

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**„ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТНОСТІ ҐРУНТІВ В ЗАХІДНІЙ
ЧАСТИНІ ЛІСОСТЕПУ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ЇХ РОЗУЩІЛЬНЕННЯ ”**

Виконав:

Здобувач вищої освіти освітнього ступеня
„Магістр” освітньо-професійної програми
„Агроінженерія” спеціальності Н7
„Агроінженерія” денної форми навчання
Павло ШАНДРУК

Керівник:

Професор **Борис КОТОВ**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

« ___ » грудня 2025 р.

Допускається до захисту:

„___” грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми
„Агроінженерія” спеціальності
208 „Агроінженерія”, доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	5
АНОТАЦІЯ.....	7
РЕФЕРАТ.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕ.....	12
1.1. Сучасний стан проблематики надмірного ущільнення ґрунтів.....	12
1.2. Ключові фактори та наслідки деградації структури ґрунтового середовища.....	13
1.3. Порівняльний аналіз технічних рішень у конструкціях пенетрометрів.	21
1.4. Структура, принципи функціонування та сфери використання пенетрометра.....	24
1.5. Фізико-механічні властивості ґрунтів та їх роль у розвитку корневих систем.....	27
Підсумкові положення до розділу 1.....	28
2. ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТІВ.....	30
2.1. Мехатронний пенетрометр автоматизованого типу: конструктивні особливості	30
2.2. Організація та методичні етапи проведення експериментальних робіт.	32
2.3. Базові емпіричні дані, отримані під час польових досліджень	33
Підсумкові положення до розділу 2.....	39
3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ПОКАЗНИКІВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ.....	40
3.1. Загальна характеристика умов та передумов досліджень.....	40
3.2. Агрофізичні параметри ділянки № 1	42

3.3. Агрофізичні параметри ділянки № 2.....	42
3.4. Агрофізичні параметри ділянки № 3.....	43
3.5. Агрофізичні параметри ділянки № 4.....	44
3.6. Агрофізичні параметри ділянки № 5.....	44
3.7. Агрофізичні параметри ділянки № 6.....	45
3.8. Агрофізичні параметри ділянки № 7.....	45
Підсумкові положення до розділу 3.....	46
4. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ҐРУНТООБРОБНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ.....	48
4.1. Загальні відомості щодо технологій глибокого розпушування.....	48
4.2. Технічні засоби для усунення надмірної щільності ґрунтів.....	48
4.3. Оцінка конструктивних рішень робочих органів глибокорозпушувачів та агрегатів обробітку ґрунту.....	54
4.4. Формування оптимального складу ґрунтообробного комплексу, спрямованого на розущільнення ґрунтів.....	57
Підсумкові положення до розділу 4.....	59
5. СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЕНЕТРОМЕТРА ТА ОЦІНКА ЙОГО РИНКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ.....	61
5.1. Концепція та ключові технічні ідеї проєкту.....	61
5.2. Програмно-апаратні рішення, застосовані у розробці.....	62
5.3. Оцінювання комерційних перспектив та конкурентного середовища...	62
5.4. Формування стратегії виведення продукту на ринок.....	69
5.5. Розроблення маркетингової моделі просування автоматизованого пенетрометра.....	72
Підсумкові положення до розділу 5.....	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	85

Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Система ґрунт-рослина.
2. Затримування вологи.
3. Розвиток кореневої системи рослин.
4. Схема «Плужної підшви».
5. Вплив фізичних властивостей ґрунту на кореневу систему рослин.
6. Замірювання твердості ґрунту пенетрометром.
7. Номограма переведення показників манометра пенетрометра.
8. Числові та якісні показники ґрунту.
9. Карта точок координат поля.
10. Глибина занурення щупа.
11. Картограма землекористування аграрної компанії «VITAGRO».
12. Машино-тракторний агрегат для розуцільнення ґрунту.
13. Ідея проєкту розробки автоматичного пенетрометра.
14. Загальні висновки і пропозиції.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність Н7 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор **Анатолій РУДЬ**
„4”квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти

ШАНДРУКУ
Павлу Андрійовичу

Тема роботи: „ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТНОСТІ ГРУНТІВ
В ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЛІСОСТЕПУ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ
ДЛЯ ЇХ РОЗУЩІЛЬНЕННЯ”

Керівник роботи: професор, КОТОВ Борис Іванович
Затверджено наказом по Закладу вищої освіти «Подільський державний
університет» від «4»квітня 2025 року №355с.

Строк подання здобувачем вищої освіти закінченої кваліфікаційної
роботи 2 грудня 2025 року.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література з дослідження твердості ґрунтів та результати дослідження виконаного госпдоговору.
2. Умови господарського договору з аграрною компанією «VITAGRO» Кам'янець-Подільського та Хмельницького районів Хмельницької області.
3. Результати дослідження твердості ґрунтів на полях аграрної компанії «VITAGRO».

Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналітичний огляд теоретичних і технічних джерел.
2. Програма досліджень та практичні підходи до оцінювання твердості ґрунтів.
3. Аналіз отриманих показників твердості ґрунтових масивів.
4. Вибір і розрахунок ґрунтообробних комплексів для зниження ущільнення ґрунтів.
5. Створення автоматизованого пенетрометра та оцінка його ринкового потенціалу.

Загальні висновки і пропозиції.

Список використаних джерел.

Додатки

Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Система ґрунт-рослина.
2. Затримування вологи.
3. Розвиток кореневої системи рослин.
4. Схема «плужної підшви».
5. Вплив фізичних властивостей ґрунту на кореневу систему рослин.
6. Замірювання твердості ґрунту пенетрометром.
7. Номограма переведення показників пенетрометра.
8. Числові та якісні показники ґрунту.
9. Карта точок координат поля.
10. Глибина занурення щупа.
11. Картограма землекористування аграрної компанії «VITAGRO».
12. Машино-тракторний агрегат для розушільнення ґрунту.
13. Ідея проєкту розробки автоматичного пенетрометра.
14. Загальні висновки і пропозиції.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль і захист прав інтелектуальної власності	Корчак М.М., доцент	04.04.2025	04.04.2025

Дата видачі завдання 4 квітня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Підпис керівника
	Вступ	11.04.2025	
1	Аналітичний огляд теоретичних і технічних джерел.	02.05.2025	
2	Програма досліджень та практичні підходи до оцінювання твердості ґрунтів.	21.05.2025	
3	Аналіз отриманих показників твердості ґрунтових масивів.	05.06.2025	
4	Вибір і розрахунок ґрунтообробних комплексів для зниження ущільнення ґрунтів.	27.08.2025	
5	Створення автоматизованого пенетрометра та оцінка його ринкового потенціалу.	25.09.2025	
	Загальні висновки і пропозиції.	07.10.2025	
	Список використаних джерел.	12.11.2025	
	Додатки.	27.11.2025	

Здобувач вищої освіти

Павло ШАНДРУК

Керівник кваліфікаційної роботи, професор

Борис КОТОВ

АНОТАЦІЯ

У магістерській кваліфікаційній роботі Шандрука П.А. проведено аналіз ущільненості ґрунтів у західному регіоні лісостепу, сформовано рекомендації щодо їх розпушування та підготовлено технічну документацію для створення автоматизованого пенетрометра.

THE SUMMARY

In his master's thesis, Shandruk P.A. analyzed soil compaction in the western forest-steppe region, formulated recommendations for loosening the soil, and prepared technical documentation for the creation of an automated penetrometer.

РЕФЕРАТ

Шандрук П.А. Дослідження компактності ґрунтів в Західній частині лісостепу та розробка рекомендацій для їх розуцільнення (Кваліфікаційна робота). Кам'янець-Подільський, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025, – 77 с., 14 аркушів ілюстративного матеріалу А4 та електронна версія презентації.

У роботі представлено вступ та аргументацію вибору теми. На основі аналізу науково-технічних джерел і результатів вимірювання твердості ґрунтів на полях аграрної компанії «VITAGRO» у межах виконання господарського договору розроблено програму та методика дослідження твердості ґрунтів із використанням ручного пенетрометра РП-1, яким здійснювалися польові вимірювання. Для забезпечення ефективного розуцільнення ґрунтів визначено склад ґрунтообробних агрегатів, а також створено технічну документацію для виготовлення автоматизованого пенетрометра.

Ключові слова: компактність ґрунтів, ґрунтове ущільнення, лісостеп Західний регіон, фізичні властивості ґрунту, щільність складення, агрофізичні показники, пенетраційний опір, структурний стан ґрунтів, ерозійна стійкість, обробіток ґрунту, глибоке рихлення, протиущільнювальні заходи, оптимізація агротехніки, відновлення пористості, водопроникність ґрунтів, родючість ґрунту, деградація земель, моніторинг стану ґрунтів, агроландшафти лісостепу, екологічно безпечні технології землеробства

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ,
СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ**

Скорочення	Розшифровка скорочень
ДРМ	Дипломна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
РП-1	Ручний пенетрометр
СеоМіе 200 kN (20 m)	Гідравлічний пенетрометр
T_m	Твердість переуцільненого ґрунту, кг/см ²
PSI	Розмірність - Фунт на квадратний дюйм
P	Тяговий опір ґрунтообробного знаряддя, кг
f	Коефіцієнт тертя ґрунт по сталі
G	Вага ґрунтообробного знаряддя, кг
m	Співвідношення між питомим опором і твердістю ґрунту
T_c	Середня твердість шару ґрунту
a	Глибина обробітку ґрунту, м
b	Ширина захвату ґрунтообробного знаряддя, м
y	Урожайність, т/га
МТА	Машинно-тракторний агрегат
ХТЗ Т-150	Трактор класу 3,0
ПЧ-2,5	Плуг чизельний
ТЕП	Техніко-економічні показники

ВСТУП

Актуальність теми

Ґрунт є головним джерелом живлення для сільськогосподарських культур. Щоб отримати високий урожай, його стан, структура та фізичні властивості повинні відповідати оптимальним умовам росту рослин. При надмірній твердості ґрунту виникає ущільнення, яке ускладнює розвиток первинного корінця та знижує надходження поживних речовин у період підвищеної вологості, що значно погіршує проростання насіння [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 58, 59].

Зниження врожайності культур відбувається через деформацію кореневої системи на ущільнених ділянках, де вона концентрується у менш щільних прошарках ґрунту. Проникнення коренів у щільний ґрунт є слабким, тому до 75% їх маси зосереджується у шарі 8–10 см.

До негативних чинників, що впливають на водно-фізичні властивості ґрунту при його ущільненні, належать:

- зростання щільності та твердості ґрунту (за різними даними – на глибину 25–110 см);
- зменшення проникнення атмосферної вологи, що різко погіршує умови для розвитку кореневої системи.

Дослідження показали, що відхилення об'ємної маси ґрунту від оптимальної на 0,2–0,4 г/см³ призводить до зниження врожайності на 25–40%.

Мета і задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи є визначення твердості ґрунтів за допомогою автоматичного пенетрометра, оснащеного мехатронною системою керування та GPS-навігацією, що дозволяє отримувати дані про якість обробітку ґрунту. Прилад є мобільним і може встановлюватися на будь-яку транспортну платформу (вантажівку, трактор, позашляховик).

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести дослідження твердості ґрунтів на полях аграрної компанії «VINAGRO» у Кам'янець-Подільському та Хмельницькому районах Хмельницької області;
- мінімізувати вплив «людського фактора», зокрема нерівномірний тиск на тензометричний датчик, підвищити точність вимірювань та забезпечити швидкість до одного проколу за хвилину на гектарній сітці з урахуванням переміщень між точками;
- забезпечити можливість безперервної роботи в польових умовах із керуванням процесом з кабіни автомобіля та живленням від акумулятора 12V;
- організувати транспортування пенетрометра дорогами з інтенсивним рухом;
- створити умови для зручного користування та відображення результатів під час досліджень;
- обґрунтувати склад ґрунтообробних агрегатів для розуцільнення ґрунтів на полях компанії «VINAGRO» у Кам'янець-Подільському та Хмельницькому районах.

