000 - 787367,93 = \mathbf{3\,892\,632,07 \text{ грн.}} \quad (5.9)$$

Обов'язково з отриманого прибутку вираховуємо аналогічну розрахованим затратам суму (близько 800 000 грн) на вирощування урожаю під наступний рік. Тому, загальний дохід зменшиться і остаточний прибуток складе:

$$П_ч = 3\,892\,632,07 - 800\,000 = \mathbf{3\,092\,632,07 \text{ грн.}}$$

Згідно Закону України № 5600, за кожен гектар ріллі необхідно сплатити до бюджету 1200 грн. Таким чином, відрахування в бюджет складуть 120 000 грн. Отже, плановий прибуток складе  $П_{ост} = 3\,092\,632,07 - 120\,000 = \mathbf{2\,972\,362,07 \text{ грн.}}$

Розраховуємо рівень рентабельності ґрунтозахисної технології вирощування пшениці озимої з цифровим контролем ущільнення ґрунту:

$$P = П \cdot 100 / З = (100 \cdot 2\,972\,362,07) / 787367,93 = 377\%.$$

*Економічна ефективність класичної технології.* Плановий урожай з площі 100 га повинен скласти 600 тонн.

Тоді, собівартість однієї тонни урожаю дорівнює:

$$С = 804\,334,06 / 600 = 1340 \text{ грн/т.}$$

Вартість пшениці другого класу за безготівковим розрахунком приймаємо таку ж: 7200 грн./т.

Тоді, вартість вирощеної продукції, складе:

$$B_{пр} = Ц_{ми} \cdot U = 7200 \cdot 600 = \mathbf{4\,320\,000 \text{ грн.}} \quad (5.8)$$

де  $Ц_{ми}$  – ціна однієї тонни зерна пшениці, грн.

Прибуток від реалізації зерна пшениці, вирощеного за класичною технологією, знайдемо за формулою:

$$П = B_{пр} - З = 4\,320\,000 - 804\,334,06 = \mathbf{3\,515\,665,94 \text{ грн.}} \quad (5.9)$$

Обов'язково з отриманого прибутку вираховуємо аналогічну розрахованим затратам суму (близько 805 000 грн) на вирощування урожаю під наступний рік. Тому, загальний дохід зменшиться і остаточний прибуток складе:

$$П_ч = 3\,515\,665,94 - 805\,000 = \mathbf{2\,710\,665,94 \text{ грн.}}$$

Згідно Закону України № 5600, за кожен гектар ріллі необхідно сплатити до бюджету 1200 грн. Таким чином, відрахування в бюджет складуть 120 000

грн. Отже, плановий прибуток складе  $\Pi_{ост} = 2\,710\,665,94 - 120\,000 = 2\,590\,665,94$  грн.

Розраховуємо рівень рентабельності класичної технології вирощування пшениці озимої:

$$P = \Pi \cdot 100 / Z = (100 \cdot 2\,710\,665,94) / 804\,334,06 = 337\%.$$

Отримані показники заносимо в табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Економічні показники технологій вирощування пшениці озимої

Параметр	Од. виміру	Технологія	
		Класична	Проектна (грунтозахисна)
Площа	га	100	100
Балансова вартість основних фондів, віднесених до 100 га	грн	1 382 250	1 358 364
Валовий збір зерна	т	600	650
Експлуатаційні витрати всього	грн	787 368	804 334
У тому числі:			
- пального		219 202	221 470
- насіння		157 500	157 500
- амортизація		298 840	304 095
- заробітна плата з нарахуванням		99 825	121 268
Виручка від реалізації	грн	4 680 000	4 320 000
Прибуток	грн	2 972 362	2 590 665
Затрати праці	люди-год	1058	1285
Рівень рентабельності	%	377	337

Отже, на основі проведених розрахунків економічної ефективності обгрунтованої ґрунтозахисної технології вирощування с.-г. культур на прикладі пшениці озимої, можна зробити висновок, що проектна технологія має вищу рента-

бельність. Крім того, запропоновано до впровадження заходи з цифрового контролю величини ущільнення ґрунту, що підвищить екологічні та економічні показники виробництва с.-г. продукції.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання дозволив виявити наступні особливості сучасного землеробства:

- зростання маси енергетичних засобів;
- виявлено закономірність сталого зростання величини тиску колісних рушіїв на ґрунт симбатно масі тракторів.

- показано, що тиск на ґрунт гусеничних тракторів менший в 4...10 разів, однак їх застосування обмежене через ряд причин, у тому числі економічних та технічних.

