

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту

“ ” 2025 p.

Зав. кафедри, д.т.н., професор

Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗУБОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВАЖКОЇ ШИРОКОЗАХВАТНОЇ БОРОНИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ПІДСТАВИ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЇХ АГРОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК»**

Виконав: студент 2 курсу,

групи 22м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Денис ДОН

(прізвище та ініціали)

Керівник Анатолій ГОЛОВАТЮК

(прізвище та ініціали)

Рецензент Ірина ЗАМОРСЬКА

(прізвище та ініціали)

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідур В.В.
 “ ____ ” _____ 20 ____ р.

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

_____ Дону Денису Сергійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Оптимізація конструктивних і технологічних параметрів зубових робочих органів важкої широкозахватної борони для ефективного розпушення підстави та покращення їх агротехнічних характеристик»

керівник роботи _____ Головатюк А.А., доцент _____

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“01” квітня 2025 р. № 01-06/64

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: Вихідними даними до роботи є процес розпушення ґрунту зубовими робочими органами важкої широкозахватної борони, при якому досліджується вплив конструктивно-технологічних параметрів зубів на ступінь розпушення ґрунту. Як основні фактори прийнято кут атаки зуба α у межах $20-30^\circ$ (центральний рівень 25°), робочу глибину h 8–12 см (центральний рівень 10 см) та крок розміщення зубів s 15–21 см (центральний рівень 18 см), з урахуванням зіркових точок для розширення області експерименту. Критерієм оптимізації обрано ступінь розпушення ґрунту, що визначається через відношення об'ємної маси ґрунту до та після обробітку, прогнозований діапазон якого становить 1,08–1,30. Дослідження проводяться за сталих умов швидкості руху агрегату, вологості та типу ґрунту з обов'язковою фіксацією фактичної глибини обробітку й основних агрофізичних показників до і після проходження борони.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

аналіз існуючих конструкцій машин для поверхневого обробітку ґрунту; теоретично дослідити технологічні та конструктивні параметри автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту; питання охорони і безпеки праці; техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.04.2025 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.05.2025 р.	
3.	Розділ 2. Дослідження машин для поверхневого обробітку ґрунту	04.06.2025 р.	
4.	Розділ 3. Теоретичні дослідження технологічних та конструктивних параметрів автопривідного секційного робочого органу для вилічування бур'янів з розпушенням ґрунту	03.09.2025 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.2025 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.11.2025 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	20.11.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2025 р.	

Студент

(підпис)

Денис ДОН

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Анатолій ГОЛОВАТЮК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дон Денис. Оптимізація конструктивних і технологічних параметрів зубових робочих органів важкої широкозахватної борони для ефективного розпушення підстави та покращення агротехнічних характеристик. (Кваліфікаційна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 58 сторінках, у т.ч. 6 розділів, 4 рисунків, 8 таблиць, 56 джерел).

Об'єкт дослідження – процес взаємодії зубових робочих органів важкої широкозахватної борони з ґрунтом.

Мета роботи – оптимізувати конструктивні та технологічні параметри зубових робочих органів борони з метою підвищення ступеня розпушення ґрунту та покращення агротехнічних показників обробітку.

У першому розділі «Стан питання і задачі досліджень» проаналізовано сучасні підходи до поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту, розглянуто вплив ущільнення підорного шару на агрофізичні властивості ґрунту та сформульовано задачі досліджень. У другому розділі «Аналіз конструкцій важких борін та їх робочих органів» наведено огляд існуючих конструкцій широкозахватних борін, особливості зубових робочих органів і результати попередніх теоретичних та експериментальних досліджень. У третьому розділі «Теоретичні дослідження конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів» обґрунтовано вибір основних факторів (кут атаки зуба, робоча глибина та крок розміщення зубів), виконано теоретичну оцінку їх впливу на ступінь розпушення ґрунту та визначено раціональні діапазони зміни параметрів. У четвертому розділі «Охорона праці» розглянуто вимоги безпеки під час експлуатації важких ґрунтообробних знарядь та заходи з охорони праці при виконанні механізованих робіт. У п'ятому розділі «Техніко-економічне обґрунтування» визначено очікуваний агротехнічний та економічний ефект від оптимізації параметрів зубових робочих органів важкої борони.

Ключові слова: ВАЖКА БОРОНА, ЗУБОВІ РОБОЧІ ОРГАНИ, РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ, КУТ АТАКИ, РОБОЧА ГЛИБИНА, КРОК ЗУБІВ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

Зміст

(прізвище, ім'я, по батькові)	1
При-мітка.....	2
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
Сучасні агротехнології обробітку ґрунту та місце важких борін у системах землеробства	7
Конструктивні особливості та класифікація зубових робочих органів важких борін.....	8
Вплив конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів на процес розпушення ґрунту	9
Показники агротехнічної та енергетичної ефективності роботи важких борін .	10
Аналіз стану досліджень і напрями удосконалення конструкцій важких борін	11
РОЗДІЛ 2 Огляд сучасних виробників та конструкцій швидкозахватних важких борін.....	14
2.1. Світові тенденції у виробництві швидкозахватних важких борін	14
2.2. Провідні зарубіжні виробники швидкозахватних важких борін	15
2.3. Вітчизняні виробники швидкозахватних важких борін.....	15
2.4. Конструктивні особливості швидкозахватних борін різних виробників	16
2.5. Порівняльний аналіз техніко-технологічних рішень швидкозахватних важких борін	18
2.7. Висновки	19
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
3.1. Теоретичні передумови взаємодії зубових робочих органів борони з ґрунтом	21
3.2. Модель напружено-деформованого стану ґрунту в зоні дії зуба борони	22
3.3. Вплив кута атаки зуба на процес розпушення ґрунту.....	23
3.4. Вплив робочої глибини на інтенсивність і якість розпушення ґрунту.....	24
3.5. Вплив кроку розміщення зубів на формування поля деформацій ґрунту....	25
3.6. Теоретичне обґрунтування вибору діапазонів конструктивно-технологічних параметрів	26
3.7. Узагальнена теоретична модель впливу параметрів зубових робочих органів на ступінь розпушення ґрунту	27
Розділ 4. Експериментальні дослідження	29
4.1. Первинне статистичне оброблення результатів експерименту	29
4.2. Вплив кута атаки зуба на ступінь розпушування	30
4.3. Вплив кроку розміщення зубів на ступінь розпушування.....	33

4.4. Вплив кроку розміщення зубів на ступінь розпушування.....	35
4.5. Висновки	37
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	39
5.1 Служба з охорони праці в господарстві (організаційна структура та повноваження)	39
5.2 Виробничий травматизм та ризики при операціях поверхневого обробітку ґрунту	40
5.3 Безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах під час поверхневого обробітку	41
5.4. Висновок	42

ВСТУП

Сучасний етап розвитку агротехнологій характеризується активним упровадженням ресурсозберігаючих та адаптивних систем землеробства, спрямованих на підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва за одночасного збереження родючості ґрунтів. В умовах інтенсифікації землеробства, застосування важкої енергетично насиченої техніки та скорочення сівозмін дедалі гострішою стає проблема ущільнення ґрунту, погіршення його агрофізичних властивостей, зниження водо- і повітропроникності та нерівномірності формування посівного шару. Це зумовлює необхідність удосконалення технологій поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту, які повинні забезпечувати ефективне розпушення без надмірних енерговитрат і порушення структури ґрунту.

У сучасних господарствах важливе місце займають ґрунтообробні агрегати поверхневої дії, зокрема важкі широкозахватні борони, які використовуються для передпосівного обробітку, руйнування ґрунтової кірки, вирівнювання поверхні поля, подрібнення грудок і часткового розпушення ущільнених горизонтів. Важкі борони є універсальними машинами, що дозволяють виконувати обробіток ґрунту з високою продуктивністю та значною шириною захвату, добре поєднуються з енергонасиченими тракторами та відповідають вимогам сучасних технологій мінімального і комбінованого обробітку.

Разом з тим ефективність роботи важких борін значною мірою визначається конструктивно-технологічними параметрами їх робочих органів, зокрема геометрією зубів, кутом їх встановлення, робочою глибиною та схемою розміщення по ширині захвату. Нераціональний вибір цих параметрів може призводити до недостатнього розпушення ґрунту, підвищених енерговитрат, нерівномірності обробітку та зниження агротехнічної якості виконуваних робіт. У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування і оптимізація параметрів зубових робочих органів важких борін з урахуванням сучасних вимог агротехнологій і умов експлуатації в господарствах різних форм власності.

Таким чином, дослідження, спрямовані на оптимізацію конструктивних і технологічних параметрів зубових робочих органів важкої широкозахватної борони, є важливими з точки зору підвищення ефективності ґрунтообробних процесів, покращення агрофізичних властивостей ґрунту та забезпечення сталого розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сучасні агротехнології обробітку ґрунту та місце важких борін у системах землеробства

Сучасні агротехнології обробітку ґрунту формуються під впливом вимог інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, ресурсозбереження та збереження родючості ґрунтів. Основними тенденціями розвитку є скорочення кількості проходів ґрунтообробних агрегатів по полю, зменшення енерговитрат, адаптація технологій до конкретних ґрунтово-кліматичних умов і поєднання в одному технологічному процесі кількох операцій. У цьому контексті особливої актуальності набувають технології мінімального та комбінованого обробітку ґрунту, які спрямовані на зниження механічного навантаження на ґрунт і попередження його надмірного ущільнення [1].

У сучасних системах землеробства поверхневий і передпосівний обробіток ґрунту відіграє важливу роль у формуванні оптимальних умов для проростання насіння та розвитку кореневої системи рослин. Такі операції забезпечують вирівнювання поверхні поля, руйнування ґрунтової кірки, подрібнення грудок, часткове знищення сходів бур'янів і створення дрібногрудкуватої структури верхнього шару ґрунту. При цьому глибокий обробіток не завжди є доцільним, оскільки може призводити до надмірних енерговитрат і порушення природної структури ґрунту [2].