Методи досліджень

Теоретичні розрахунки пневматичних систем ґрунтуються на законах газової механіки, гідравліки та фізичних процесів. Експериментальні дослідження проводилися на реальних об'єктах для внесення коректив у застосовану модель та розрахункові залежності.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Сучасний стан проблематики надмірного ущільнення ґрунтів

Ґрунт є основним джерелом живлення для культурних рослин. Щоб забезпечити високий урожай, його стан, склад та фізичні характеристики повинні відповідати оптимальним умовам росту рослин. (рис. 1.1). [11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58].



Рисунок 1.1 – Система ґрунт-рослина: 1 – рослина; 2 – корінь; 3 – ґрунт.

При надмірній твердості ґрунту утворюється ущільнення, яке ускладнює нормальний розвиток первинного корінця та знижує надходження поживних речовин у період підвищеної вологості, що значно впливає на проростання насіння. Зменшення врожайності відбувається через деформацію кореневої системи на ущільнених ділянках, де вона зосереджується у шарах із меншою щільністю ґрунту. Проникнення коренів у щільний ґрунт є слабким, тому близько 75% їх маси розташовується у шарі 8–10 см.

1.2. Ключові фактори та наслідки деградації структури ґрунтового середовища

Навіть у зонах із достатнім рівнем зволоження високопродуктивні землі поступово виходять з використання. Різке падіння родючості ґрунтів зумовлене нераціональним упровадженням сучасних технологій та застосуванням енергомістких машин і агрегатів, які негативно впливають на ґрунт, посилюючи процеси водної та вітрової ерозії. Інтенсивна механічна обробка із використанням важких тракторів та знарядь спричиняє надмірне ущільнення ґрунту. Найбільші деформації під час проходження техніки спостерігаються у верхньому шарі ґрунту на глибині 0–15 см [11, 12, 22, 44, 49, 54, 55, 56, 57, 58, 59].

Основні наслідки ущільнення ґрунту полягають у наступному:

- ущільнені ґрунти стають значно твердішими та важчими для обробітку;
- ущільнення порушує природний водний режим ґрунту, затримуючи вологу на поверхні поля та обмежуючи здатність рослин засвоювати воду й поживні речовини з глибших шарів ґрунту (рис. 1.2, 1.3).



Рисунок 1.2 - Затримування гравітаційної вологи у верхніх шарах над ущільненим ґрунтом



Рисунок 1.4 - Розвиток кореневої системи рослин у переуцільненому ґрунті

Таким чином, виникають такі питання:

- а) Яким способом визначити проблему переуцільнення ґрунту?
- б) Наскільки інтенсивно та на яку глибину він уцільнений?
- в) Яка фактична глибина проведеного обробітку ґрунту?
- г) Якої глибини потребує обробка переуцільненого ґрунту?
- д) До якої глибини здатні проникати корені рослин?
- ж) Чи сприяє система обробітку ґрунту вирішенню проблеми, чи навпаки її поглиблює?

Застосування пенетрометра для тестування компактності ґрунту дозволяє швидко та ефективно отримати відповіді на всі ці питання: визначити наявність

переуцільнення, його силу та глибину, встановити фактичну та необхідну глибину обробітку, оцінити можливості проникнення коренів, а також з'ясувати, чи система обробітку ґрунту є корисною чи шкідливою.



Рисунок 1.5. Розвиток кореневої системи рослин у непереуцільненому ґрунті

Під час виконання польових робіт трактори з додатковим обладнанням спричиняють додаткове ущільнення ґрунту та погіршення його властивостей. Особливо навесні, коли ґрунт має підвищену вологість, техніка вагою близько 12000 кг здатна ущільнювати його до глибини приблизно 0,9 м. За умови використання обладнання маса трактора може досягати 22 т. У результаті поступово формується переуцільнений шар, що розташовується нижче рівня обробітку. Такий шар отримав назву «плужна підошва» (рис. 1.6) [8, 10, 11, 12, 18, 22, 26, 34, 37, 43, 44, 45, 49, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58].

що негативно впливає на розвиток рослин. У денний час ущільнений ґрунт нагрівається швидше, а ввечері – інтенсивніше охолоджується. Амплітуда температурних коливань у ньому значно більша, ніж у неущільненому [48, 49, 57, 58].

Основні наслідки переущільнення ґрунту:

- ускладнення процесу оранки;
- порушення циркуляції води та повітря між верхніми й нижніми шарами;
- збільшення об'ємної маси та зменшення пористості, що скорочує кількість вільної води й повітря у порах;
- зниження рівня вологозабезпечення рослин;
- погіршення водно-фізичних властивостей: пористості, вологості, швидкості проникнення поливної води, водопровідності;
- зменшення обміну речовин із навколишнім середовищем, посилення поверхневого стоку та утворення заглиблень на полях;
- порушення формування кореневої системи.

Застій води на полях та вимивання рослин у кінцевому результаті знижують родючість на 7–22%, а іноді й більше. Часто аграрії не приділяють уваги проблемі переущільнення, що призводить до недобору врожаю навіть за умов внесення значної кількості добрив, використання якісного насіння та додаткового поливу. У щільному ґрунті рослини не здатні реалізувати свій генетичний потенціал і засвоїти поживні речовини, що спричиняє додаткові економічні втрати.

З кожним роком зростає усвідомлення того, що застосування нових технічних рішень є ефективним способом боротьби з переущільненням. Одним із ключових методів є маршрутизація руху машинно-тракторних агрегатів (МТА), яка дозволяє зменшити площу ущільнення при вирощуванні основних культур (жито, пшениця, буряки, соняшник, кукурудза) у 1,8–2,8 рази. Правильна маршрутизація руху тракторів знижує кількість проходів по полю, оптимізує польові роботи, скорочує витрати палива та підвищує продуктивність культур.

Маршрутизація є простим і дієвим способом зменшення негативного впливу МТА на ґрунт, проте її впровадження ускладнюється різними габаритами захвату техніки. Наприклад, культиватор КПС-4 має ширину захвату близько 4 м, а

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

1.3. Порівняльний аналіз технічних рішень у конструкціях пенетрометрів

Ручний пенетрометр РП-1 з механічною шкалою (рис. 1.8, 1.9) використовується для зондування слабких ґрунтів. Прилад дає можливість визначати питомий опір ґрунту за конусом зонда Q_z у випадках, коли ґрунт має невисокий рівень ущільнення [29].



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд ручного пенетрометра з механічною шкалою

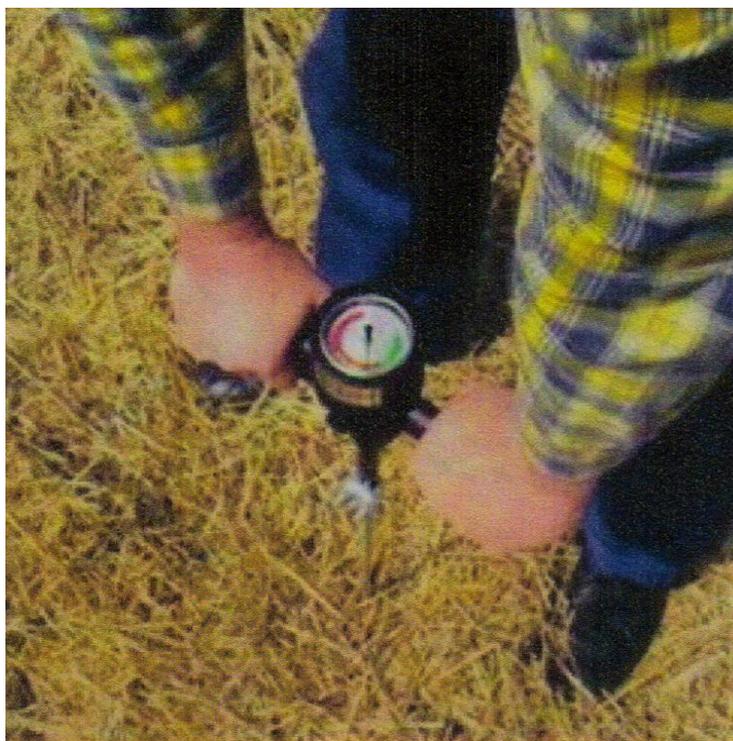


Рисунок 1.9 - Замірювання твердості ґрунту ручним пенетрометром



Добрий стан
Зелений колір шкали

Задовільний стан
Жовтий колір шкали

Поганий стан
Червоний колір шкали

Рисунок 1.13 - Візуальна характеристика стану ґрунту.

1.5. Фізико-механічні властивості ґрунтів та їх роль у розвитку кореневих систем

Характеристики ґрунту та їхній вплив на формування й розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 1.1

Числові та якісні параметри ґрунту

Колір шкали	Тиск, необхідний для проникнення в ґрунт		Характеристика розвитку кореневої системи рослин сільськогосподарських культур
Зелений	0...200 PSI	0...13,6 кг/см ²	Можливий добрий розвиток кореневої системи рослин.
Жовтий	200...300 PSI	13,6...20,4 кг/см ²	Можливий достатній розвиток кореневої системи рослин.
Червоний	Більше 300 PSI	20,4 і більше кг/см ²	Розвиток кореневої системи рослин неможливий.

Проведення таких вимірювань на різних ділянках поля дозволяє визначити глибину залягання плужної підшви та встановити її товщину.

Зелений сектор шкали означає, що ґрунт має значну кількість макро- та мікропор, його структура є якісною.

Жовтий сектор свідчить про зменшення кількості пор, структура ґрунту оцінюється як задовільна.

Червоний сектор вказує на повну відсутність пор, ґрунт являє собою щільний масив без структури з гладкою поверхнею.

Підсумкові положення до розділу 1

1. Сьогодні особливої актуальності набуває автоматизація різних процесів, зокрема й у сфері сільського господарства. Одним із важливих напрямів є автоматизоване визначення якості ґрунту, а саме його щільності перед проведенням посівних робіт.

2. Одним із перспективних рішень є застосування пенетрометрів у поєднанні з комп'ютерним моделюванням оптимальної послідовності обробітку ґрунту. Запропоновано створити механізований пенетрометр, оснащений системою комп'ютерного керування.

3. Аналіз основних принципів функціонування пневматичних систем дав можливість обрати схему мехатронного комплексу з пневматичним приводом для автоматизованого пенетрометра.

4. Пенетрометр є інструментом агронома-практика та дослідника, який використовується для визначення й аналізу фізико-механічних характеристик ґрунту як об'єкта агротехнологічного обробітку при вирощуванні рослинницької продукції.

5. За допомогою пенетрометра можна встановити факт переущільнення ґрунту як в орному, так і в підорному шарі. Це визначається положенням стрілки манометра в червоній зоні внутрішньої або зовнішньої шкали залежно від розміру конічного наконечника (1/2 дюйма (1,2") чи 3/4 дюйма (3/4")) при зануренні штока в ґрунт.

6. Прилад дозволяє визначати глибину залягання ущільненого шару та його товщину. Для цього на штоку нанесені мітки через кожні три дюйми від основи конуса до верхньої частини біля манометра. Для переведення дюймових значень у метричну систему використовують співвідношення: 1 дюйм (1") дорівнює 25,4 мм або 2,54 см чи 0,0254 м.

7. Пенетрометр також дає можливість визначати ступінь ущільнення ґрунту, тобто його твердість, шляхом зчитування показників у PSI (фунт/дюйм²) з відповідної шкали приладу залежно від використаного наконечника (1/2 дюйма (1,2") чи 3/4 дюйма (3/4")). Для переведення цих значень у метричну систему застосовують співвідношення: $1 \text{ PSI} = 0,068 \text{ кг/см}^2$, а $1 \text{ кг/см}^2 = 14,7 \text{ PSI}$.