Да даному етапі розвитку технологій вирощування с.-г. культур виявлено, що ці технології реалізуються без детального урахування дії рушіїв на ущільнення ґрунту.

3. Наведено математичну залежність площі  $S$ , ущільненої рушіями трактора John Deere 8345 від енергії, затрачену на ущільнення ґрунту  $E$ . Цю залежність можна описати рівнянням:  $S = 0,626 \cdot E - 1,526$  з достовірністю 98%.

Обґрунтовані раціональні ґрунтообробні та посівні агрегати, а також зернозбиральні комбайни, які мають мінімальну ущільнюючу дію на ґрунт:

4. Експериментально встановлено, що твердість ґрунту після проходу комбайна MEGA 218 складає 5000 кПа на глибині 19 см, що є значним перевищенням. Допустиме значення твердості для забезпечення оптимальної структури ґрунту складає 3000 кПа і менше. При застосуванні комбайна Case IH 9240, твердість ґрунту 3368 кПа досягається на глибині 34 см, що є кращим показником. Крім того, площі ущільнення рушіями комбайнів знижено з 20,79% до 11,22 % від загальної площі поля.

Розроблені ґрунтозахисні технології вирощування пшениці озимої та соняшника з цифровим контролем щільності ґрунту забезпечать зменшення величини ущільнення ґрунту: по пшениці озимій з 1,789 до 1,409 г/см<sup>3</sup>; по соняшнику – з 1,642 до 1,286 г/см<sup>3</sup>.

Таким чином, проведені дослідження та спроектовані технологічні заходи по зменшенню ущільнення ґрунту і його контролю є ефективними.

5. Визначені небезпечні фактори при роботі з твердоміром на полі: вплив сонячного випромінювання; вплив вітру; обезводжування; негативна дія с.-г. техніки, що працює на близьких відстанях від оператора твердоміра. Розроблені заходи безпеки праці при роботі з твердоміром, які враховують більшість імовірних виробничих ситуацій.

6. На основі проведених розрахунків економічної ефективності обґрунтованої ґрунтозахисної технології вирощування с.-г. культур на прикладі пшениці озимої, можна зробити висновок, що проектна технологія має вищу рентабельність.

7. Запропоновані до впровадження заходи з цифрового контролю величини ущільнення ґрунту підвищать екологічні та економічні показники виробництва с.-г. продукції.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стан українських ґрунтів стає проблемою екологічної безпеки країни. Superagronom. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://superagronom.com/news/9421-stan-ukrayinskih-gruntiv-staye-problemoyu-ekologichnoyi-bezpeki-krayini>
2. Розвиток рушіїв сільськогосподарської техніки у новітньому періоді. Завод колісних систем Консіма. [Електронне джерело]. Режим доступу: <http://consima.com.ua/2018/11/04/rozvytok-rushiiv-sgt-unp/>.
3. Шини та ущільнення ґрунту: у чому проблема і де її рішення? Superagronom. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://superagronom.com/articles/396-shini-ta-uschilnennya-gruntu-u-chomu-problema-i-de-yiyi-rishennya>.
4. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень. – К.: Урожай, 1994. – 216 с.
5. Кобець А.С., Ільченко В.Ю., Бутенко В.Г. та ін. Дипломне проектування з машиновикористання в рослинництві: Навчальний посібник / За ред. А.С. Кобця. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2007. – 288 с.
6. ДСТУ 4521:2006 Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт.
7. Ущільнення ґрунту: диявол криється в деталях. Superagronom. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://superagronom.com/blog/452-uschilnennya-gruntu-diyavol-kriyetsya-v-detalyah>