Важкі борони посідають значне місце в системах сучасного землеробства як універсальні знаряддя поверхневої дії. Їх застосовують для передпосівного обробітку, догляду за парами, післяжнивного розпушення та вирівнювання ґрунту після основного обробітку. Завдяки значній ширині захвату та можливості агрегування з потужними тракторами важкі борони забезпечують високу продуктивність і відповідають вимогам великотоварного сільськогосподарського виробництва [3].

Ефективність використання важких борін у значній мірі визначається їх здатністю забезпечувати не лише поверхнєве вирівнювання, а й розпушення ущільнених шарів ґрунту в межах робочої глибини. Це особливо важливо в умовах інтенсивного використання важкої техніки, коли формується ущільнена підстава, що негативно впливає на водно-повітряний режим ґрунту та розвиток рослин. У цьому аспекті важкі борони розглядаються як проміжна ланка між традиційними боронами легкої дії та ґрунтообробними машинами глибокого розпушення [4].

Таким чином, у сучасних агротехнологіях важкі борони є важливим елементом адаптивних систем землеробства, які поєднують вимоги до високої продуктивності, агротехнічної якості обробітку та раціонального використання

енергетичних ресурсів. Раціональний вибір і наукове обґрунтування параметрів робочих органів цих машин є необхідною умовою підвищення ефективності ґрунтообробних процесів та сталого розвитку сільськогосподарського виробництва [5].

Конструктивні особливості та класифікація зубових робочих органів важких борін

Зубові робочі органи важких борін є основними елементами, що безпосередньо взаємодіють із ґрунтом і визначають агротехнічну ефективність виконання ґрунтообробного процесу. Їх конструкція формується з урахуванням вимог до міцності, зносостійкості, стабільності роботи в умовах змінної щільності ґрунту та можливості регулювання технологічних параметрів. Зуби, як правило, виготовляються з легованих або термічно оброблених сталей і жорстко або шарнірно закріплюються на рамі борони, що забезпечує необхідну надійність і довговічність у процесі експлуатації [6-7].

За формою поперечного перерізу зубові робочі органи важких борін поділяють на круглі, квадратні та прямокутні. Круглі зуби характеризуються меншим опором ґрунту та кращим самоочищенням, однак забезпечують менш інтенсивне розпушення. Квадратні та прямокутні зуби створюють більш виражений зсув і підрип ґрунту, що підвищує ступінь розпушення, проте супроводжується зростанням тягового опору і зносу робочої поверхні. Вибір форми перерізу визначається призначенням борони та умовами її застосування [8].

За формою робочої частини зуби поділяють на прямі, зігнуті та комбіновані. Прямі зуби забезпечують стабільну роботу та простоту конструкції, зігнуті дозволяють змінювати напрямок дії сил на ґрунт і підвищувати ефективність руйнування ущільнених шарів, тоді як комбіновані конструкції поєднують властивості обох типів. Кут нахилу та кут атаки зуба є важливими конструктивними параметрами, які безпосередньо впливають на характер взаємодії з ґрунтом, глибину проникнення та інтенсивність розпушення [9].

За способом кріплення до рами розрізняють жорстко закріплені та пружинні зуби. Жорстке кріплення забезпечує точне дотримання заданих геометричних параметрів і стабільність роботи на вирівняних ділянках, тоді як пружинні зуби краще адаптуються до нерівностей поверхні поля та зменшують динамічні навантаження на раму борони. У важких борах перевага часто надається жорстким або напівжорстким конструкціям, які забезпечують інтенсивний вплив на ґрунт [10].

За схемою розміщення зубів на рамі борони їх класифікують за кількістю рядів і кроком встановлення. Зуби можуть розташовуватись в одному або кількох рядах із певним зміщенням, що забезпечує перекриття зон деформації ґрунту по ширині

захвату. Раціональний крок розміщення зубів є важливою умовою рівномірного обробітку ґрунту та запобігання утворенню необроблених смуг [11].

Таким чином, конструктивні особливості та класифікація зубових робочих органів важких борін охоплюють форму, геометрію, спосіб кріплення та схему розміщення зубів. Сукупність цих параметрів визначає характер взаємодії робочих органів із ґрунтом, агротехнічну якість обробітку та енергетичну ефективність роботи борони, що обґрунтовує необхідність їх детального аналізу та оптимізації [12].

Вплив конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів на процес розпушення ґрунту

Процес розпушення ґрунту зубовими робочими органами важких борін визначається складною взаємодією геометричних, кінематичних та технологічних параметрів робочих органів з агрофізичними властивостями ґрунту. Під час руху борони зуби занурюються у ґрунт і викликають локальні пружно-пластичні деформації, зсув і руйнування ґрунтових агрегатів, у результаті чого формується розпушений шар з покращеними водно-повітряними властивостями. Характер і інтенсивність цього процесу значною мірою залежать від конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів [13].

Одним із визначальних параметрів є кут атаки зуба відносно напрямку руху. Зі збільшенням кута атаки зростає вертикальна складова сили взаємодії зуба з ґрунтом, що сприяє активнішому проникненню робочого органа та інтенсивнішому підриву ґрунтового шару. Водночас надмірне збільшення кута атаки призводить до різкого зростання тягового опору і енерговитрат, а також до можливого переущільнення окремих зон ґрунту. Тому кут атаки розглядається як параметр, що потребує оптимізації з урахуванням умов роботи та призначення борони [14].

Робоча глибина обробітку безпосередньо визначає об'єм ґрунту, який залучається до процесу розпушення. Зі збільшенням глибини зростає зона пластичних деформацій і руйнування ґрунтової структури, що дозволяє ефективніше розпушувати ущільнені шари. Разом з тим збільшення робочої глибини супроводжується зростанням тягового опору і навантаження на робочі органи, що обмежує її величину технологічними та енергетичними можливостями агрегату [15].

Важливим технологічним параметром є крок розміщення зубів по ширині захвату борони. Він визначає ступінь перекриття зон деформації ґрунту, які утворюються під дією окремих зубів. За малого кроку відбувається значне перекриття цих зон, що забезпечує рівномірне розпушення, але водночас може призводити до підвищення енерговитрат. За надмірно великого кроку між слідами зубів залишаються недостатньо розпушені ділянки, що знижує агротехнічну якість

обробітку. Таким чином, існує оптимальне значення кроку розміщення зубів, за якого досягається максимальний ступінь розпушення за прийнятних енерговитрат [16].

Сукупна дія конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів формує напружено-деформований стан ґрунту в зоні обробітку та визначає кінцевий агротехнічний ефект роботи важкої борони. Раціональне поєднання кута атаки, робочої глибини та кроку розміщення зубів забезпечує ефективне розпушення ґрунту, зменшення його щільності та створення сприятливих умов для росту і розвитку сільськогосподарських культур, що обґрунтовує необхідність їх науково обґрунтованої оптимізації [17].

Показники агротехнічної та енергетичної ефективності роботи важких борін

Оцінка ефективності роботи важких борін ґрунтується на сукупності агротехнічних та енергетичних показників, які комплексно характеризують якість виконання технологічного процесу та рівень витрат енергії на його реалізацію. Застосування цих показників дозволяє об'єктивно порівнювати різні конструкції та режими роботи ґрунтообробних машин, а також визначати раціональні параметри їх експлуатації в конкретних умовах господарювання [18].

До основних агротехнічних показників належить ступінь розпушення ґрунту, який відображає зміну його агрофізичного стану внаслідок обробітку. Він може оцінюватися через зменшення об'ємної маси ґрунту, зміну опору пенетрації або коефіцієнт розпушення. Високий ступінь розпушення свідчить про ефективне руйнування ущільнених шарів і створення сприятливого водно-повітряного режиму для розвитку рослин. Важливим показником також є рівномірність розпушення по ширині захвату борони, що визначає відсутність необроблених смуг і забезпечує однорідність підготовки ґрунту [19].

Суттєве значення мають показники вирівнювання поверхні поля та подрібнення ґрунтових грудок. Якісне вирівнювання сприяє рівномірному загортанню насіння і зменшує втрати вологи, тоді як оптимальний ступінь кришіння ґрунту забезпечує формування дрібногрудкуватої структури посівного шару. Додатково враховують здатність важких борін руйнувати ґрунтову кірку та частково знищувати сходи бур'янів, що позитивно впливає на подальший розвиток культурних рослин [20].

Енергетична ефективність роботи важких борін оцінюється за показниками тягового опору, питомих енерговитрат і витрат пального на одиницю обробленої площі. Тяговий опір характеризує сумарні зусилля, необхідні для переміщення борони в ґрунті, і безпосередньо залежить від конструкції робочих органів, глибини обробітку та фізико-механічних властивостей ґрунту. Питоми енерговитрати

дозволяють оцінити економічність технологічного процесу і є важливим критерієм при виборі режимів роботи агрегату [21].

Узагальнюючим показником ефективності роботи важких борін є співвідношення між досягнутим агротехнічним ефектом і витратами енергії. Раціональні конструктивно-технологічні параметри робочих органів повинні забезпечувати необхідний ступінь розпушення та вирівнювання ґрунту за мінімально можливих енерговитрат. Саме такий підхід дозволяє підвищити економічну доцільність застосування важких борін і забезпечити їх ефективне використання в сучасних системах землеробства.