8. На основі отриманих даних про фізико-механічні властивості ґрунту обирають відповідний машинно-тракторний агрегат і встановлюють його на глибину обробітку, що перевищує максимальну глибину залягання ущільнених шарів на 3–5 см, що забезпечує досягнення запланованої врожайності культур.

2. ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТІВ

2.1. Мехатронний пенетрометр автоматизованого типу: конструктивні особливості

З огляду на виявлені недоліки ручних та гідравлічних пенетрометрів було прийнято рішення створити напівавтоматичний прототип пенетрометра (рисунок 2.1), який можна встановлювати на будь-який транспортний засіб, що застосовується у сільському господарстві.

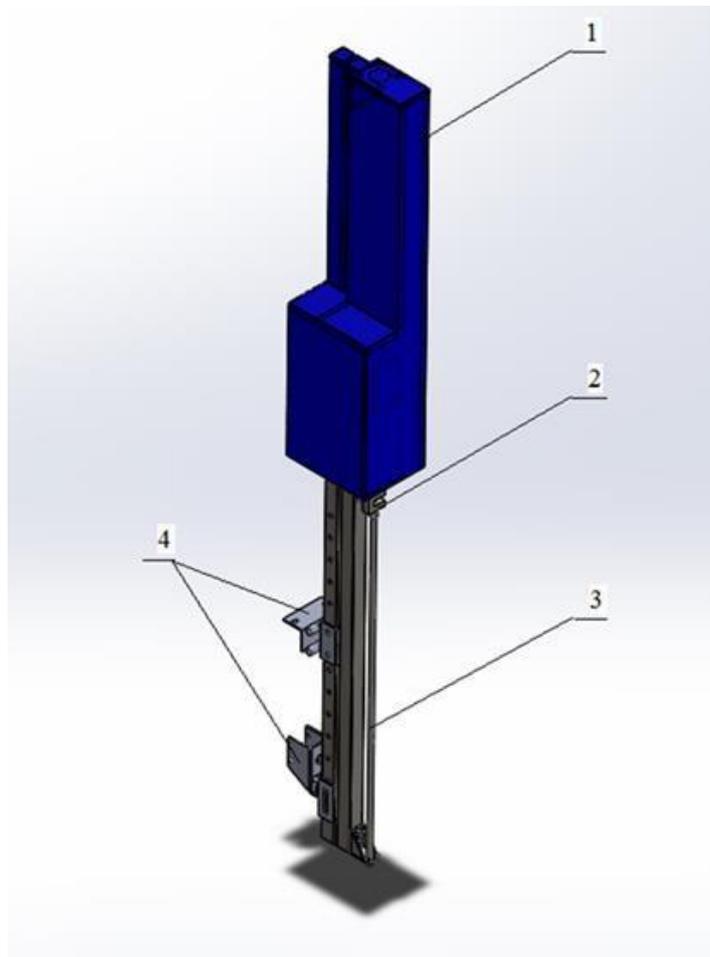


Рисунок 2.1 - Схема пенетрометра:
1 - корпус з приводом, 2- тензодатчик,
3 - щуп пенетрометра, 4- кріплення

грунту в будь-який час;

GPS забезпечує фіксацію місця вимірювання та відображення даних на карті поля;

миттєва передача інформації на сервер дозволяє швидко приймати рішення щодо обробітку ґрунту.

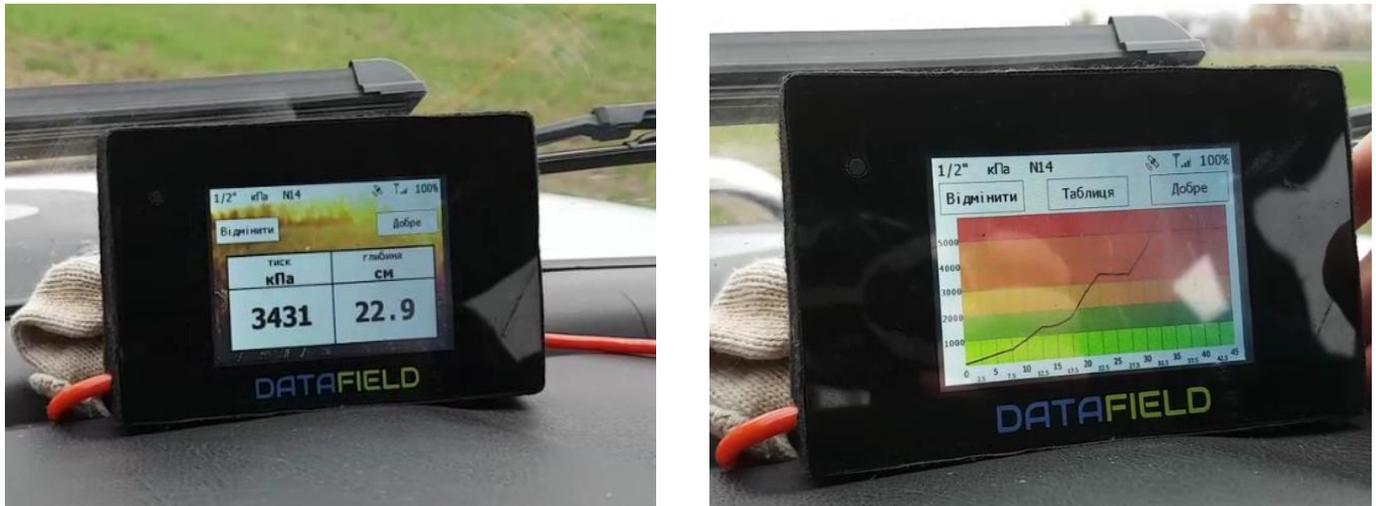


Рисунок 2.3 - Результати проведення реологічного дослідження ґрунту

функція збереження даних та побудови графіків дозволяє оцінити якість обробітку поля та перевірити відповідність глибини оранки встановленим вимогам;

залежно від характеристик ґрунту можна використовувати різні наконечники: 1/2" для більш твердих ґрунтів та 3/4" для пухких.

2.2. Організація та методичні етапи проведення експериментальних робіт

Оскільки створений пенетрометр є експериментальною установкою, виникла потреба у розробці методики проведення випробувань, яку можна коригувати в процесі експерименту. Запропоновано здійснювати дослідження, орієнтуючись на практичні вимоги, що висуває реальний фермер до роботи пенетрометра.

Головна мета експерименту – визначити глибину, на якій ґрунт досягає критичного рівня ущільнення та потребує додаткового обробітку. Поле, де

проводилися випробування, протягом багатьох років оцінювалося лише візуально, тому виникла необхідність застосувати інструментальний метод контролю якості обробки ґрунту з урахуванням агротехнічних вимог для кожного виду робіт:

- при луценні та дискуванні – рівність поверхні;
- при оранці – ступінь кришення, пухкість зораного шару, якість заорювання узбіч та гребнистість;
- при культивації – висота гребенів у межах норм, дрібногрудкувата структура поверхні;
- при посіві – своєчасність висаджування, рівномірність та глибина загортання насіння;
- при боронуванні – відповідність глибині та якість розпушування;
- при шлейфуванні – ті самі критерії, що й для боронування.

Методика проведення випробувань:

Підготувати ділянку шляхом дискування ґрунту.

Визначити межі експериментальної площі та скласти її комп'ютерну карту з автоматичною «сіткою» комірок розміром 1 га.

За допомогою програмного забезпечення сформувати послідовність вимірювань.

Використати GPS-навігатор для визначення точок вимірювань, зафіксувати координати та підготувати пенетрометр.

Провести вимірювання щільності ґрунту та записати результати.

Після завершення фіксації параметрів підняти щуп пенетрометра.

Переміститися до наступної точки та повторити процедуру.

2.3. Базові емпіричні дані, отримані під час польових досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на території Кам'янець-Подільського та Хмельницького районів Хмельницької області.

На рисунку 2.4 наведено карту завдань, сформовану у співпраці з компанією DataField. Перед виїздом на поле була створена комп'ютерна карта дослідної ділянки, а за допомогою GPS-навігатора визначено координати точок, у яких необхідно виконати вимірювання.