8. Екологічні сільськогосподарські машини: методичні вказівки до виконання практичної роботи «Визначення твердості ґрунту» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 101 «Екологія» / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад. В.І. Пастухов, Р.В. Кириченко – Харків: [б. в.], 2019. – 12 с.
9. Особистий кабінет користувача SkokAgro. [Електронне джерело]. Режим доступу: [https://portal.skokagro.com/upload/pdf\\_60e94fc6e3821.pdf](https://portal.skokagro.com/upload/pdf_60e94fc6e3821.pdf)
10. Деркач О.Д. Перші результати проєкту «Технології цифрового землеробства». Пропозиція, № 11. 2019, с. 170 – 174.
11. Makharoblidze, R.M., Lagvilava, I. M., Basilashvili, B. B., &Khazhomia, R. M. (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis. *Annals of Agrarian Science*, 15 (3), 339-343.doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026.
12. Usowicz, B., & Lipiec, J. (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 174, 241-250. doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015.
13. Chamen, W. C. T., Moxey, A. P., Towers, W., Balana, B., & Hallett, P. D. (2015). Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil & Tillage Research*, 146 (Part A.), 10-25. doi: 10.1016/j.still.2014.09.011/
14. Практикум з використання машин у рослинництві. В.Ю. Ільченко, А.С. Кобець, В.П. Мельник та ін. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2002. – 212 с.
15. Устойчивое развитие сложных экотехносистем / Шемавнев В.И., Гордиенко Н.А., Дырда В.И., Забалуев В.А.. – Москва; Днепропетровск, 2005. – 355 с.
16. Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. За ред. проф. Ільченка В.Ю. - К.: Урожай, 1993. -288 с.
17. Механізовані польові роботи. Методика розрахунку, норми виробітку та витрати пального на збиранні сільськогосподарських культур / В.В. Вітвіцький, Н.М. Семененко, І.В. Лобастовий та ін.; за ред. В.В. Вітвіцького. – К.: УкрНДСагропром. Кн.2, 1997. – 274с.

18. Механізовані польові роботи. Методика розрахунку, норми виробітку та витрати пального на основний обробіток ґрунту / В.В. Вітвіцький, Н.М. Семененко, І.В. Лобастовий та ін.; За ред. В.В. Вітвіцького. – К.: УкрНДСагропром. Кн.4, 1996. – 655с.

19. Механізовані польові роботи. Методика розрахунку, норми виробітку та витрати пального на основний обробіток ґрунту / В.В. Вітвіцький, Н.М. Семененко, І.В. Лобастовий та ін.; За ред. В.В. Вітвіцького. – К.: УкрНДСагропром. Кн.3, 1996. – 480с.

20. Комбайн Клаас (Claas) MEGA 218 – технічні характеристики <http://combine.com.ua/mega-218>.

21. Довідник з охорони праці в сільському господарстві. За ред. С.Д. Лехмана. К.: Урожай, 1990, с. – 396.

## Додатки

Додаток 1

№	Обсяг роботи	Строки виконання		Триває робота в год	Склад агрегату		Виробіток		Потреба для виконання роботи			Витрати палива		Затрач. люд.			
		календ.	триє. днів		трактор	сільськогоспод.	за год	за м	за год	за м	шестигр.	шестигр.	шестигр.		шестигр.	за нормою	На весь обсяг роботи
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
п	10	10.09.-20.09	3	14	Манітоу	Манітоу	2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3	4,4	4,4	44,0	2,50
п	10	10.09.-20.09	3	14	МТЗ-80	МТЗ-80	2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3	4,4	4,4	44,0	2,50
в	100	10.09.-20.09	3	14	МТЗ-82.1	МВД-900	МТЗ-80	1	9,4	66	132	1	3	4,4	4,4	440,0	0,32
в	100	10.09.-20.09	7	21	John Deere 8345	ЛДД-20	John Deere 8345	1	7,5	53	158,4	1	3	4,4	4,4	440,0	0,40
в	100	10.09.-20.09	1	7	Цифровий ланцюг S 600	Цифровий ланцюг S 600	Цифровий ланцюг S 600	1	100								
в	100	15.09.-25.09	5	14	John Deere 8345	John Deere 3810	John Deere 8345	1	1,8	13	25,2	1	3	16,5	16,5	1650,0	1,67
в	100	15.09.-25.09	5	21	John Deere 8345	John Deere 2210	John Deere 8345	1	4,1	29	85,3	1	3	5,1	5,1	510,0	0,74
п	21	15.09.-25.09	5	21	Манітоу	Манітоу	Манітоу	1	20	140	420	1	3	0,18	0,18	3,8	0,15
п	10	15.09.-25.09	5	21	Манітоу	Манітоу	Манітоу	1	20	140	420	1	3	0,18	0,18	1,8	0,15
п	21	15.09.-25.09	5	21	МТЗ-80	МТЗ-80	2ПТС-4	1	3,8	27	79,8	1	2	0,68	0,68	14,3	0,53
п	10	15.09.-25.09	5	21	МТЗ-80	МТЗ-80	2ПТС-4	1	4,8	34	100,8	1	2	0,68	0,68	6,8	0,42
в	100	15.09.-25.09	5	21	Case IH MX 340	Case IH MX 340	Turbofarm II 19-60	2	10,9	76	228,0	0	3	4	8,2	820,0	0,64
п	10	01.03.-20.03	3	14	Манітоу	Манітоу	Манітоу	1	1,2	8,4	16,8	1	3	4,4	4,4	44,0	2,50
п	10	01.03.-20.03	3	14	МТЗ-80	МТЗ-80	2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3	4,4	4,4	44,0	2,50
в	100	01.03.-20.03	3	14	МТЗ-82.1	МВД-900	МТЗ-80	1	9,4	66	132	1	3	4,4	4,4	440,0	0,32
п	11	01.-10.05	5	12	DAF	Бочка	Бочка	1	3,21	19	38,52	1	2	1,28	1,28	14,1	0,62
п	11	01.-10.05	5	12	John Deere 4030	Бочка	Бочка	1	36,4	255	437,14	1	2	0,7	0,7	7,7	0,05
п	11	01.-10.06	5	12	DAF	Бочка	Бочка	1	3,21	19	38,52	1	2	1,28	1,28	14,1	0,62
п	100	01.-10.06	5	12	John Deere 4030	Бочка	Бочка	1	36,4	255	437,14	1	2	0,7	0,7	70,0	0,05
в	100	07.07.-20.07	12	14	Case IH 9240	Цифровий ланцюг S 600	Цифровий ланцюг S 600	1	3,14	22	44	1	2	2	14,3	1430,0	1,27
в	100	10.09.-20.09	1	7	Цифровий ланцюг S 600	Цифровий ланцюг S 600	Цифровий ланцюг S 600	1	100								
в	100	07.07.-20.07	12	14	МТЗ-1025	ЛТД-3	ЛТД-3	1	3,7	за неможливості	за неможливості	1	2	4,4	4,4	100,0	0,82
п	650	07.07.-20.07	12	14	Volvo FM 13	ГБК-3627	ГБК-3627	1	6,8	52	95,2	2	4	0,29	0,29	188,5	0,59
Витрата на 1 т продукції																	
5799,0																	
8,92																	