Аналіз стану досліджень і напрями удосконалення конструкцій важких борін

Стан наукових і прикладних досліджень у сфері поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту свідчить про стійкий інтерес до підвищення продуктивності широкозахватних агрегатів та поліпшення агротехнічної якості обробітку за умов обмеження енерговитрат і збереження структури ґрунту. У публікаціях і технічній документації значна увага приділяється конструкціям борін та комбінованих агрегатів, а також параметрам робочих органів, що визначають характер взаємодії з ґрунтом. Разом з тим спостерігається різниця в підходах до оцінювання ефективності: частина робіт орієнтована переважно на технологічний результат (якість кришіння і вирівнювання), тоді як інші акцентують енергетичну складову (тяговий опір, витрати пального). Це ускладнює пряме порівняння результатів і підкреслює потребу в комплексному критерії оцінювання, який би одночасно враховував агротехнічний ефект і витрати енергії [22].

Загальною проблемою багатьох досліджень є обмеженість системного аналізу впливу конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів у межах єдиного експериментального плану. Нерідко параметри розглядають ізольовано, без урахування взаємодії факторів, хоча саме поєднання кута атаки, робочої глибини та кроку розміщення зубів формує поле деформацій ґрунту і визначає рівномірність обробітку. Додатковим чинником невизначеності є істотний вплив умов експлуатації, зокрема вологості, щільності та гранулометричного складу ґрунту, на відтворюваність результатів. Унаслідок цього одна і та сама конструкція борони може демонструвати різні агротехнічні показники в різних господарствах, що підкреслює потребу адаптивного підходу до вибору і регулювання параметрів робочих органів [23].

Практика експлуатації важких борін у сучасних господарствах також виявляє низку типових недоліків, що потребують удосконалення. До них належать нерівномірність обробітку по ширині захвату внаслідок нераціональної схеми розміщення зубів, зростання тягового опору при підвищенні глибини та

агресивності кута атаки, підвищений знос робочих поверхонь, а також ризик забивання рослинними рештками за несприятливих умов. Високі швидкості роботи широкозахватних агрегатів посилюють динамічні навантаження на раму і вузли кріплення зубів, тому питання міцності, втомної довговічності та демпфування коливань залишаються актуальними [24].

Перспективні напрями удосконалення конструкцій важких борін пов'язують із підвищенням керованості технологічного процесу та адаптації робочих органів до змінних польових умов. До таких напрямів належать розроблення регульованих систем встановлення зубів, що забезпечують оперативну зміну кута атаки і робочої глибини, оптимізація кроку розміщення зубів з урахуванням перекриття зон деформації ґрунту, застосування зносостійких матеріалів і наплавлень для підвищення довговічності, а також використання пружних або комбінованих схем кріплення для зменшення ударних навантажень. Важливим напрямом є інтеграція важких борін у складі комбінованих агрегатів, які дозволяють за один прохід виконувати кілька операцій, зменшуючи загальну кількість проходів по полю і рівень ущільнення ґрунту [25].

Отже, аналіз стану досліджень засвідчує, що попри значний накопичений досвід у проектуванні та застосуванні важких борін, залишаються невирішеними питання комплексної оптимізації параметрів зубових робочих органів з урахуванням їх взаємодії та змінних умов експлуатації. Це обґрунтовує актуальність подальших досліджень, спрямованих на встановлення раціональних діапазонів і поєднань конструктивно-технологічних параметрів, що забезпечують необхідний ступінь розпушення ґрунту за прийнятних енерговитрат і стабільної агротехнічної якості обробітку.

На основі тематики кваліфікаційної роботи, аналізу сучасного стану досліджень і запланованого експерименту доцільно сформулювати такі завдання роботи:

Проаналізувати сучасні агротехнології обробітку ґрунту, конструкції важких борін та існуючі підходи до оцінювання впливу зубових робочих органів на агрофізичні показники ґрунту.

Теоретично обґрунтувати вибір конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів важкої борони та визначити характер їх впливу на процес розпушення ґрунту.

Провести експериментальні дослідження впливу кута атаки зуба, робочої глибини та кроку розміщення зубів на ступінь розпушення ґрунту з використанням планованого факторного експерименту.

На основі отриманих результатів визначити раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів важкої борони, що забезпечують підвищення агротехнічної та енергетичної ефективності її роботи.

РОЗДІЛ 2 Огляд сучасних виробників та конструкцій швидкозахватних важких борін

2.1. Світові тенденції у виробництві швидкозахватних важких борін

Світові тенденції у виробництві швидкозахватних важких борін формуються під впливом інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, зростання розмірів господарств і переходу до високопродуктивних технологій обробітку ґрунту. В умовах дефіциту трудових ресурсів та обмежених агротехнічних строків ключовим напрямом розвитку є збільшення ширини захвату борін за одночасного забезпечення стабільної якості обробітку. Це дозволяє скоротити кількість проходів по полю, зменшити витрати часу і пального та підвищити загальну продуктивність технологічних операцій [26].

Однією з провідних тенденцій є орієнтація на універсальність і адаптивність конструкцій. Сучасні швидкозахватні важкі борони проєктуються з урахуванням можливості роботи в різних ґрунтово-кліматичних умовах і за різних технологічних схем обробітку. Для цього виробники широко застосовують регульовані системи встановлення робочих органів, що дозволяють змінювати кут атаки зубів, робочу глибину та інтенсивність впливу на ґрунт без суттєвих конструктивних змін. Такий підхід забезпечує гнучкість використання машин і підвищує їх конкурентоспроможність на світовому ринку [26].

Важливим напрямом розвитку є вдосконалення конструктивних рішень, спрямованих на зниження енерговитрат. Це досягається шляхом оптимізації геометрії зубових робочих органів, раціонального розміщення їх по ширині захвату, а також використання високоміцних і зносостійких матеріалів, що дозволяють зменшити масу машин без втрати міцності. Особлива увага приділяється забезпеченню рівномірного розподілу навантажень по рамі борони та підвищенню її жорсткості, що є критичним для широкозахватних агрегатів, які працюють на високих швидкостях [27].

У світовій практиці спостерігається тенденція до інтеграції швидкозахватних важких борін у складі комбінованих ґрунтообробних агрегатів. Такі машини поєднують у собі функції розпушення, вирівнювання і часткового подрібнення ґрунту, що дозволяє за один прохід виконувати кілька технологічних операцій. Це відповідає концепції ресурсозберігаючого землеробства та сприяє зменшенню ущільнення ґрунту, яке виникає внаслідок багаторазових проходів техніки [28].

Таким чином, світові тенденції у виробництві швидкозахватних важких борін спрямовані на створення високопродуктивних, енергоефективних і технологічно гнучких машин, здатних забезпечувати якісний обробіток ґрунту в умовах сучасного землеробства. Ці тенденції підтверджують актуальність досліджень, спрямованих на оптимізацію конструктивно-технологічних параметрів робочих

органів важких борін, з метою підвищення їх агротехнічної та економічної ефективності.

2.2. Провідні зарубіжні виробники швидкозахватних важких борін

Провідні зарубіжні виробники швидкозахватних важких борін формують сучасні підходи до конструювання та вдосконалення ґрунтообробних машин, орієнтованих на високу продуктивність і стабільну агротехнічну якість обробітку. Їхня продукція широко використовується в господарствах різних країн і слугує базою для розвитку нових технічних рішень у галузі поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту [29].

Серед європейських виробників значне місце посідають компанії, які спеціалізуються на створенні широкозахватних ґрунтообробних агрегатів із регульованими робочими органами та жорсткими рамними конструкціями. Їхні борони відзначаються високою надійністю, можливістю адаптації до різних типів ґрунтів і використанням зносостійких матеріалів для зубових робочих органів. Особлива увага приділяється забезпеченню рівномірності обробітку по ширині захвату та зменшенню енерговитрат при роботі на високих швидкостях [30].

Північноамериканські виробники швидкозахватних важких борін орієнтуються на роботу в умовах великих площ і високої інтенсивності експлуатації. Їхні машини, як правило, мають значну ширину захвату, посилену рамну конструкцію та спрощені, але надійні системи регулювання. Такі борони розраховані на тривалу безперервну роботу і забезпечують стабільний агротехнічний ефект навіть за змінних ґрунтових умов [31].

Загальною рисою продукції провідних зарубіжних виробників є прагнення до поєднання високої продуктивності з універсальністю застосування. Конструкції швидкозахватних важких борін передбачають можливість роботи як у традиційних, так і в ресурсозберігаючих системах землеробства, що відповідає сучасним вимогам аграрного виробництва. Досвід і технічні рішення зарубіжних компаній є важливим джерелом для аналізу та подальшого удосконалення конструкцій важких борін у контексті наукових досліджень.

2.3. Вітчизняні виробники швидкозахватних важких борін

Вітчизняні виробники швидкозахватних важких борін представлені підприємствами машинобудівної галузі, які спеціалізуються на виготовленні ґрунтообробної техніки адаптованої до українських ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фермерських господарств. Базовим напрямом діяльності таких виробників є створення борін із модульною конструкцією, що дозволяє регулювати ширину захвату, робочу глибину та кут атаки робочих органів, а також забезпечує їхню сумісність із вітчизняними тракторами різної потужності. Конструкції таких

борін зазвичай передбачають підсилені рамні елементи, адаптовані до роботи в умовах неоднорідних та ущільнених ґрунтів, характерних для регіональних сільськогосподарських угідь [32].

Важлива особливість вітчизняних виробників полягає в орієнтації на доступність сервісного обслуговування і локальну мережу запчастин, що сприяє підвищенню надійності техніки в польових умовах експлуатації. Також у конструкціях борін українських марок відображено досвід місцевих аграріїв щодо зниження ризику забивання робочих органів рослинними рештками та забезпечення оптимальної взаємодії з ґрунтом за широкого діапазону вологості [33].