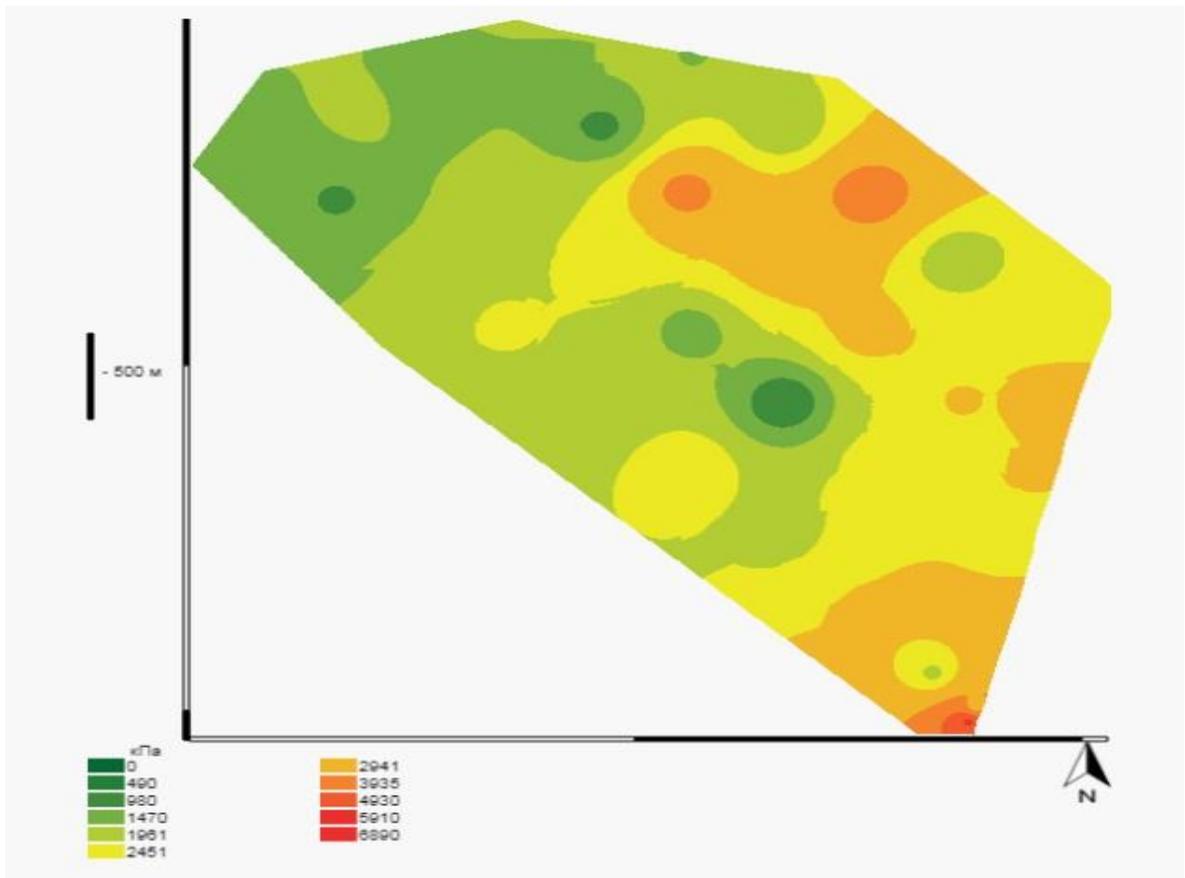


Рисунок 2.7. - Глибина занурення щупа 27,5 см

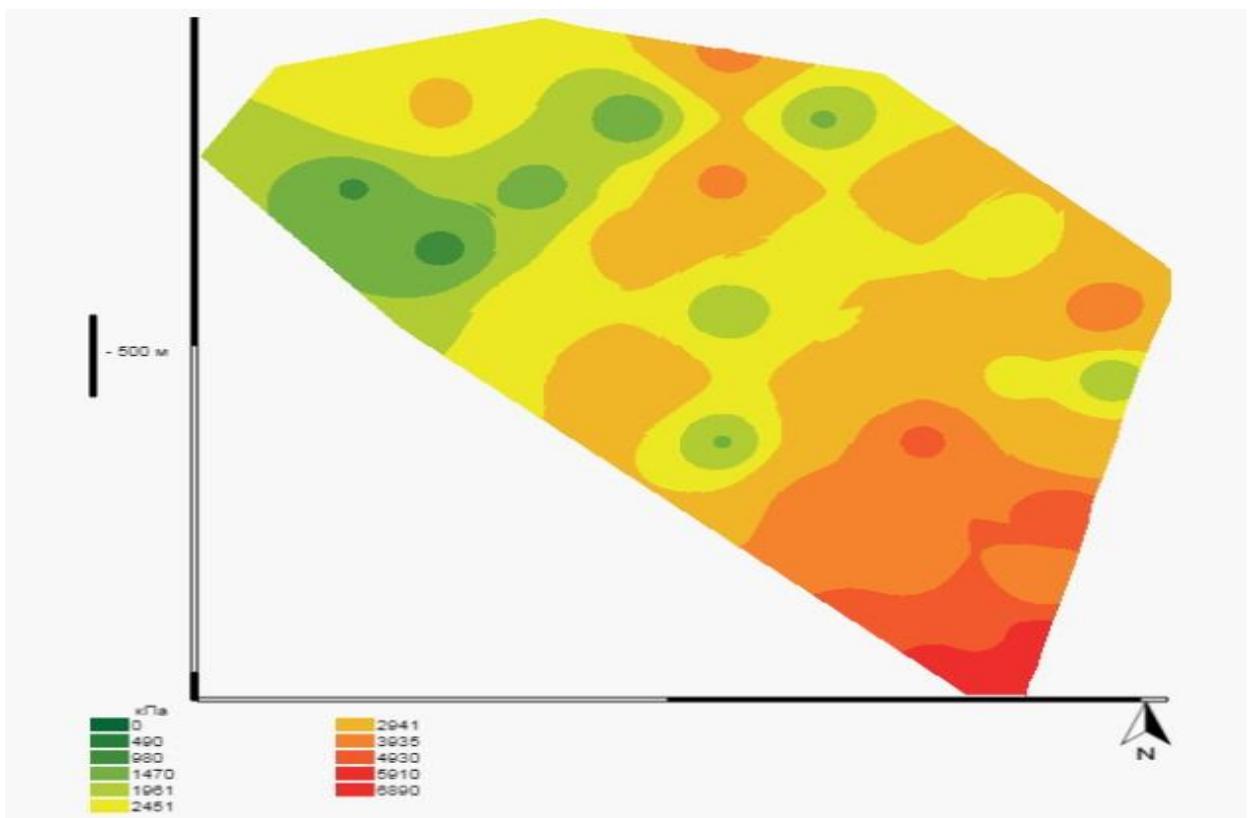


Рисунок 2.8. - Глибина занурення щупа 35 см

На рисунку 2.8 видно, що нижня частина поля та окремі інші його ділянки мають значний рівень ущільнення й потребують проведення рихлення на відповідній глибині. У цьому розділі наведено лише один приклад результатів досліджень, тоді як решта експериментів для зручності та уникнення перевантаження основного тексту буде подана у додатку.

Підсумкові положення до розділу 2

Виходячи з результатів проведених експериментів та їх аналізу, можна зробити висновок, що проблема переущільнення ґрунтів є надзвичайно актуальною. Надмірне ущільнення призводить до здавлювання пор, які повинні забезпечувати проникнення води та кисню до кореневої системи рослин.

У результаті цього корені розвиваються гірше, виникає дефіцит кисню, що безпосередньо впливає на зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Використання автоматичного пенетрометра з мехатронною системою керування дозволило ефективно вирішити проблему дослідження щільності ґрунтів на землях аграрної компанії «VITAGRO» у Кам'янець-Подільському та Хмельницькому районах Хмельницької області, забезпечивши точність вимірювань та оперативність прийняття рішень щодо обробітку ґрунту.

3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ПОКАЗНИКІВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ

3.1. Загальна характеристика умов та передумов досліджень

Керівництво аграрної компанії «VITAGRO» Волочиського району Хмельницької області надало картограму землекористування (рисунок 3.1), яка відображає структуру та розподіл земельних угідь, їхнє цільове призначення та особливості використання. Така картограма є важливим інструментом для планування агротехнічних заходів, оптимізації обробітку ґрунту та раціонального використання ресурсів.



Рисунок 3.1 – Картограма землекористування аграрної компанії «VITAGRO»

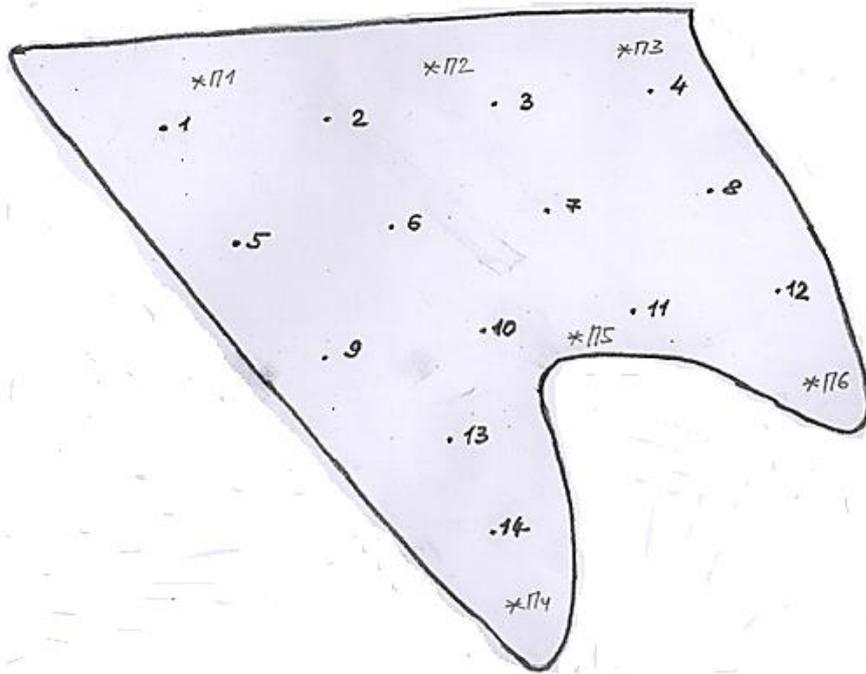


Рисунок 3.3 - Розміщення контрольних точок вимірювання на другому полі № 2 та його поворотних смугах

3.4. Агрофізичні параметри ділянки № 3

Третє поле має площу 108 га (рис. 3.4); кількість контрольних точок становить $108 / 5 = 22$; додатково на двох поворотних смугах розташовано $4 + 4 = 8$ точок; загальна кількість точок вимірювання дорівнює $22 + 8 = 30$.

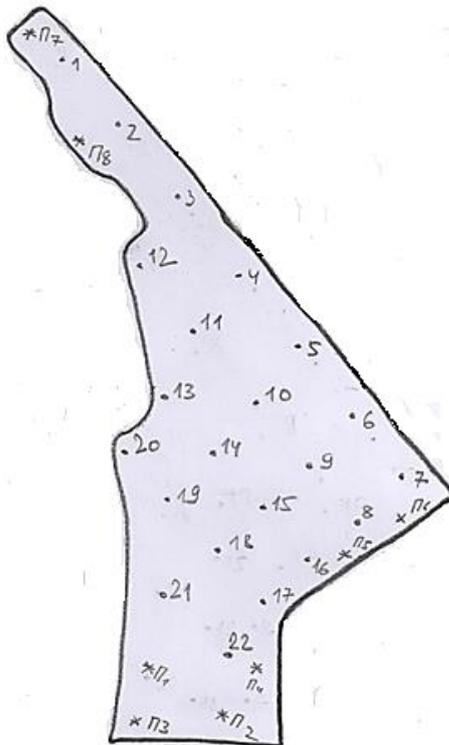


Рисунок 3.4 - Розміщення контрольних точок вимірювання на третьому полі № 3 та його поворотних смугах

3.8. Агрофізичні параметри ділянки № 7

Сьоме поле має площу 58 га (рис. 3.8); кількість контрольних точок становить $58 / 5 = 12$; додатково на двох поворотних смугах розташовано $3 + 3 = 6$ точок; загальна кількість точок вимірювання дорівнює $12 + 6 = 18$.

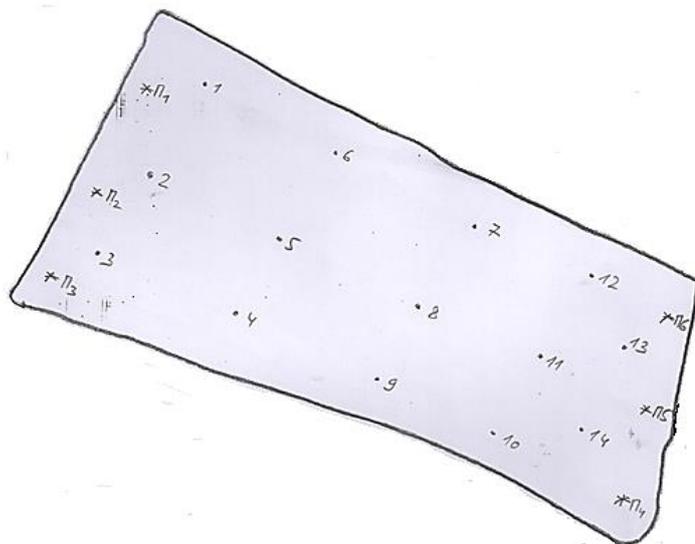


Рис. 3.8. Розміщення контрольних точок вимірювання на сьомому полі № 7 та його поворотних смугах

Підсумкові положення до розділу 3

На основі результатів першого етапу дослідження ущільненості ґрунтів на полях аграрної компанії «VITAGRO» сформульовано такі висновки та рекомендації:

Поле №1 (123 га) – середня глибина критичного ущільнення становить 44,8 см (діапазон 19,8–69,8 см), середня щільність – 22,3 кг/см² (18,8–25,8 кг/см²). Основна площа придатна для вирощування культур без додаткового розпушення. На поворотних смугах середня глибина ущільнення – 25,1 см (6,3–44 см), щільність – 24,4 кг/см² (21–27,8 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №2 (67 га) – середня глибина ущільнення 45,2 см (19,7–70,7 см), щільність – 22,9 кг/см² (18,9–26,9 кг/см²). Основна площа придатна для вирощування культур без розущільнення. На поворотних смугах середня глибина

– 22,9 см (2,5–43,3 см), щільність – 24,5 кг/см² (20,6–28,4 кг/см²). Необхідне глибоке розпушення до 45 см.