Додаток 2

**н механізованих робіт при вирощуванні озимої пшениці на площі 100 га (класична технологія)**

Обсяг робіт	Строки виконання		Склад агрегату			К-сть с.-м.	Виробіток			Потрібно для виконання роботи			Витрати палива		Загр. лк. на одиницю	
	календарні	триє. робіт	трактор	зічка	с.-м.		за год	за змі.	за добу	верста	трактор	доп.пр.	За нормою	На весь обсяг робіт		
5	6	7	8	9	10	11	#	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10	10.09-20.09	3	14	MTЗ-80	Manitou		1	1,2	8,4	16,8	1	3		4,4	44,0	2,1
10	10.09-20.09	3	14	MTЗ-82.1		2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3		4,4	44,0	2,1
100	10.09-20.09	3	14	MTЗ-82.1		МВД-900	1	9,4	66	132	1	3		4,4	440,0	0,1
100	10.09-20.09	7	21	Case IH 825X 335		Кросас 8	1	3,7	26	77,1	1	3		4,4	440,0	0,1
100	15.09-25.09	5	14	MTЗ-1025		ПОН-3-35	1	1,0	6,8	13,6	1	3		16,5	1650,0	3,1
100	15.09-25.09	5	21	MTЗ-82.1		КПС-3	1	22,0	154	462,0	1	3		5,1	510,0	0,1
21	15.09-25.09	5	21	Manitou			1	20	140	420	1	3		0,18	3,8	0,1
21	15.09-25.09	5	21	Manitou			1	20	140	420	1	3		0,18	3,8	0,1
21	15.09-25.09	5	21	MTЗ-80		2ПТС-4	1	3,8	27	79,8	1	2		0,68	14,3	0,1
10	15.09-25.09	5	21	MTЗ-80		2ПТС-4	1	4,8	34	100,8	1	2		0,68	6,8	0,1
100	15.09-25.09	5	21	John Deere 6830		СЗМ-4 "Ніка"	2	4,8	33	99,9	0	3	4	8,2	820,0	1,47
10	01.03-20.03	3	14	MTЗ-80		Manitou	1	1,2	8,4	16,8	1	3		4,4	44,0	2,1
10	01.03-20.03	3	14	MTЗ-80		2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3		4,4	44,0	2,1
100	01.03-20.03	3	14	MTЗ-82.1		МВД-900	1	9,4	66	132	1	3		4,4	440,0	0,1
11	01-10.05	5	12	ЮМЗ-6		ВР-3М	1	3,2	19	38,52	1	2		1,28	14,1	0,1
11	01-10.05	5	12	ЮМЗ-64КП		АПЖ-12	1	10,0	70	120	1	2		0,5	5,5	0,1
100	01-10.05	5	12	MTЗ-82.1		ОП-2000	1	8	56	96,17	1	2		0,7	70,0	0,1
11	01-10.06	5	12	ЮМЗ-6		ВР-3М	1	3,2	19	38,52	1	2		1,28	14,1	0,1
11	01-10.06	5	12	ЮМЗ-64КП		АПЖ-12	1	10,0	70	120	1	2		0,5	5,5	0,20
100	01-10.06	5	12	MTЗ-82.1		ОП-2000	1	8	56	96,17	1	2		0,7	70,0	0,1
100	07.07-20.07	12	14	Торум 785			1	3,1	22	44	1	2	2	14,3	1430,0	1,1
100	07.07-20.07	12	14	MTЗ-1025		ЛПД-3	1	3,7	за	за	1	2	2	4,4	100,0	0,1
600	07.07-20.07	12	14	КамАЗ-6320		ГБК-8527	1	6,8	52	95,2	2	4		0,29	174	0,1
															<b>Витрата на 1 т продукції</b>	<b>9,77</b>