Окремі вітчизняні виробники впроваджують рішення, спрямовані на зменшення енерговитрат під час обробітку, зокрема за рахунок оптимізації геометрії зубових робочих органів та застосування легшої високонадійної сталі. У їхній продукції також зустрічаються борони з механізмами швидкого регулювання параметрів без застосування спеціального інструменту, що підвищує технологічність і зручність роботи оператора в польових умовах [34].

У цілому вітчизняні виробники швидкозахватних важких борін прагнуть поєднувати конструктивні рішення, які відповідають вимогам сучасних агротехнологій, з урахуванням економічних можливостей українських господарств, що сприяє підвищенню ефективності ґрунтообробних операцій та розвитку національного машинобудування.

2.4. Конструктивні особливості швидкозахватних борін різних виробників

Конструктивні особливості швидкозахватних важких борін різних виробників насамперед визначаються концепцією машини та її призначенням у технології обробітку ґрунту. Частина виробників орієнтується на інтенсивне розпушення й подрібнення з одночасним вирівнюванням поверхні, інші роблять акцент на мінімізації енерговитрат і збереженні структури ґрунту. Унаслідок цього відрізняються геометрія та тип робочих органів, схема їх розміщення по ширині захвату, рівень регульованості параметрів і конструкція несучої рами [35].

Однією з ключових відмінностей є побудова рами та секцій. Для широких захватів застосовують модульні рами з боковими крилами, що складаються для транспортування. У різних виробників відрізняються шарнірні вузли, кінематика складання, жорсткість рами і розподіл навантаження між центральною секцією та крилами. Підвищення жорсткості досягають посиленнями профілями, додатковими розкосами, а також конструктивною схемою, яка зменшує крутильні деформації при роботі на нерівному рельєфі. Окремі конструкції мають плаваюче

підвішування секцій для кращого копіювання мікрорельєфу та стабільності глибини на значній ширині захвату [36].



Рис. 2.1 Загальний вигляд виробу

Важливою конструктивною ознакою є тип і компоновка зубових робочих органів. У практиці зустрічаються жорстко закріплені зуби, пружинні стійки або комбіновані рішення, що по-різному впливають на інтенсивність розпушення, вібраційний режим і стійкість до перевантажень. Виробники відрізняються формою зуба (переріз, загострення, довжина), кутом встановлення та можливістю швидкого регулювання кута атаки. Частина конструкцій дозволяє змінювати агресивність роботи без заміни елементів, тоді як інші використовують змінні наконечники або різні типи зубів для різних умов ґрунту [37].

Схема розміщення зубів та їх крок по ширині захвату також суттєво різняться. Одні виробники використовують більшу кількість рядів із меншим кроком для отримання рівномірного поля деформацій і вирівнювання, інші — рідше розміщення з метою зниження тягового опору та покращення проходження рослинних решток. У багатьох конструкціях передбачено зміщення рядів зубів, щоб забезпечити перекриття слідів і зменшити ризик утворення необроблених смуг. Для господарств із великою кількістю пожнивних решток виробники часто збільшують просвіт і відстані між рядами, застосовуючи геометрію, що зменшує забивання [38].

Системи контролю глибини та вирівнювання поверхні поля є ще однією групою відмінностей. Глибина може задаватися опорними колесами, котками або комбінованими системами, при цьому різниться точність регулювання, розташування опорних елементів і здатність утримувати глибину на неоднорідних ділянках. Часто застосовують вирівнювальні планки або секції, а також задні котки різних типів для стабілізації глибини й формування поверхневого шару. Вибір котка й його конструктивні параметри залежать від цільового результату: ущільнення поверхні, кришіння грудок, запобігання надмірному висушуванню або формування посівного ложа [39].

Окремим напрямом диференціації є технологічність обслуговування та довговічність. Виробники по-різному вирішують питання зносостійкості робочих органів через матеріали, термообробку, змінні наконечники, захисні наплавлення або використання високоміцних сталей для стійок і рами. Важливими є також вузли змащування, доступність регулювань, уніфікація кріпильних елементів і швидкість заміни зношуваних деталей. У конструкціях, орієнтованих на високі швидкості, більше уваги приділяють демпфуванню коливань і підвищенню втомної міцності шарнірних з'єднань [40].

Таким чином, конструктивні особливості швидкозахватних важких борін різних виробників найчастіше проявляються у відмінностях рамно-секційної схеми, типу та регулювання зубових робочих органів, компоновки й кроку розміщення зубів, систем контролю глибини й вирівнювання, а також у рішеннях щодо довговічності, прохідності по рештках і зручності експлуатації. Саме ці відмінності доцільно використовувати як базу для порівняльного аналізу в огляді та для обґрунтування вибору параметрів у вашому експерименті.

2.5. Порівняльний аналіз техніко-технологічних рішень швидкозахватних важких борін

Порівняльний аналіз техніко-технологічних рішень швидкозахватних важких борін свідчить про різноманітність підходів до реалізації процесу поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту, що зумовлено відмінностями у ґрунтово-кліматичних умовах, масштабах господарств і вимогах до агротехнічної якості робіт. Основними об'єктами порівняння є конструкція рами та секцій, тип і параметри робочих органів, схема їх розміщення, системи регулювання робочої глибини та показники енергетичної ефективності [41].

За конструкцією несучої рами більшість швидкозахватних важких борін виконуються у вигляді модульних або секційних систем із гідравлічним складанням для транспортування. Зарубіжні виробники, як правило, застосовують високоякісні сталеві профілі складного перерізу, що забезпечує підвищену жорсткість і зменшення маси конструкції, тоді як у вітчизняних зразках частіше

використовуються простіші профілі з підвищеним запасом міцності. Це зумовлює різницю між питомою масою агрегатів і вимогами до потужності трактора, але водночас впливає на довговічність і ремонтпридатність [42].

Суттєві відмінності простежуються у конструкції зубових робочих органів і способах їх встановлення. Частина виробників орієнтується на жорстко закріплені зуби з фіксованим кутом атаки, що забезпечує стабільність процесу і простоту конструкції. Інші застосовують пружинні або напівпружинні стійки, які знижують ударні навантаження і підвищують прохідність по рослинних рештках. Відмінності у формі зуба, його довжині та поперечному перерізі зумовлюють різний характер взаємодії з ґрунтом, що відображається на ступені розпушення та величині тягового опору [43].

Порівняння схем розміщення робочих органів показує, що борони з меншою відстанню між зубами забезпечують більш рівномірне поле деформацій ґрунту і кращу якість розпушення, проте характеризуються підвищеними енерговитратами. Конструкції з більшим кроком зубів мають менший тяговий опір і кращу прохідність у складних умовах, але можуть залишати недостатньо розпушені ділянки між слідами робочих органів. Таким чином, вибір схеми розміщення зубів є компромісом між агротехнічною якістю та енергетичною ефективністю [44].

Значні відмінності виявляються також у системах регулювання робочої глибини та вирівнювання поверхні поля. У більш технологічних рішеннях застосовуються комбіновані системи опорних коліс і котків, що дозволяють стабілізувати глибину по всій ширині захвату та покращити якість формування поверхневого шару. Простіші конструкції забезпечують достатню ефективність за сталих умов, однак менш адаптивні до змін рельєфу та фізичних властивостей ґрунту [45].

Загалом порівняльний аналіз техніко-технологічних рішень швидкозахватних важких борін показує, що сучасні конструкції розвиваються у напрямі підвищення ширини захвату, універсальності та керованості процесу обробки ґрунту. Разом з тим жодне з рішень не є універсальним, а ефективність борони визначається відповідністю її конструктивно-технологічних параметрів конкретним умовам експлуатації. Це підтверджує доцільність науково обґрунтованої оптимізації параметрів зубових робочих органів, що і є предметом даного дослідження.

2.7. Висновки

На основі аналізу світових тенденцій, діяльності провідних зарубіжних і вітчизняних виробників, а також конструктивних і техніко-технологічних рішень швидкозахватних важких борін можна зробити такі узагальнені висновки.

Сучасний розвиток швидкозахватних важких борін у світовій практиці спрямований на підвищення продуктивності ґрунтообробних операцій за рахунок збільшення ширини захвату, скорочення кількості проходів по полю та адаптації машин до різних систем землеробства. Провідні виробники орієнтуються на створення універсальних агрегатів, здатних працювати в широкому діапазоні ґрунтово-кліматичних умов і забезпечувати стабільну агротехнічну якість обробітку при високих робочих швидкостях [46].

Зарубіжні виробники швидкозахватних важких борін демонструють високий рівень технологічності конструкцій, що проявляється у застосуванні модульних рам, ефективних систем регулювання робочих параметрів, зносостійких матеріалів і рішень, спрямованих на зниження енерговитрат. Їхні конструкції характеризуються високою адаптивністю та орієнтацією на роботу у великих господарствах з інтенсивним використанням техніки. Разом з тим такі борони часто потребують значних капіталовкладень і високих вимог до технічного обслуговування [47].

Вітчизняні виробники зосереджуються на створенні швидкозахватних важких борін, максимально пристосованих до умов експлуатації в українських господарствах. Основними перевагами таких конструкцій є простота, підвищена міцність, ремонтпридатність та доступність сервісного обслуговування. Водночас рівень регульованості параметрів і застосування високотехнологічних матеріалів у багатьох випадках поступається зарубіжним аналогам, що обмежує можливості гнучкого налаштування технологічного процесу [48].

Порівняльний аналіз конструктивних особливостей борін різних виробників показує, що ключовими елементами, які визначають ефективність роботи, є схема та жорсткість рами, тип і геометрія зубових робочих органів, крок їх розміщення, а також системи контролю робочої глибини. Вибір конкретних технічних рішень завжди пов'язаний із компромісом між агротехнічною якістю обробітку, енергетичними витратами та універсальністю застосування агрегату [49].