Поле №3 (108 га) – середня глибина ущільнення 33,8 см (15,8–51,8 см), щільність – 24,0 кг/см² (19,8–28,2 кг/см²). Основну площу після збору врожаю слід чизелювати до 45 см. На поворотних смугах середня глибина – 28,6 см (12,4–44,8 см), щільність – 26,4 кг/см² (23,4–29,4 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №4 (238 га) – середня глибина ущільнення 36,4 см (22,1–50,7 см), щільність – 23,2 кг/см² (18,3–28,3 кг/см²). Основну площу після збору врожаю слід розпушувати до 45 см. На поворотних смугах середня глибина – 29 см (10,1–47,9 см), щільність – 26,8 кг/см² (23,6–30 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №5 (159 га) – середня глибина ущільнення 34,3 см (17,4–51,2 см), щільність – 23,3 кг/см² (18,3–28,3 кг/см²). Основну площу після збору врожаю слід розпушувати до 45 см. На поворотних смугах середня глибина – 24,4 см (4,1–44,7 см), щільність – 26,5 кг/см² (23,2–29,8 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №6 (68 га) – середня глибина ущільнення 46,8 см (31,8–61,8 см), щільність – 22,2 кг/см² (19,2–25,3 кг/см²). Основна площа придатна для вирощування культур без розуцільнення. На поворотних смугах середня глибина – 29,2 см (6,7–51,5 см), щільність – 23,7 кг/см² (18–29,4 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №7 (58 га) – середня глибина ущільнення 39,2 см (27,3–51,1 см), щільність – 22 кг/см² (18–26 кг/см²). Основна площа придатна для вирощування культур без розуцільнення. На поворотних смугах середня глибина – 31,1 см (12,8–49,4 см), щільність – 24,1 кг/см² (18,2–30 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

4. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ҐРУНТООБРОБНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

4.1. Загальні відомості щодо технологій глибокого розпушування

Часті проходи машинно-тракторних агрегатів по полю спричиняють те, що площа, яку фактично вкривають сліди від коліс, значно перевищує розмір самого поля. Так, при вирощуванні жита чи пшениці площа, що потрапляє під дію коліс на 1 га, становить у середньому 2 226 000 м²; при вирощуванні кукурудзи – 18–30 м²; а при вирощуванні цукрових буряків – 30 000–32 000 м².

Кількість проходів по одних і тих самих ділянках поля є різною. Для озимих культур близько 35% площі зазнає подвійного впливу ходових систем тракторів, 20% – шестиразового, а 2% – восьмиразового. Лише 15% площі залишається без ущільнення.

Ущільнення ґрунту обмежує проникнення води вглиб, що призводить до надмірного насичення верхніх шарів і, як наслідок, до дефіциту кисню для кореневої системи. Ступінь ущільнення істотно впливає на доступність поживних елементів, зокрема марганцю та кисню. В умовах анаеробного середовища відбувається денітрифікація, що спричиняє значні втрати кисню через виділення оксиду азоту та газоподібного азоту в атмосферу.

Ущільнений ґрунт погіршує газообмін, температурний і поживний режими, знижує біологічну активність, що веде до зменшення виходу CO₂ у 1,3–1,7 рази. Амонійна форма азоту додатково погіршує повітряний режим, а його вміст у ущільненому ґрунті протягом вегетаційного періоду може досягати до 95%.

4.2. Технічні засоби для усунення надмірної щільності ґрунтів

Застосування технологій щільювання та розпушування ґрунту без перевертання скиби за допомогою неполицевих знарядь постійно зростає і найближчим часом може охопити 30–50% посівних площ України [7, 8, 9, 18, 19, 20, 23, 24, 26, 29].

400 мм, а глибина його ходу – 10–15 см, що регулюється перестановкою стояка ножа по висоті на рамі. Щільувальні лапи можна встановлювати на відстані 70, 90, 120 або 140 см одна від одної. Опорні колеса, залежно від умов роботи, монтуються з колією 1435, 1695 або 2055 мм (рис. 4.2).

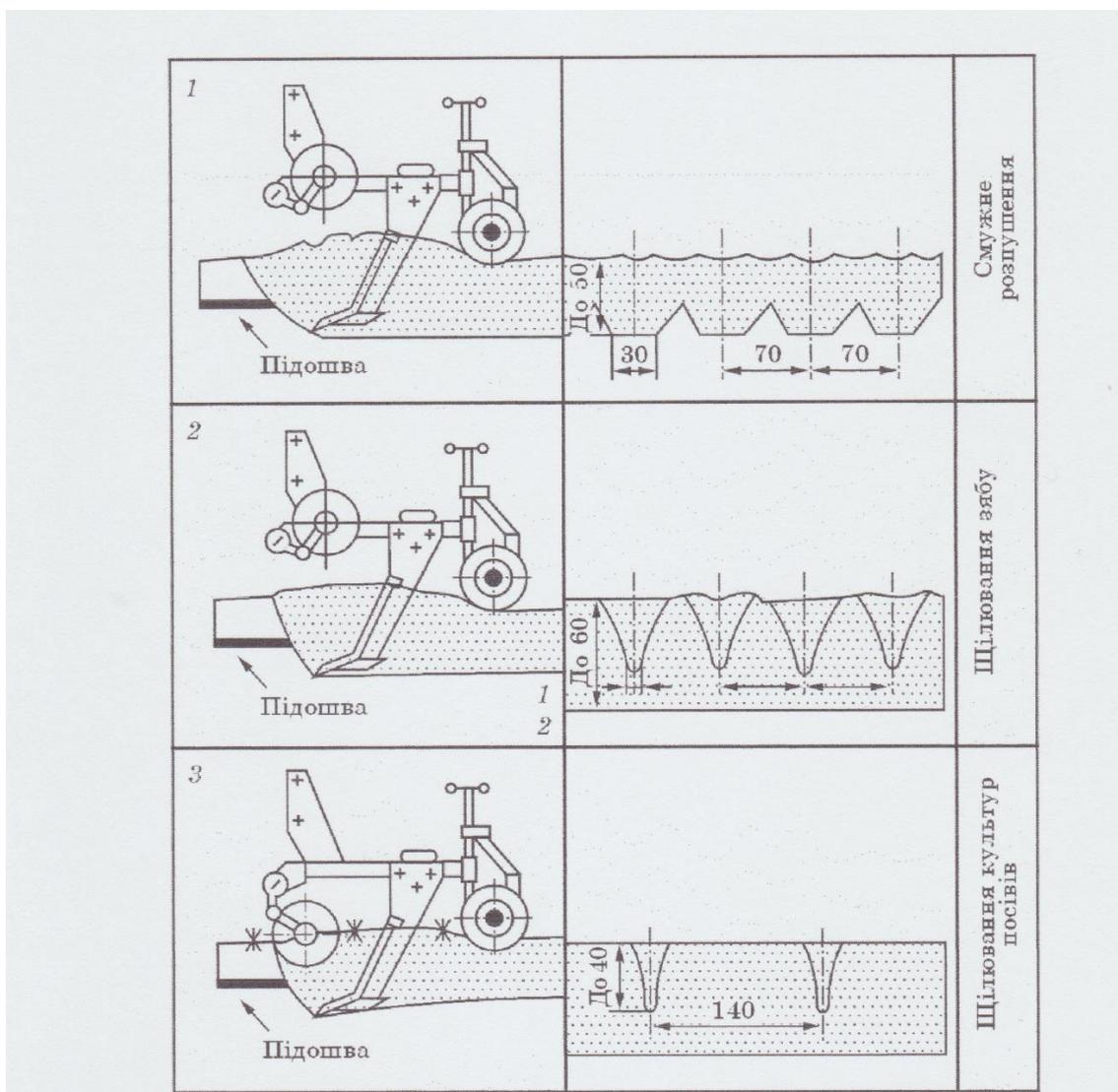


Рисунок 1.6 - Схеми роботи щільвача-розпушувача ґрунту ЩРП-3-70

Технологічна схема роботи щільвача-розпушувача передбачає:

- смугове розпушення ґрунту;
- щільвання при зяблевому обробітку;
- щільвання посівів культур, пасовищ та сінокосів.

Перша та третя операції виконуються із застосуванням змінних розпушувальних елементів робочого органу. У поперечно-вертикальній площині відстань між стояками суміжних органів забезпечує суцільне розпушення

4.3. Оцінка конструктивних рішень робочих органів глибокорозпушувачів та агрегатів обробітку ґрунту

Розпушувачі. Основним елементом будь-якого розпушувача є клин. Його взаємодія з ґрунтовим середовищем полягає в тому, що під час роботи клин розділяє ґрунт на окремі частини, які під дією стискальних напружень ущільнюються, тобто їхня щільність стає більшою, ніж до розпушення (особливо у вологих ґрунтах). Водночас завдяки утворенню повітряних проміжків між частинами, що збільшуються в процесі розпушення, середня щільність ґрунту знижується до оптимальних значень або навіть нижче. Руйнування скиби клином відбувається у дві стадії:

поступове зминання ґрунту клином із наростанням зусилля, що супроводжується ущільненням та збільшенням кількості ущільнених частинок; зсув по площині та відрив після досягнення максимального рівня напружень.

Агротехнічні вимоги до розпушувачів. Розпушення ґрунту клином є одним із найпоширеніших способів покращення його властивостей. Використання неполицевих знарядь для розпушення без перевертання скиби зростає і найближчим часом може охопити 25–35% посівних площ України. Розпушувачі застосовують переважно для культур I технологічної групи, а також на схилових землях із нахилом понад 3°.

Агротехнічні вимоги до чизелів. Вони повинні працювати на глибину 5–22 см, а при розущільненні підорного шару – до 35 см, забезпечуючи 75% розпушення ґрунту, збереження 60–80% рослинних решток на поверхні та гребінчастість не більше 5 см. Використання плоскорізів і чизелів доцільне у зонах недостатнього зволоження та на агрофонах із невеликою кількістю рослинних решток як альтернатива оранці, особливо весняній. Це дозволяє скоротити строки основного обробітку на 20–40%, зменшити витрати пального на 6–12 кг/га та вирішити проблеми ґрунтозахисту при обмеженому енергозабезпеченні.

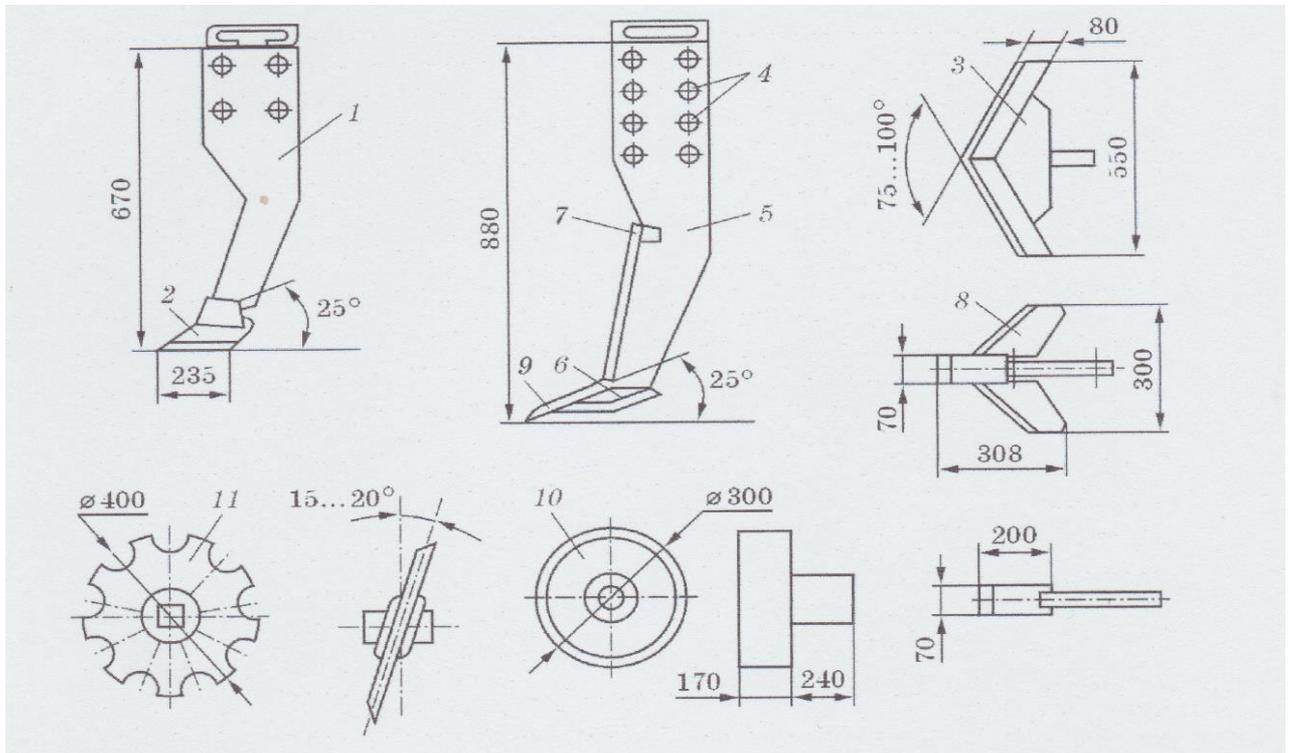


Рисунок 4.4 - Робочі органи глибокорозпушувачів:

1 – стояк; 2 – болт; 3 – лапа; 4 – регулювальні отвори; 5 – стояк глибокорозпушувача; 6 – піддолотник; 7 – накладка; 8 – розпушувач; 9 – долото; 10 – коток-ущільнювач; 11 – дисковий ніж

Перспективи удосконалення конструкцій розпушувачів визначаються потребою комплексного забезпечення рослинництва енергозберігаючими засобами механізації основного обробітку ґрунту, переходом до ресурсозберігаючих технологій та створенням зонально адаптованих машинних комплексів, зокрема для систем «точного землеробства». Важливим напрямом є розроблення екологічно ощадних способів механізованого обробітку ґрунту, що дозволяють реалізувати інтегрований захист культур від бур'янів, шкідників і хвороб, а також створення нових комбінованих багатофункціональних агрегатів для мінімізації антропогенного впливу на ґрунт.

Ефективність технологій мінімалізованого обробітку та адаптованих комплексів машин підтверджується скороченням витрат ресурсів на 10–25% при вирощуванні традиційних культур України, що досягається завдяки диференціації технологічних рішень. Використання комбінованих розпушувачів нового покоління для окремих культур дозволяє зменшити кількість машин у 2,5–3 рази порівняно з існуючими комплексами, що пояснюється розширенням їхніх

функціональних можливостей. Наприклад, культиватор-розпушувач КР-4,5 забезпечує енергозберігаючий процес мілкового суцільного розпушення ґрунту з продуктивністю 3,6–4,0 га/год при витратах палива 6,9–8,2 кг/га, що у 2,5–3 рази перевищує показники класичних плугів. Розпушувачі ЩРП-3-70 та ПЦН-2,5М відповідають рівню провідних світових зразків і нині охоплюють до 25% посівних площ України, особливо ефективно працюючи в умовах посухи.

Більшість сучасних розпушувачів обладнують безупинними запобіжниками, що значно підвищує надійність роботи та добовий виробіток агрегатів. Поширюється тенденція поєднання на одній рамі розпушувальних і ущільнювальних органів, що сприяє збереженню вологи у посівному шарі та скорочує кількість проходів техніки по полю у 1,5–1,8 рази.

Необхідність рихлення ґрунту та ліквідації плужної підшви для оптимізації водоповітряного режиму й підвищення родючості при інтенсивному землеробстві підтверджується досвідом США, Канади та країн Західної Європи, де чизельні знаряддя є незамінними. Світовими лідерами у виробництві чизельних плугів виступають компанії «John Deere», «Mid land», «Wil-Rich», «Brillion», «CO-OP Implements» (Канада), а також «Howard», «RAU», «Rabewerk» (Німеччина) [57, 58, 59].

Характерною рисою більшості плугів цих виробників є V-подібна рама з кутом між брусами 110–120°, що дозволяє розташовувати робочі органи з міжряддям 500 мм (для чизельної оранки та руйнування плужної підшви) або 750–1000 мм (для підповерхневого розпушення). Питомий опір одного робочого органа при цьому становить 25–40 к.с.

4.4. Формування оптимального складу ґрунтообробного комплексу, спрямованого на розуцільнення ґрунтів

Отже, на основі огляду та аналізу конструкцій ґрунтообробних машин і знарядь для розуцільнення ґрунтів, а також враховуючи наявність техніки у базовому господарстві, оптимальний склад машино-тракторного агрегату формується наступним чином:

Підсумкові положення до розділу 4

Перспективні напрями вдосконалення чизельних і плоскорізальних ґрунтообробних агрегатів

- Комбіновані конструкції нового покоління
- Прикладом є агрегат John Deere 900 з V- подібною рамою та комбінованим робочим органом.
 - Він поєднує операції об'ємного розпушення ґрунту та підрізання кореневищ бур'янів і пожнивних решток.
 - Для активного підрізання поверхні доцільно застосовувати ротаційні дискові розпушувачі, які підвищують якість роботи та сприяють заробці рослинних решток.
 - Зростання застосування неполицевих знарядь
 - Очікується охоплення 30–50% посівних площ України.
 - Плоскорізи та чизелі особливо ефективні у зонах недостатнього зволоження та на агрофонах із малою кількістю рослинних решток.
 - Вони можуть замінювати оранку, особливо весняну, зберігаючи вологу та структуру ґрунту.
 - Енергозбереження та оптимізація процесів
 - Використання таких агрегатів скорочує строки основного обробітку на 20–40%.
 - Зменшує витрати пального на 6–12 кг/га.
 - Сприяє вирішенню проблем ґрунтозахисту при обмеженому енергозабезпеченні.
 - Вітчизняні розробки
 - Українські заводи серійно випускають ґрунтообробні знаряддя на базі плоскорізних та чизельних органів.
 - У конструкціях застосовуються ротаційні приставки для подрібнення та вирівнювання поверхневого шару.
 - Важливе значення мають при обробітку схилених земель (до 8%) у системах контурно-меліоративного землеробства.
 - Імпортні тенденції та інновації

- Сучасні імпортні розпушувачі (Rattoon, Razol, Deltaplow) використовують параболічні чизельні органи на фронтальних рамах.

- Це розвиток концепції енергозберігаючих плугів Paraplow та їхніх українських аналогів (ПРПВ- 3- 50, ПРПВ- 5- 50).

- Такі рішення зменшують тяговий опір на 10–15%, забезпечують накопичення 10–15 мм продуктивної вологи, що особливо важливо для південних регіонів України.

- У Західній Європі поширені чизельні культиватори (Multiller, Smaragd, Eurogruber), які доповнюються дисковими секціями для інтенсивного подрібнення рослинних решток.

Таким чином, розвиток конструкцій чизельних і плоскорізальних агрегатів спрямований на поєднання енергозбереження, ґрунтозахисту та багатофункціональності, що дозволяє зменшити кількість проходів техніки, зберегти вологу й підвищити продуктивність землеробства

5. СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЕНЕТРОМЕТРА ТА ОЦІНКА ЙОГО РИНКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ

5.1. Концепція та ключові технічні ідеї проєкту

Концепція проєкту полягає у створенні автоматизованого пенетрометра з мехатронною системою керування, здатного за допомогою GPS-навігації формувати звіти щодо якості обробки ґрунту. Пристрій має бути компактним, легким та забезпечувати просте встановлення на будь-яку мобільну платформу (трактор, вантажівку чи позашляховик). (табл. 5.1.).

Таблиця 5.1

Ідея проєкту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Розробити автоматичний пенетрометр, який би мав мехатронну систему керування, можливість за допомогою GPS- навігації створювати звіт про якість обробки ґрунту	Агропромисловий комплекс	Зменшити вплив «людського фактора», а саме нерівномірний тиск на тензометричний датчик
	Для власного використання	Підвищити швидкість до одного проколу за хвилину, на одноктарній сітці, враховуючу переїзди між точками

Серед переваг запропонованого проєкту можна виділити:

Швидкість роботи до одного проколу за хвилину на гектарній сітці з урахуванням переміщень між точками;

Мінімізація впливу «людського фактора», зокрема усунення нерівномірного тиску на тензометричний датчик;

Можливість безперервної роботи в польових умовах із керуванням процесом безпосередньо з кабіни автомобіля;

Живлення від стандартного автомобільного акумулятора 12V;

Зручність транспортування навіть за умов інтенсивного дорожнього руху;

Вища точність визначення показників твердості ґрунту;

Простота експлуатації та наочне відображення отриманих результатів.

5.2. Програмно-апаратні рішення, застосовані у розробці

Основною технологією, застосованою в проєкті, є GPS-навігація, яка забезпечує формування звітів щодо якості обробітку ґрунту (рис. 5.1).



Рисунок 5.1. - Карта завдань пенетрометра

5.3. Оцінювання комерційних перспектив та конкурентного середовища

Аналіз ринкових можливостей запуску проєкту подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ з/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Більше 2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	40 млн. грн.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Спадає на 3.3% за рік
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева	Наслідком внутрішньогалузевої конкуренції є впровадження досягнень науки і техніки, зниження витрат виробництва, підвищення якості продукції.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова -товарно-видова -між бажаннями	Товарно-родова	На ринку пенетрометрів веде конкурентну боротьбу з іншими типами пенетрометрів
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова	Головною конкурентною перевагою є унікальність звіту GPS навігації.
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Марочна	Ситуація на ринку, де компанія розглядає як своїх конкурентів компанії, що пропонують подібний продукт тим же цільовим покупцям

Після проведеного аналізу конкурентів здійснюється поглиблене дослідження умов конкурентної боротьби в галузі (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкурент	Постачальники	Споживачі	Товари-замінники
	На ринку спостерігається тенденція до скорочення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є доволі значними.	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції, так і можливих обсягів її виробництва.	Споживачі мають широку географію Бізнес має постійний характер.	Відсутні

Завершальним етапом аналізу ринкових перспектив упровадження проєкту є розроблення SWOT-матриці (табл. 5.9), яка включає оцінку сильних (Strength) і слабких (Weak) сторін, а також визначення можливостей (Opportunities) та загроз (Troubles). Вона формується на основі попередньо виділених ринкових загроз і можливостей, а також характеристик сильних і слабких сторін (табл. 5.8).

Перелік ринкових загроз і можливостей складається з урахуванням аналізу факторів маркетингового середовища. При цьому загрози та можливості розглядаються як прогнозовані наслідки впливу відповідних факторів, які ще не реалізовані на ринку, але мають певну ймовірність виникнення (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Інноваційність; 2. Покращення техніко-економічних показників підприємства 3. Скорочення технологічного циклу; 4. Висока ефективність Висока якість продукту	1. Не відпрацьованість технології
Можливості: 1. Можливість поєднати транспортування з обробкою в одночасну операцію	Загрози: 1. Перевищення бюджету внаслідок появи непередбачених робіт

Виходячи з результатів аналізу (табл. 5.9), для виходу на ринок обирається стратегія SO, що зумовлено значною кількістю сильних сторін та наявних можливостей.

Подальший розгляд визначених альтернатив здійснюється з урахуванням термінів реалізації та ймовірності забезпечення необхідними ресурсами, що відображено у таблиці 5.10.

Альтернативи ринкового впровадження розробки
автоматичного пенетрометра

№ з/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Використання засобів стимулювання збуту на технологічних виставках та конференція для збільшення продаж товару (<i>більш глибоке проникнення на ринок</i>)	Дозволяє суттєво збільшити обсяги продаж. Потребує маркетингових витрат, спланованих та координованих дій	0,5 року
2	Впровадження індивідуального підходу до кожного замовника (<i>розвиток товару</i>)	Можливість залучення нових споживачів. Потребує значних капіталовкладень на розробку та виведення на ринок	1 рік
3	Збільшення представленості в різних регіонах (<i>розвиток ринку</i>)	Можливість розширення охоплення цільової аудиторії. Потребує значних капіталовкладень на створення додаткових філій в регіонах	4 роки

З огляду на високу ймовірність залучення необхідних ресурсів та мінімальні терміни реалізації було прийнято рішення на користь першої альтернативи.