**Додаток 3**

кв. виконання	Строки виконання		Склад агрегату			К-сть с.-м.	Виробіток			Потрібно для виконання роботи			Витрати палива
	календарні	триє. робіт	трактор	зічка	с.-м.		за год	за змі.	за добу	верста	трактор	доп.пр.	
20.09	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
5.09	7	10	John Deere 8345	John Deere 2286		1	3,67	25,70	36,71	2	2		
5.09	7	14	Manitou		2ПТС-4	1	1,2	8,4	16,8	1	3		
5.09	7	14	MTЗ-82.1		МВД-900	1	9,4	66	132	1	3		
4-04	3	14	Case IH MX 340		36P-24	1	6,1	42,6	85,2	1	1		2,1
2.04	6	12	Manitou			1	20	140	240	1	2		0,1
2.04	6	12	MTЗ-82.1		2ПТС-4	1	3,8	26,6	45,6	1	2		0,1
2.04	6	12	Case IH MX 340		Horsch Maestro 36,5	3	3,84	26,88	46,08	1	2	2	
0.05	5	12	ЮМЗ-6		ВР-3М	1	3,21	19,3	38,52	1	2		
0.05	5	12	John Deere 4030			1	36,429	255	437,1	1	2		
06.05	3	14	MTЗ-80		КПС-4	21	7,88	55,16	110,3	1	2		
2.06	3	14	Case IH 9240		КРН-5,6	1	1,96	13,72	27,44	2	4		
2.09	8	14	Case IH 9240			1	4,1429	29	58	1	2	2	
20.09	1	7	Цифровий пенетрометр S 600							100			
2.09	8	14	Volvo FM 13				6,8	52	95,2	2	4		0,1

Технологічна карта вирощування соняшнику на площі 100 га (класична технологія)

Р	Склад агрегату			К-сть с-г.м.	Виробіток			Потрібно ф. виконання роб.	
	трактор	зічківка	с-г.м.		за год	за м.	за добу	шведів	пшениці
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	МТЗ-82.1	ЛПД-3		1	3,67	25,70	36,71	2	2
14		Manitou		1	1,2	8,4	16,8	1	3
14	МТЗ-80	2ЛТС-4		1	1,2	8,4	16,8	1	3
14	МТЗ-82.1	МБД-900		1	9,4	66	132	1	3
14	МТЗ-1025	ЛОН-3-35		1	1,0	6,8	13,6	1	2
14	МТЗ-1025	ЗБР-24		1	6,1	42,6	85,2	1	1
10	МТЗ-1025	КПС-4 "Вояжик"		1	7,67	53,69	76,7	1	1
12		Manitou		1	2,0	14,0	24,0	1	2
12	МТЗ-82.1	2ЛТС-4		1	3,8	26,6	45,6	1	2
12	МТЗ-80	УПС-6		3	3,84	26,88	46,08	1	2
12	КОМЗ-6	ВР-3М		1	3,21	19,3	38,32	1	2
12	МТЗ-82.1	ОП-2000		1	8,01429	56,1	96,171	1	2
14	МТЗ-80	КПС-4		21	7,88	55,16	110,32	1	2
14	МТЗ-80	КРН-5,6		1	1,96	13,72	27,44	2	4
14	Торум 785			1	1,71	11,97	23,94	1	2
14	ЛамАЗ	ГБК-8527			6,8	52	95,2	2	4