Загалом аналіз техніко-технологічних рішень свідчить про відсутність універсальної конструкції швидкозахватної важкої борони, яка була б однаково ефективною за всіх умов експлуатації. Ефективність роботи таких машин значною мірою визначається раціональним поєднанням конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів і можливістю їх адаптації до конкретних умов поля. Це підтверджує доцільність подальших досліджень, спрямованих на науково обґрунтовану оптимізацію параметрів зубових робочих органів важких борін, що і визначає актуальність даної кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Теоретичні передумови взаємодії зубових робочих органів борони з ґрунтом

Теоретичні передумови взаємодії зубових робочих органів борони з ґрунтом ґрунтуються на положеннях механіки ґрунтів і теорії взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з дисперсними середовищами. Ґрунт у процесі обробітку розглядається як багатокомпонентне, неоднорідне та анізотропне середовище, властивості якого визначаються гранулометричним складом, вологістю, щільністю та ступенем структурованості. Під дією зовнішніх навантажень ґрунт здатний проявляти як пружні, так і пластичні деформації, а за перевищення граничних напружень – руйнуватися з утворенням зсувних поверхонь і тріщин [50-52].

Взаємодія зубового робочого органа з ґрунтом супроводжується виникненням складного напружено-деформованого стану в зоні контакту. Під час руху борони зуб занурюється в ґрунт і створює локальну зону ущільнення перед собою, в якій зростають нормальні та дотичні напруження. За досягнення граничних значень міцності ґрунту відбувається його зсув і руйнування, що супроводжується переміщенням частинок ґрунту вгору і вбік від траєкторії руху зуба. Цей процес визначає характер розпушення та формування структури обробленого шару [51].

У теоретичних моделях взаємодії ґрунту з робочими органами широко використовується уявлення про ґрунт як пружно-пластичне тіло, поведінка якого описується умовами граничної рівноваги. При цьому вважається, що руйнування ґрунту відбувається за рахунок зсуву вздовж певних поверхонь, орієнтація і форма яких залежать від геометрії робочого органа, глибини його занурення та фізико-механічних властивостей ґрунту. Зуб борони в цьому випадку виконує роль клиноподібного елемента, який спричиняє деформацію і руйнування ґрунтового масиву [53].

Характер взаємодії зуба з ґрунтом істотно залежить від геометричних параметрів робочого органа та умов його руху. Кут атаки зуба визначає напрямок прикладання сил і співвідношення між вертикальною та горизонтальною складовими опору ґрунту, що безпосередньо впливає на глибину проникнення і інтенсивність розпушення. Робоча глибина визначає об'єм ґрунту, залучений у зону деформації, а також величину опору руху. За більшої глибини зростає зона пластичних деформацій і підвищується інтенсивність руйнування ущільнених шарів, проте водночас збільшуються енерговитрати [54].

Суттєвим чинником є взаємодія зон деформації, створюваних окремими зубами борони. За певного кроку розміщення зубів зони деформації перекриваються, утворюючи суцільне поле розпушення по ширині захвату. Якщо відстань між зубами є надмірною, між слідами робочих органів залишаються

ділянки ґрунту з підвищеною щільністю, що знижує агротехнічну якість обробітку. Таким чином, теоретичні передумови взаємодії зубових робочих органів борони з ґрунтом свідчать про необхідність комплексного врахування геометричних, технологічних і фізико-механічних факторів для забезпечення ефективного процесу розпушення ґрунту [55].

3.2. Модель напружено-деформованого стану ґрунту в зоні дії зуба борони

Модель напружено-деформованого стану ґрунту в зоні дії зуба борони базується на уявленні про ґрунт як суцільне пружно-пластичне середовище, яке під дією зовнішнього навантаження здатне накопичувати деформації та руйнуватися після досягнення граничного стану. Під час роботи борони зуб занурюється в ґрунтовий масив і створює локальну область складного напруженого стану, в межах якої відбуваються ущільнення, зсув і руйнування ґрунтових агрегатів. Ця область має просторовий характер і поширюється як у напрямку руху зуба, так і вглиб та вбік від нього [56].

У зоні безпосереднього контакту зуба з ґрунтом формуються підвищені нормальні та дотичні напруження. Перед робочою поверхнею зуба виникає зона активного тиску, в якій ґрунт зазнає переважно стискання і поступово переходить у стан граничної рівноваги. У цій зоні ґрунтові частинки ущільнюються, а подальше зростання навантаження призводить до зсуву по поверхнях ковзання. Форма і орієнтація цих поверхонь визначаються геометрією зуба, кутом його атаки та фізико-механічними властивостями ґрунту [56].

За зубом борони формується зона розвантаження, в якій напруження різко зменшуються, а ґрунт переходить у розпушений стан. У цій області відбувається розкриття тріщин, часткове переміщення ґрунту вгору та вбік, а також формування пористої структури обробленого шару. Саме ця зона визначає кінцевий агротехнічний ефект роботи борони, зокрема ступінь розпушення і зниження щільності ґрунту [40].

У теоретичній моделі приймається, що напружено-деформований стан ґрунту формується в межах так званої активної зони деформацій, розміри якої залежать від робочої глибини та кута атаки зуба. Зі збільшенням глибини занурення зуба зростає об'єм ґрунту, залучений у пластичні деформації, а межі зони деформацій зміщуються глибше в ґрунтовий масив. Це супроводжується підвищенням опору руху, але водночас забезпечує руйнування ущільнених горизонтів і більш інтенсивне розпушення [42].

Суттєвим елементом моделі є врахування взаємодії напружених зон від сусідніх зубів борони. За оптимального кроку їх розміщення зони деформацій перекриваються, утворюючи суцільне поле напружень і деформацій по ширині захвату. У цьому випадку ґрунт зазнає рівномірного розпушення, а напружено-

деформований стан не має локальних необроблених ділянок. За надмірного збільшення відстані між зубами активні зони деформацій не перекриваються, що призводить до збереження підвищеної щільності ґрунту між слідами робочих органів [44].

Таким чином, модель напружено-деформованого стану ґрунту в зоні дії зуба борони дозволяє теоретично описати процеси ущільнення, зсуву і руйнування ґрунтового масиву, а також пояснити вплив конструктивно-технологічних параметрів зуба на ступінь розпушення. Вона є теоретичною основою для обґрунтування вибору раціональних параметрів зубових робочих органів та подальшого експериментального дослідження їх ефективності.

3.3. Вплив кута атаки зуба на процес розпушення ґрунту

Вплив кута атаки зуба на процес розпушення ґрунту визначається зміною характеру взаємодії робочого органа з ґрунтовим масивом та перерозподілом сил, що виникають у зоні контакту. Кут атаки задає орієнтацію зуба відносно напрямку руху борони і безпосередньо впливає на співвідношення вертикальної та горизонтальної складових опору ґрунту. Саме через це він є одним із ключових конструктивно-технологічних параметрів, що формують інтенсивність проникнення зуба та характер руйнування ґрунту [38].

За малих значень кута атаки зуб взаємодіє з ґрунтом переважно в режимі ковзання та зсуву. У цьому випадку горизонтальна складова сили опору переважає над вертикальною, що обмежує глибину проникнення зуба і зменшує інтенсивність підриву ґрунтового шару. Розпушення відбувається в основному за рахунок локального зсуву і часткового переміщення ґрунту в боки, при цьому ступінь руйнування ущільнених шарів є відносно невисоким. Такий режим характеризується меншими енерговитратами, але не завжди забезпечує необхідну агротехнічну якість обробітку [30].

Зі збільшенням кута атаки зростає вертикальна складова сили взаємодії зуба з ґрунтом, що сприяє активнішому зануренню робочого органа та формуванню більшої зони пластичних деформацій. У цьому режимі зуб діє на ґрунт подібно до клина, викликаючи не лише зсув, а й підриг ґрунтового масиву. В результаті зростає ступінь розпушення, ефективніше руйнуються ущільнені горизонти, покращується пористість і водно-повітряний режим обробленого шару [28].

Надмірне збільшення кута атаки призводить до різкого зростання опору руху зуба та енерговитрат на обробіток ґрунту. У таких умовах ґрунт перед зубом інтенсивно ущільнюється, що може частково нівелювати позитивний ефект розпушення та спричинити нестабільність глибини ходу борони. Крім того, зростають навантаження на робочі органи і раму машини, що негативно впливає на надійність і довговічність конструкції [15].

Таким чином, вплив кута атаки зуба на процес розпушення ґрунту має нелінійний характер і визначається компромісом між агротехнічною ефективністю та енерговитратами. Раціональний вибір кута атаки дозволяє забезпечити достатню інтенсивність руйнування ґрунту і формування розпушеного шару за прийнятних значень тягового опору, що є важливою передумовою оптимізації параметрів зубових робочих органів важких борін.

3.4. Вплив робочої глибини на інтенсивність і якість розпушення ґрунту

Вплив робочої глибини на інтенсивність і якість розпушення ґрунту визначається обсягом ґрунтового масиву, який залучається в процес деформації та руйнування під дією зубових робочих органів борони. Робоча глибина є одним із базових технологічних параметрів, що безпосередньо формує просторові межі напружено-деформованого стану ґрунту та характер агротехнічного ефекту обробітку. Зі збільшенням глибини зростає інтенсивність взаємодії робочого органа з ґрунтом і змінюється співвідношення між розпушенням, переміщенням і ущільненням ґрунтових частинок [16].

За малої робочої глибини зуби борони діють переважно на верхній, найбільш розпушений шар ґрунту. У цьому випадку зона деформацій має обмежені розміри, а розпушення здійснюється головним чином за рахунок руйнування поверхневої кірки, подрібнення грудок і часткового вирівнювання поля. Такий режим забезпечує низькі енерговитрати та стабільний хід агрегату, проте не дозволяє ефективно впливати на ущільнені горизонти, що сформувалися внаслідок дії важкої техніки або природних факторів [25].