5.4. Формування стратегії виведення продукту на ринок

Початковим етапом формування ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку, що включає характеристику цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.11).

№ з/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
2	Відмінні властивості продукту	Стратегія диференціації	Посилити використання таких конкурентних переваг як унікальне позиціонування та рівень диференціації	Відмінність, незамінність, новації
3	Задоволення конкретних потреб	Стратегія спеціалізації	Стимулювати збут та засоби торгового маркетингу в межах вибраного цільового сегменту	Індивідуальність, локальність, низька ринкова доля

5.5 Розроблення маркетингової моделі просування автоматизованого пенетрометра

Початковим етапом виступає розроблення маркетингової концепції продукту, який буде запропонований споживачеві. Для цього в таблиці 5.15 необхідно узагальнити результати проведеного раніше аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ з/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Покращення ефективності пенетрації	Зменшення витрат на роботу обладнання	Інноваційність технології
2	Покращення якісних показників	Збільшення якості, зменшення собівартості	Збільшення ступеню засвоєння, зменшення витрат на обробку

Подальшим етапом є встановлення цінових меж, яких слід дотримуватись при формуванні ціни на майбутній товар. Остаточне визначення ціни здійснюється в процесі фінансово-економічного аналізу проекту. Для цього проводиться дослідження вартості товарів-аналогів та товарів-субститутів, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.16). Оцінювання здійснюється експертним методом.

Таблиця 5.16.

Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналогів	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
100-150 тис. грн.	-	6 млн грн	200 тис. грн

Подальшим етапом є визначення оптимальної системи збуту, що передбачає прийняття рішень (табл. 5.17):

здійснювати реалізацію продукції власними силами або залучати зовнішніх посередників (власна чи залучена система збуту);

визначити та обґрунтувати оптимальну глибину каналу збуту;

обрати та аргументувати доцільність використання конкретних видів посередників.

Підсумкові положення до розділу 5

1. Проведений аналіз ринкової комерціалізації проєкту автоматичного пенетрометра показав, що його технологічна реалізація є можливою. Визначено ключові сильні та слабкі сторони, а також конкурентні позиції на ринку обладнання для оцінки твердості ґрунту.

2. Ринок виявився привабливим для входження завдяки інноваційності продукту. З урахуванням потенційних груп клієнтів, низьких бар'єрів входу та високих показників у порівнянні з конкурентними товарами, проєкт має перспективи для успішного впровадження.

3. Для виходу на ринок обрано стратегію вибіркового проникнення, що дозволяє знизити ризики, пов'язані з інноваційною складовою, та забезпечити додаткове фінансування, враховуючи загальний обсяг інвестицій у розмірі \$5000.

4. Таким чином, існує обґрунтована доцільність подальшої реалізації та імплементації проєкту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Сьогодні одним із ключових завдань є автоматизація різних процесів, зокрема й польових робіт у сільському господарстві. Особливо актуальним стає визначення якості підготовки ґрунту перед посівом шляхом оцінки його щільності.

Одним із напрямів розвитку є застосування пенетрометрів та подальше комп'ютерне моделювання оптимальної послідовності обробітку ґрунту. Запропоновано створити механізований пенетрометр, оснащений комп'ютерною системою керування.

Використання пенетрометра дозволяє визначати ступінь переущільнення ґрунту, тобто його твердість. Показники зчитуються у PSI (фунт/кв. дюйм) з внутрішньої або зовнішньої шкали приладу залежно від розміру конічного наконечника (1/2" чи 3/4"). Для переведення у метричну систему застосовують співвідношення: $1 \text{ PSI} = 0,068 \text{ кг/см}^2$, а $1 \text{ кг/см}^2 = 14,7 \text{ PSI}$.

Проблема переущільнення ґрунтів є актуальною, адже ущільнені пори втрачають здатність пропускати воду та кисень. Це гальмує розвиток кореневої системи, спричиняє дефіцит кисню та знижує врожайність культур.

За результатами досліджень на полях аграрної компанії «VITAGRO» отримано такі дані:

Поле №1 (123 га): середня глибина критичного ущільнення – 44,8 см (19,8–69,8 см), середня щільність – 22,3 кг/см² (18,8–25,8 кг/см²). Основна частина придатна для вирощування культур без розущільнення. На поворотних смугах середня глибина – 25,1 см (6,3–44 см), щільність – 24,4 кг/см² (21–27,8 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення до 45 см.

Поле №2 (67 га): середня глибина – 45,2 см (19,7–70,7 см), щільність – 22,9 кг/см² (18,9–26,9 кг/см²). Основна частина придатна для культур без розущільнення. На поворотних смугах глибина – 22,9 см (2,5–43,3 см), щільність – 24,5 кг/см² (20,6–28,4 кг/см²). Рекомендовано розпушення до 45 см.

Поле №3 (108 га): середня глибина – 33,8 см (15,8–51,8 см), щільність – 24,0 кг/см² (19,8–28,2 кг/см²). Основну частину після збору врожаю слід чизелювати до 45 см. На поворотних смугах глибина – 28,6 см (12,4–44,8 см), щільність – 26,4

кг/см² (23,4–29,4 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення.

Поле №4 (238 га): середня глибина – 36,4 см (22,1–50,7 см), щільність – 23,2 кг/см² (18,3–28,3 кг/см²). Основну частину після збору врожаю слід розпушувати до 45 см. На поворотних смугах глибина – 29 см (10,1–47,9 см), щільність – 26,8 кг/см² (23,6–30 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення.

Поле №5 (159 га): середня глибина – 34,3 см (17,4–51,2 см), щільність – 23,3 кг/см² (18,3–28,3 кг/см²). Основну частину після збору врожаю слід розпушувати до 45 см. На поворотних смугах глибина – 24,4 см (4,1–44,7 см), щільність – 26,5 кг/см² (23,2–29,8 кг/см²). Рекомендовано глибоке розпушення.

Поле №6 (68 га): середня глибина – 46,8 см (31,8–61,8 см), щільність – 22,2 кг/см² (19,2–25,3 кг/см²). Основна частина придатна для культур без розущільнення. На поворотних смугах глибина – 29,2 см (6,7–51,5 см), щільність – 23,7 кг/см² (18–29,4 кг/см²). Рекомендовано глибоке розущільнення.

Поле №7 (58 га): середня глибина – 39,2 см (27,3–51,1 см), щільність – 22 кг/см² (18–26 кг/см²). Основна частина придатна для культур без розущільнення. На поворотних смугах глибина – 31,1 см (12,8–49,4 см), щільність – 24,1 кг/см² (18,2–30 кг/см²). Рекомендовано глибоке розущільнення.

Перспективним напрямом удосконалення чизельних і плоскорізальних агрегатів є приклад конструкції John Deere 900 з V-подібною рамою та комбінованим робочим органом, що поєднує об'ємне розпушення ґрунту та підрізання кореневищ бур'янів і решток. Для активного підрізання доцільно застосовувати ротаційні дискові розпушувачі.

В Україні виробляють ефективні ґрунтообробні агрегати на базі плоскорізних і чизельних органів. У конструкціях використовуються ротаційні приставки для подрібнення та вирівнювання поверхні ґрунту. Вони особливо важливі для обробітку схилених земель (до 8%) у системах контурно-меліоративного землеробства.

Серед сучасних імпортованих агрегатів виділяється тенденція застосування параболічних чизельних органів на фронтальних рамах (Ratoon, Razol, Deltaplow). Це розвиток концепції енергозберігаючих плугів Paraplow та їхніх українських аналогів (ПРПВ-3-50, ПРПВ-5-50), що знижують тяговий опір на

10–15%. Такі агрегати забезпечують накопичення 10–15 мм продуктивної вологи й рекомендовані для південних регіонів України. У Західній Європі поширені чизельні культиватори (Multiller, Smaragd, Eurogruber), які доповнюються дисковими секціями для подрібнення рослинних решток.

Висновок: проведений аналіз ринкової комерціалізації проєкту автоматичного пенетрометра показав його технологічну здійсненність, визначив сильні та слабкі сторони, а також конкурентні позиції на ринку обладнання для оцінки твердості ґрунту. Для виходу на ринок обрано стратегію вибіркового проникнення, що мінімізує ризики інноваційної складової та дозволяє залучити додаткове фінансування, враховуючи загальний обсяг інвестицій у \$5000.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III // Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3–4. С. 42–88.
2. Про внесення змін до Земельного кодексу України: Закон України від 11 липня 2003 р. № 1119-IV // Голос України. 2003. 12 серпня.
3. Про внесення змін до Земельного кодексу України: Закон України від 6 жовтня 2004 р. № 2059-IX // Все про бухоблік. 2004. № 116. С. 11.
4. Бондар С. М., Мельник І. І. Основні проблеми машиновикористання в сучасних технологіях обробітку ґрунту Полісся України // Науковий вісник НАУ. 2000. Вип. 33. С. 101–107.
5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для заготівлі кормів. Т. 2, ч. 1. Харків: ОКО, 2003. 360 с.
6. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1, ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: ОКО, 2001. 444 с.
7. Плуг чизельний ПЧ-2,5: заводська інструкція. Кам'янець-Подільський завод сільгоспмашин, 2020. 28 с.
8. Плуг чизельний ПЧ-4,5: заводська інструкція. Кам'янець-Подільський, 2021. 31 с.
9. Агригати-глиборозпушувачі АГР-3,4 та АГР-2,4: звіт державних випробувань № 01-04-10. Дослідне, 2010. 18 с.
10. Трактор ХТЗ Т-150К: заводська інструкція. Харківський тракторний завод. Харків, 2013. 267 с.
11. Кравчук В. І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин: монографія. Київ: НАУ, 2005. 208 с.
12. Кравчук В. І. Адаптація сільськогосподарських машин в системах керованих технологій землеробства: дис. ... д-ра техн. наук. Київ, 2005. 375 с. + додат.
13. Ловейкин В. С., Човнюк Ю. В. Механізація сільськогосподарського виробництва // Наук. праці Нац. аграр. ун-ту. Київ: НАУ, 2000. Т. VIII. С. 33–40.
14. Машини для обробітку ґрунту та сівби: посіб. / за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке, 2008. 288 с.