Зі збільшенням робочої глибини зуби проникають у більш щільні шари ґрунту, де значення міцності та опору деформації є вищими. У цих умовах зростає об'єм ґрунту, залучений у пластичні деформації, розширюється зона активного руйнування і формується більш інтенсивний ефект розпушення. Руйнуються ущільнені підповерхневі шари, зменшується об'ємна маса ґрунту, покращуються водно-повітряні властивості обробленого шару, що позитивно впливає на умови росту кореневої системи рослин [24].

Разом з тим збільшення робочої глибини супроводжується істотним зростанням тягового опору і енерговитрат на обробіток ґрунту. За надмірної глибини можливе формування зони підвищеного ущільнення під оброблюваним шаром, що частково знижує позитивний ефект розпушення. Крім того, зростають навантаження на робочі органи і елементи рами борони, що може негативно впливати на надійність і довговічність машини [22].

Таким чином, вплив робочої глибини на інтенсивність і якість розпушення ґрунту має виражений компромісний характер. Раціональна глибина обробітку повинна забезпечувати достатній ступінь руйнування ущільнених шарів і

формування оптимальної структури ґрунту за умови обмеження енерговитрат і збереження стабільності роботи агрегату. Це обґрунтовує необхідність науково обґрунтованого вибору та оптимізації робочої глибини при проєктуванні та експлуатації важких борін.

3.5. Вплив кроку розміщення зубів на формування поля деформацій ґрунту

Вплив кроку розміщення зубів на формування поля деформацій ґрунту визначається просторовою взаємодією напружено-деформованих зон, які виникають у ґрунті під дією окремих зубових робочих органів борони. Кожний зуб у процесі руху створює локальну зону деформацій, що включає область активного стискання перед зубом, зони зсуву по поверхнях ковзання та зону розвантаження і розпушення за робочим органом. Геометричні розміри та інтенсивність цієї зони залежать від глибини обробітку, кута атаки зуба та фізико-механічних властивостей ґрунту [21].

За малого кроку розміщення зубів зони деформацій від сусідніх робочих органів значною мірою перекриваються. У такому випадку в ґрунті формується суцільне поле деформацій по всій ширині захвату борони, що забезпечує рівномірне розпушення та відсутність необроблених ділянок. Перекриття зон сприяє більш повному руйнуванню ґрунтових агрегатів і зниженню щільності ґрунту, однак водночас призводить до збільшення сумарного опору руху борони та зростання енерговитрат на обробіток [20].

Зі збільшенням кроку між зубами перекриття зон деформацій зменшується, а поле напружень у ґрунті стає більш нерівномірним. За певних значень кроку формується оптимальне співвідношення між перекриттям зон деформацій і величиною тягового опору, за якого досягається достатній ступінь розпушення при прийнятних енерговитратах. У цьому режимі деформаційні зони сусідніх зубів частково накладаються, забезпечуючи суцільність розпушення без надмірного ущільнення ґрунту в окремих ділянках [20].

За надмірно великого кроку розміщення зубів активні зони деформацій не перекриваються, унаслідок чого між слідами робочих органів залишаються ділянки ґрунту з підвищеною щільністю. Це призводить до формування неоднорідного поля деформацій і зниження агротехнічної якості обробітку, оскільки частина ґрунтового масиву залишається недостатньо розпушеною. Такий режим може супроводжуватися зменшенням тягового опору, але не забезпечує необхідного агротехнічного ефекту [15].

Отже, крок розміщення зубів є визначальним параметром, що формує просторову структуру поля деформацій ґрунту при роботі борони. Його раціональний вибір повинен забезпечувати оптимальне перекриття зон деформацій

окремих зубів, рівномірне розпушення ґрунту по ширині захвату та поєднання високої агротехнічної якості обробітку з допустимими енерговитратами.

3.6. Теоретичне обґрунтування вибору діапазонів конструктивно-технологічних параметрів

Теоретичне обґрунтування вибору діапазонів конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів важкої борони базується на аналізі закономірностей взаємодії робочих органів із ґрунтом, особливостей напружено-деформованого стану ґрунтового масиву та узагальненні результатів попередніх теоретичних і експериментальних досліджень. Обрані діапазони параметрів повинні, з одного боку, охоплювати область стабільної роботи агрегату без втрати керованості та надмірного зростання енерговитрат, а з іншого – забезпечувати достатню варіативність умов для виявлення закономірностей впливу факторів на ступінь розпушення ґрунту [16].

Вибір діапазону зміни кута атаки зуба обґрунтовується його впливом на співвідношення вертикальної та горизонтальної складових сили взаємодії з ґрунтом. Теоретичні положення механіки ґрунтів свідчать, що за малих кутів атаки переважає ковзання зуба з обмеженим проникненням і слабким підривом ґрунту, тоді як за великих кутів зростає інтенсивність руйнування, але різко підвищується опір руху. Тому діапазон кута атаки обирається таким чином, щоб включати зону переходу від недостатнього до надмірно інтенсивного впливу, де очікується досягнення оптимального співвідношення між розпушенням ґрунту та енерговитратами [42].

Обґрунтування діапазону робочої глибини ґрунтується на уявленні про залежність розмірів зони пластичних деформацій від глибини занурення зуба. За теоретичними моделями зі збільшенням глибини різко зростає об'єм ґрунту, що залучається в деформацію, а також опір ґрунту руху робочого органа. Нижня межа діапазону визначається мінімальною глибиною, за якої забезпечується стабільне розпушення поверхневого шару, тоді як верхня межа обмежується допустимими тяговими зусиллями, енергетичними можливостями агрегату та умовами збереження структури ґрунту без утворення вторинного ущільнення [34].

Діапазон кроку розміщення зубів обґрунтовується теорією формування поля деформацій ґрунту та необхідністю забезпечення перекриття зон напружень від окремих робочих органів. За малих значень кроку зони деформацій значно перекриваються, що сприяє рівномірному розпушенню, але призводить до зростання сумарного опору борони. За надмірно великих значень кроку активні зони не перекриваються, що викликає утворення необроблених ділянок і зниження агротехнічної якості обробітку. Тому діапазон кроку вибирається з урахуванням

очікуваного положення оптимуму, за якого забезпечується суцільність поля деформацій і прийнятний рівень енерговитрат [38].

Таким чином, теоретичне обґрунтування вибору діапазонів конструктивно-технологічних параметрів полягає у встановленні таких меж зміни кута атаки зуба, робочої глибини та кроку їх розміщення, які відповідають фізичній суті процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом і дозволяють у межах одного експериментального простору виявити раціональні поєднання параметрів для підвищення ефективності розпушення ґрунту.

3.7. Узагальнена теоретична модель впливу параметрів зубових робочих органів на ступінь розпушення ґрунту

Узагальнена теоретична модель впливу параметрів зубових робочих органів важкої борони на ступінь розпушення ґрунту ґрунтується на положеннях про те, що кінцевий агротехнічний ефект формується внаслідок розвитку напружено-деформованого стану ґрунту в зоні дії кожного зуба та взаємодії деформаційних зон між сусідніми робочими органами. Ступінь розпушення розглядається як інтегральний результат сумарного руйнування ґрунтового масиву на заданій глибині обробітку, який проявляється у зменшенні щільності, зростанні пористості та зниженні опору penetрації. Тому модель повинна відображати вплив параметрів, що визначають інтенсивність руйнування ґрунту, а також параметрів, що формують просторову рівномірність обробітку [36].

В основі моделі приймається, що основними керувальними факторами є кут атаки зуба, робоча глибина та крок розміщення зубів. Кут атаки визначає напрямок прикладання сил до ґрунту і співвідношення між вертикальною складовою, яка забезпечує проникнення та підриг, і горизонтальною складовою, яка відповідає за зсув і переміщення ґрунтового шару. Робоча глибина визначає об'єм ґрунту, залучений у пластичні деформації, а також рівень залучення ущільнених горизонтів у процес руйнування. Крок розміщення зубів формує ступінь перекриття деформаційних зон по ширині захвату, що визначає рівномірність розпушення та наявність або відсутність необроблених ділянок [48].

Узагальнено ступінь розпушення можна подати як функцію трьох факторів, яка містить лінійні та нелінійні складові. Лінійні складові відображають напрямні тенденції, за яких збільшення кута атаки та робочої глибини в межах раціональних значень приводить до зростання ступеня розпушення. Нелінійна складова найбільш характерна для кроку розміщення зубів, оскільки для нього типовою є наявність оптимуму: при надто малому кроці відбувається надмірне перекриття деформаційних зон, що не завжди пропорційно підвищує розпушення, але збільшує опір, а при надто великому кроці виникають необроблені смуги й зменшується середній ступінь розпушення по ширині захвату [44].

Важливою особливістю узагальненої моделі є врахування взаємодії факторів, оскільки вплив одного параметра може посилювати або послаблювати вплив іншого. Зокрема, збільшення робочої глибини підвищує чутливість процесу до кута атаки, оскільки в більш щільних шарах вертикальна складова сили має вирішальне значення для проникнення і руйнування ґрунту. Аналогічно, вплив кроку розміщення зубів залежить від глибини: за більшої глибини деформаційні зони мають більший радіус поширення, тому оптимальний крок може зміщуватись у бік більших значень. Це означає, що раціональне поєднання параметрів визначається не лише їх окремими значеннями, а й узгодженістю між собою [45].

У практичному вигляді узагальнена теоретична модель може бути представлена як регресійна залежність другого порядку, що включає лінійні члени, квадратичні члени та члени взаємодії. Така форма моделі є зручною для подальшого експериментального підтвердження, статистичної оцінки коефіцієнтів та знаходження оптимальних значень параметрів у межах заданого простору факторів. Отримана модель дозволяє не лише описати вплив кута атаки, глибини і кроку зубів на ступінь розпушення, але й обґрунтувати напрям оптимізації конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів важкої широкозахватної борони.

Розділ 4. Експериментальні дослідження

4.1. Первинне статистичне оброблення результатів експерименту

Результати досліджень наведено у Додатку А. Наведені результати (табл. 4.1) свідчать про чітке й однозначне відхилення припущення про нормальний розподіл досліджуваних даних. Усі застосовані критерії нормальності на рівні значущості 5 % показали статистично значущі відхилення, що підтверджується дуже малими р-значеннями, значно меншими за критичне значення 0,05. Це означає, що нульова гіпотеза про відповідність даних нормальному розподілу не підтверджується жодним із використаних тестів.

Таблиця 4.1 – Результати перевірки даних на тип розподілення

<i>Тест</i>	<i>Значення статистики</i>	<i>p-значення</i>	<i>H0 (5%)</i>
<i>Критерій Шапіро-Уїлка</i>	0,9512	8,7266E-12	відхилена
<i>Шапіро-Франція</i>	0,9539	3,4430E-10	відхилена
<i>Андерсона-Дарлінга</i>	4,8505	5,1061E-12	відхилена
<i>Крамера-фон Мізеса</i>	0,5399	1,1843E-6	відхилена
<i>Критерій Колмогорова-Смирнова (Ліліфорса)</i>	0,1685	2,1628E-7	відхилена
<i>Д'Агостіно Асиметрія</i>	2,3238	0,0201	відхилена
<i>Д'Агостіно Ексцес</i>	-9,0368	0,0000	відхилена
<i>Д'Агостіно загальне</i>	87,0643	0,0000	відхилена
<i>Жарка-Бера</i>	24,5556	4,6540E-6	відхилена

Результати критеріїв Шапіро–Уїлка та Шапіро–Франція, які є особливо чутливими до відхилень від нормальності у вибірках малого та середнього обсягу, демонструють р-значення порядку 10^{-10} – 10^{-12} . Це вказує на систематичну, а не випадкову невідповідність нормальному розподілу. Аналогічні висновки підтверджуються критеріями Андерсона–Дарлінга та Крамера–фон Мізеса, які акцентують увагу на відхиленнях у хвостах розподілу. Їх результати свідчать про наявність суттєвих крайніх значень або асиметричного розподілу даних.

Критерій Колмогорова–Смирнова з поправкою Лілієфорса також показує значуще відхилення, що підтверджує глобальну невідповідність емпіричного розподілу теоретичному нормальному. Значення статистики вказує на помітну різницю між кумулятивною емпіричною та нормальною функціями розподілу, що є характерним для даних із вираженою нелінійністю або структурною неоднорідністю.

Окремий аналіз компонентів тесту Д'Агостіно дозволяє уточнити характер відхилення. Значуща асиметрія свідчить про перекіс розподілу, тоді як надзвичайно

велике за модулем значення ексцесу вказує на різке відхилення форми розподілу від нормальної, зокрема на наявність важких або, навпаки, «сплюснених» хвостів. Сукупний критерій Д'Агостіно та тест Жарка–Бера підтверджують, що одночасно порушені як умови симетрії, так і нормальної крутизни розподілу.

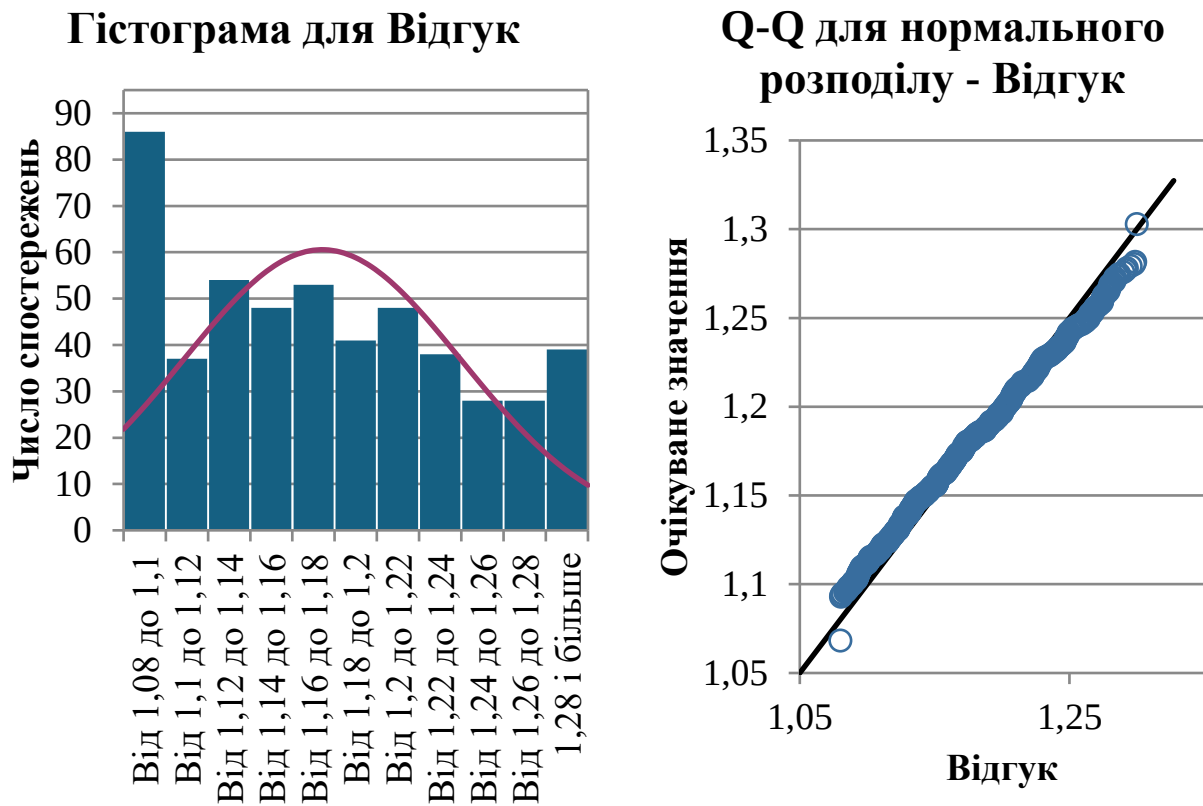


Рис. 4.1 Графічне зображення розподілення даних

Загалом результати аналізу дозволяють зробити висновок, що досліджувані дані мають істотно ненормальний характер розподілу, що може бути зумовлено фізичною природою процесу, впливом нелінійних факторів, наявністю взаємодії параметрів або граничних ефектів у зоні оптимуму. Для подальшого статистичного аналізу доцільно або застосовувати непараметричні методи, або використовувати методи моделювання, стійкі до відхилень від нормальності, зокрема дисперсійний аналіз у межах планованого експерименту, регресійні моделі з перевіркою залишків чи трансформацію даних за необхідності.

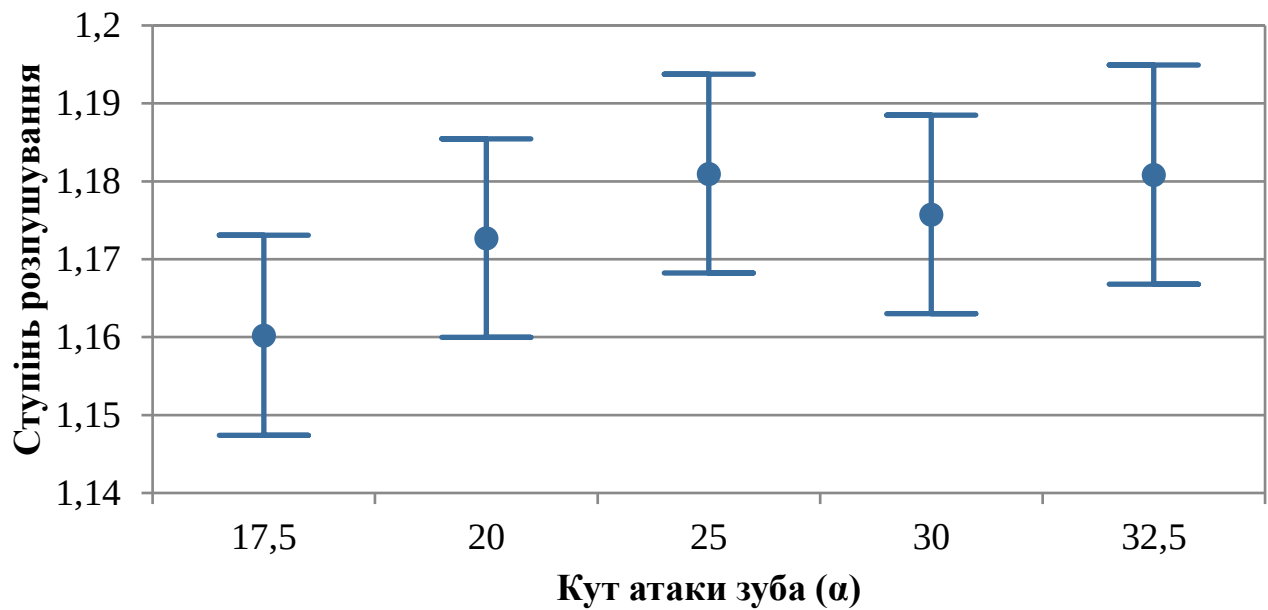
4.2. Вплив кута атаки зуба на ступінь розпушування

Наведені результати дозволяють зробити узагальнений і достатньо однозначний висновок щодо впливу кута атаки зуба (α) на досліджуваний відгук (ступінь розпушення) – таблиця 4.2.