15. Експлуатація машин і обладнання: підруч. / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Кам'янець-Подільський: ПДУ; ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.
16. Царенко О. М., Войтюк Д. Г., Швайко В. М. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / за ред. С. С. Яцуна. Київ: Мета, 2003. 448 с.
17. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи... спеціальності 208 «Агроінженерія» / Рудь А. В., Дуганець В. І., Михайлова Л. М. та ін.; за ред. А. В. Рудя. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2019. 51 с.
18. Механізація, електрифікація та автоматизація с.-г. виробництва. У 2 т. Т. 1 / Рудь А. В., Бендера І. М., Войтюк Д. Г. та ін.; за ред. А. В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012. 584 с.
19. Механізація, електрифікація та автоматизація с.-г. виробництва. У 2 т. Т. 2 / Рудь А. В. та ін.; за ред. А. В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012. 432 с.
20. Методичні рекомендації з оплати праці робітників с.-г. підприємств на збиранні урожаю / Демчук І. М. та ін. Київ: НДІ «Украгропромпродуктивність», 2014. 38 с.
21. Наумов Ю. Ф., Усенко А. В. Енергоспоживання в Україні // Організаційно-економічні проблеми розвитку АПК: колект. монографія / за ред. П. Т. Саблука. Київ: ІАЕ, 2001. С. 321–323.
22. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство: підручник. Чернівці, 2003. 400 с.
23. Основи механізації с.-г. виробництва: навч. посіб. / Ріпка І. І., Семенов Я. В., Крупич О. М., Бендера І. М., Рудь А. В. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.
24. Патент 8853 Україна, МПК А01D34/00. Борона / Рудь А. В., Жалоба В. М., Михайлова Л. М. Заявл. 13.06.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
25. Патент 105740 Україна, МПК А01В29/04. Ротаційне ґрунтообробне знаряддя / Бабицький Л. Ф., Москалевич В. Ю., Кулик. Заявл. 08.07.2013; Опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

26. Проектування с.-г. машин: навч. посіб. для курсових проєктів / Бендера І. М., Рудь А. В., Козій Я. В. та ін.; за ред. Бендери І. М., Рудя А. В., Козія Я. В. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
27. Примак І. Д., Гудзь В. П., Рошко В. Г. Механічний обробіток ґрунту в землеробстві. Біла Церква, 2002. 320 с.
28. Рудь А. В., Коноваленко О. М., Мошенко І. О., Іванишин В. В. Практикум по с.-г. машинах і знаряддях. Київ: Урожай, 1996. 208 с.
29. Рекомендація з використання тестера (пенетрометра) для дослідження компактності ґрунту / Рудь А. В., Мошенко І. О. Кам'янець-Подільський: ПДУ, 2021. 10 с.
30. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Вища освіта, 2004. 448 с.
31. Сердюк М. М. Організація і технологія механізованих робіт у рослинництві: навч. посіб. Київ: А.С.К., 2006. 125 с.
32. Сидорчук О. В. Наукові принципи управління проектами систем машин адаптивного рільництва // Агромех-2004: матер. міжнар. наук.-практ. конф. Львів: ЛДАУ, 2004. С. 3–8.
33. Войтюк Д. Т., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
34. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1. Машини для рільництва / за ред. М. Л. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 284 с.
35. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
36. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
37. Теорія с.-г. машин. Т. 1, ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: ОКО, 2001. 444 с.

38. Типові норми виробітку і витрачання палива на механізовані польові роботи. Київ: Урожай, 2020. 472 с.

39. Хайліс Г., Шевчук В. В., Шевчук В. Г. Про вплив ряду факторів на зусилля, необхідне для занурення в ґрунт голок голкової борони // Техніка і технології АПК. 2012. № 12. С. 17–21.

40. Хайліс Г., Ковалев Н., Толстушко Н., Шевчук В. Аналіз роботи голок голчастої борони під час їх перекочування по ґрунті // Трактори і с.-г. машини. 2014. С. 11–15.

41. Хайліс Г. Обробка експериментальних даних дослідження та їх аналіз // Техніка АПК. 2007. С. 15–18.

42. Царенко О. М., Войтюк Д. Г. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Київ: Мета, 2003. 448 с.

43. Шеглов А. В. // Збірник наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. 2004. № 42/54. С. 126–129.

44. Скобло Ю. С., Тіщенко Л. М., Цапко В. Г. Безпека життєдіяльності. Вінниця: Нова книга, 2000. 368 с.

45. Машини та обладнання в тваринництві: підручник / Іванишин В. В., Грушецький С. М., Рудь А. В. Кам'янець-Подільський: ПДУ; ТОВ «Друкарня «Рута», 2021. 468 с.

46. Технічне обслуговування машин і обладнання: підручник / Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Кам'янець-Подільський: ПДУ; ТОВ «Друкарня «Рута», 2023. 360 с.

47. Економіка с.-г. господарства: навч. посіб. / Збарський В. К., Бабієнко М. Ф., Кулаєць М. М., Синявська І. М., Хоменко М. П.; за ред. В. К. Збарського. Київ: Агроосвіта, 2013. 352 с.

48. Яришева Н. Ф. Основи природознавства: Природа України: навч. посіб. Київ: Вища школа, 1995. 335 с.

49. ГОСТ 7496-84. Сільськогосподарська техніка. Методи визначення умов випробувань.

50. Datafield. URL: <http://datafield.com.ua/problem>
(дата звернення: 14.04.2025).

51. Agrodovidka.

URL: <https://agrodovidka.info/uploads/posts/content/Bezimyannii.png>
(дата звернення: 30.04.2025).

52. Väderstad. Переувщільнення ґрунту.

URL: <https://www.vaderstad.com/ua/know-how-agroporady/osnova-agronomii/analiz-i-zahust-grynty/pereushchilnennya-gruntu/> (дата звернення: 09.05.2025).

53. Навчальні матеріали УМ. URL: <http://um.co.ua/12/12-1/12-10067.html>

(дата звернення: 21.05.2025).

54. Agromania. Культиватор КПС-4. URL: <http://agromania.com.ua/kultivator-kps-4-texnicheskie-karakteristiki-i-ustrojstvo/>

(дата звернення: 06.06.2025).

55. Academic.ru. Пенетрація.

URL: <https://gidrogeology.academic.ru/2058/ПЕНЕТРАЦИЯ>

(дата звернення: 25.06.2025).

56. Agrovektor. Пенетрометр.

URL: https://agrovektor.ru/physical_product/1062581-penetrometr-izmeritelnyy-pribor-soprotivleniya-rochvy.html (дата звернення: 04.07.2025).

57. GPS Geometer. Пенетрометр DataField.

URL: <https://shop.gpsgeometer.com/products/penetrometr-datafield-ruchnij-tverdomir-gruntu> (дата звернення: 18.07.2025).

58. Anker PK. Геомеханічні установки.

URL: http://www.anker-pk.ru/зонд/ustanovki/geomil_200kn_20/

(дата звернення: 02.08.2025).

59. Hatz Diesel. Silent Power Pack.

URL: <https://press.hatz-diesel.com/silent-power-pack> (дата звернення: 19.08.2025).

60. Camozzi. Каталог.

URL: <http://catalog.camozzi.ua/> (дата звернення: 12.09.2025).

ДОДАТКИ

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПЕНЕТРОМЕТРА З МЕХАТРОНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

Шандрук П.А., здобувач вищої освіти 2 курсу освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 208 (Н7) «Агроінженерія»

Керівник: професор Котов Б.І.

Часті переміщення машинно-тракторних агрегатів по полю призводять до того, що площа, яка покривається слідом трактора, значно перевищує площу самого поля. Площа ділянки, яка вкривається колесами тракторів, не враховуючи збирально-транспортних робіт при вирощуванні жита чи пшениці, на 1 га, досягає в середньому 2 226 000 м², при вирощуванні кукурудзи – 18-30, цукрових буряків – 30000-32000 м².

Кількість слідів по одному й тому ж самому місцю поля - неоднакова. При вирощуванні озимої культури, близько 35% площі поля зазнає дворазова дія ходовими тракторними системами, 20% припадає шестиразовій дії і 2% - восьмиразовій дії. Тільки 15% площі поля – не ущільнюється.



Рисунок - Пенетрометр з пневматичним приводом та мехатронною системою керування

Аналіз конструкцій та мета, яку ми перед собою поставили, дозволив нам обрати в якості прототипу напівавтоматичний пенетрометр з пневматичним приводом (рисунок), тому що він простіший та ефективніший у використанні, на відміну від ручного та гідравлічного пенетрометра.

Нами була розроблена та розрахована пневматична система, рама для закріплення пенетрометра та всієї системи. Приведення в рух пенетрометра відбувається завдяки компресору, який в свою чергу живиться від автомобільного акумулятора 12В.

Принцип роботи пенетрометра:

- приведення в дію пневмоциліндра відбувається завдяки механічній кнопці, яка знаходиться в кабіні автомобіля;
- після подачі сигналу, пневмоциліндр виїжджає на задану глибину і зусилля яке виникає, передається на тензодатчик та на наш контролер.

Переваги використання: легкість використання та простота, дозволяє робити проколи ґрунту в будь-який час; GPS фіксує місце вимірювання та дозволяє відобразити на карті поле з даними; миттєва передача на сервер, дозволяє оперативно прийняти рішення про обробіток ґрунту; збереження даних та створення по них графіків, дає можливість аналізувати та наскільки якісно оброблене поле та чи дотримана глибина оранки.

В залежності від типу ґрунту ми можемо змінювати наконечник для 1/2" для твердих ґрунтів, або для 3/4" для пухких ґрунтів.

Виходячи з результатів дослідів та їх аналізу, можна зауважити, що дана проблема сьогодні є актуальна як ніколи, адже переущільнений ґрунт призводить до здавлювання пор, які мають легко пропускати крізь себе воду та кисень до кореневої системи рослин.

В результаті цього переущільнений ґрунт перешкоджає розвитку кореневої системи, призводить до дефіциту кисню та знижує врожайність сільськогосподарських культур, що вирощуються.

1. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проєктів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 „Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва”. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / За редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011, 640 с.

АВТОМАТИЧНИЙ ПЕНЕТРОМЕТР

Шандрук П.А., здобувач вищої освіти 2 курсу освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 208 (Н7) «Агроінженерія»

Керівник: професор Котов Б.І.

Ущільнення обмежує рух води вглиб ґрунту. Це призводить до насичення верхніх шарів, яке в свою чергу може викликати недостачу кисню кореневої системи. Інтенсивність ущільнення ґрунту істотно впливає на доступ надходження поживних речовин, таких як марганець та кисень. Денітрифікація в анаеробних умовах, приводить до серйозних втрат кисню, шляхом виходу оксиду азоту і газоподібного азоту в атмосферу.

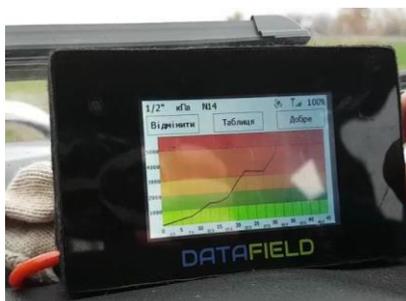
Ущільненість ґрунту погіршує обмін повітря, температурний та поживний режим, знижує біологічну активність ґрунту, що призводить до зменшення виходу CO₂ з ущільненого ґрунту в 1,3-1,7 раз. Амонійна форма погіршує повітряний режим, а кількість азоту в ущільненому ґрунті протягом вегетаційного періоду рослин досягає (до 95%).

Тому, розроблений автоматичний пенетрометр, який має мехатронну систему керування, можливість за допомогою GPS- навігації створювати звіт про якість обробки ґрунту, при цьому він легким та легко монтуватись на будь-яку мобільну платформу (вантажівка, трактор, позашляховик). (табл.).

Зміст	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Розробити автоматичний пенетрометр, який би мав мехатронну систему керування, можливість за допомогою GPS-навігації створювати звіт про якість обробки ґрунту	Агропромисловий комплекс	Зменшити вплив «людського фактора», а саме нерівномірний тиск на тензометричний датчик
	Для власного використання	Підвищити швидкість до одного проколу за хвилину, на одноктарній сітці, враховуючи переїзди між точками

До позитивних сторін запропонованого проєкту можна віднести:

- Підвищена швидкість до одного проколу за хвилину, на одноктарній сітці, враховуючи переїзди між точками;
- зменшений вплив «людського фактора», а саме нерівномірний тиск на тензометричний датчик;
- можливість цілодобової роботи в польових умовах, керуючи процесом з кабіни автомобіля;
- забезпечення живлення від автомобільного 12V акумулятора;
- здійснювання транспортування шляхами в умовах щільного трафіку;



- підвищена точність вимірювання твердості ґрунту;
- зручне користування та індикація отриманих даних.

На рисунку представлено обладнання, яке керує спеціально розробленою ТОВ "DataField" програмою, що фіксує результати проведення реологічних досліджень ґрунту.

Рисунок - Результати проведення реологічного дослідження ґрунту

1. Проєктування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проєктів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 „Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва”. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / За редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011, 640 с.