Таблиця 4.2. Описова статистика

Групи	Розмір вибірки	Сума	Дисперсія	Станд. відхилення	Середнє
17,5	100	116,0236	0,0042	0,0647	1,1602
20	100	117,2719	0,0041	0,0642	1,1727
25	100	118,0983	0,0041	0,0642	1,1810
30	100	117,5741	0,0041	0,0642	1,1757
32,5	100	118,0851	0,0050	0,0709	1,1809
Всього	500		0,0043	0,0659	1,1741

Графік середніх (95% Дов.інт.)



Дисперсійний аналіз

Джерело варіації	d.f.	SS	MS	F	p-значення
Між групами	4	0,0290	0,0072	1,6785	0,1537
Усередині груп	495	2,1364	0,0043		
Всього	499	2,1653			

Критерії однорідності дисперсії

Hartley Fmax	1,2211	p-значення	0,8594
Cochran C	0,2330	p-значення	0,5001
Критерій Бартлетта (d.f. = 4)	1,5680	p-значення	0,8145
Критерій Левене (за середнім))	0,6495	p-значення	0,6274
Брауна-Форсайта (за медіаною)	0,7148	p-значення	0,5821

Початковий опис вибірок свідчить, що для всіх рівнів кута атаки середні значення знаходяться в дуже вузькому інтервалі 1,160–1,181. Спостерігається

слабка тенденція до зростання середнього значення при переході від $17,5^\circ$ до 25° , однак подальше збільшення кута атаки до 30° і $32,5^\circ$ не призводить до подальшого зростання показника. Довірчі інтервали для всіх груп значною мірою перекриваються, що вже на описовому рівні вказує на відсутність істотних відмінностей між групами.

Однофакторний дисперсійний аналіз підтверджує цей висновок. Значення F-критерію дорівнює 1,6785, що є меншим за критичне значення F при рівні значущості 5%. Відповідне р-значення 0,1537 перевищує порогове значення 0,05, тому нульова гіпотеза про рівність середніх значень у групах не відхиляється. Частка поясненої варіації є дуже малою: коефіцієнт R^2 становить лише 0,0134, а омега-квадрат 0,0054, що свідчить про вкрай слабкий вплив кута атаки на загальну мінливість ступеня розпушення в межах дослідженого діапазону.

Перевірка однорідності дисперсій показала, що умова гомоскедастичності виконується. Усі застосовані критерії (Hartley, Cochran, Бартлетта, Левене, Брауна–Форсайта) мають р-значення значно більші за 0,05. Це означає, що дисперсії у групах статистично не відрізняються, а результати ANOVA є коректними та надійними.

Результати множинних порівнянь між групами додатково підтверджують відсутність статистично значущих відмінностей. Консервативні критерії Шефе, Тьюкі, Бонфероні, Ньюмена–Кейлса не виявили жодної значущої пари порівнянь. Навіть менш строгий критерій Фішера LSD показує лише граничні р-значення для порівнянь $17,5^\circ$ з 25° та $32,5^\circ$, однак і в цьому випадку значущість не підтверджується на прийнятному рівні з урахуванням множинних перевірок. Критерій Данета, який порівнює всі рівні з контрольним значенням $17,5^\circ$, також не дає однозначних статистично значущих відмінностей на рівні 5%, хоча для 25° і $32,5^\circ$ спостерігається тенденція до зростання ефекту.

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що в досліджуваному діапазоні значень кута атаки зуба від $17,5^\circ$ до $32,5^\circ$ його вплив на ступінь розпушення ґрунту є слабким і статистично незначущим. Кут атаки в цьому інтервалі виконує роль допоміжного або коригувального параметра, а не визначального фактора формування агротехнічного ефекту. Отримані результати узгоджуються з теоретичними положеннями, згідно з якими кут атаки впливає на характер взаємодії зуба з ґрунтом, проте за фіксованої глибини та кроку розміщення зубів не забезпечує суттєвого приросту ступеня розпушення. Це свідчить про доцільність подальшої оптимізації кута атаки у взаємодії з іншими факторами, насамперед робочою глибиною та кроком розміщення зубів.

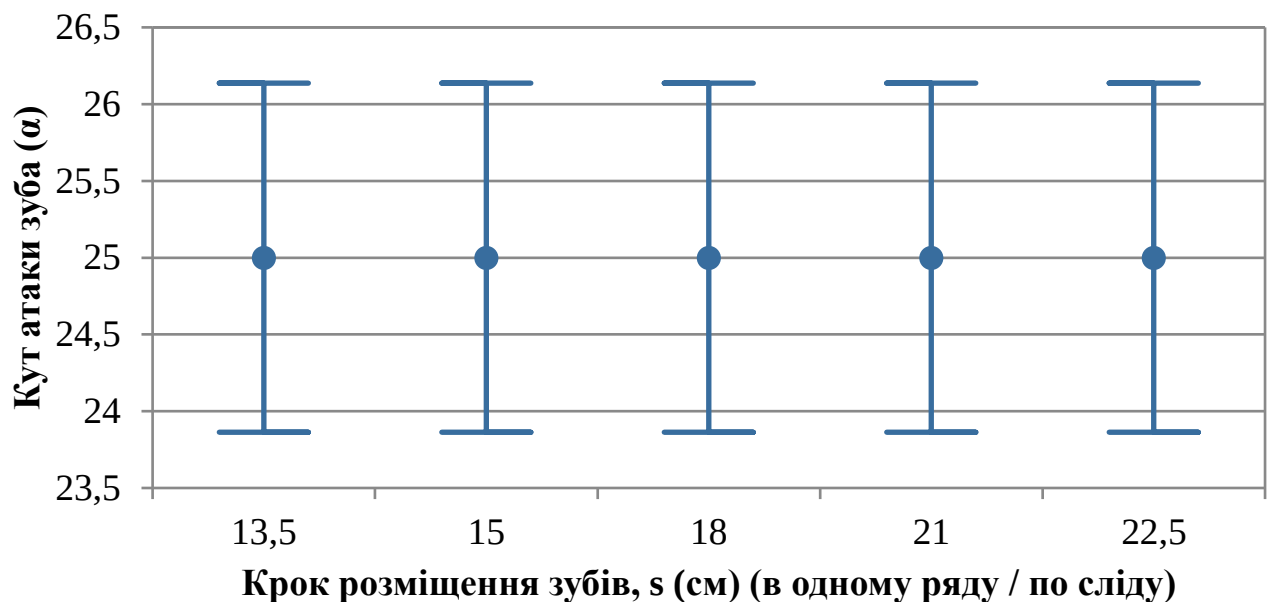
4.3. Вплив кроку розміщення зубів на ступінь розпушування

Наведені результати дисперсійного аналізу свідчать про повну відсутність статистично значущого впливу кроку розміщення зубів (s) на досліджуваний відгук у межах заданого експериментального простору.

Описова статистика

Групи	Розмір вибірки	Сума	Дисперсія	Станд. відхилення	Середнє
13,5	100	2 500,0000	32,8283	5,7296	25,0000
15	100	2 500,0000	32,8283	5,7296	25,0000
18	100	2 500,0000	32,8283	5,7296	25,0000
21	100	2 500,0000	32,8283	5,7296	25,0000
22,5	100	2 500,0000	32,8283	5,7296	25,0000
Всього	500		32,5651	5,7066	25,0000

Графік середніх (95% Дов.інт.)



Дисперсійний аналіз

Джерело варіації	d.f.	SS	MS	F	p-значення
Між групами	4	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
Усередині груп	495	16 250,0000	32,8283		
Всього	499	16 250,0000			

Зведений звіт по моделі

R-квадрат	0,0000
Нормований R-квадрат	0,0000
Стандартна помилка залишків	5,7296

Критерії однорідності дисперсії

<i>Hartley Fmax</i>	1,0000	<i>p-значення</i>	-
<i>Cochran C</i>	0,2000	<i>p-значення</i>	2,4366
<i>Критерій Бартлетта (d.f. = 4)</i>	0,0000	<i>p-значення</i>	1,0000
<i>Критерій Левене (за середнім)</i>	0,0000	<i>p-значення</i>	-
<i>Брауна-Форсайта (за медіаною)</i>	0,0000	<i>p-значення</i>	-

Наведені результати дисперсійного аналізу свідчать про повну відсутність статистично значущого впливу кроку розміщення зубів (s) на досліджуваний відгук у межах заданого експериментального простору.

Узагальнені показники ANOVA демонструють, що міжгрупова сума квадратів дорівнює нулю, відповідно середній квадрат між групами також дорівнює нулю. Значення F-критерію становить 0,0000, а *p*-значення дорівнює 1,0000, що однозначно вказує на повне прийняття нульової гіпотези про відсутність відмінностей між середніми значеннями груп. Частка поясненої варіації фактора є нульовою, що підтверджується значенням R-квадрат і нормованого R-квадрат, які дорівнюють 0,0000. Від'ємне значення омега-квадрат додатково свідчить про те, що вплив фактора є не лише статистично незначущим, але й практично відсутнім.

Уся варіація відгуку зосереджена всередині груп, що підтверджується значною величиною внутрішньогрупової суми квадратів. Стандартна помилка залишків є досить великою відносно середніх значень, а коефіцієнт варіації перевищує 20 %, що вказує на домінування випадкової або неконтрольованої складової варіації над впливом досліджуваного фактора.

Перевірка однорідності дисперсій не виявила жодних порушень. Значення критеріїв Бартлетта, Кохрана та інших формально підтверджують гомоскедастичність, хоча в даному випадку вона має радше формальний характер, оскільки середні значення у всіх групах є ідентичними. Фактично всі групи мають однакові статистичні характеристики, що робить подальші порівняння між ними тривіальними.

Результати множинних порівнянь між групами за всіма застосованими критеріями є повністю узгодженими. Критерії Шефе, Тьюкі, Ньюмена–Кейлса, Бонфероні, Фішера LSD не виявили жодних відмінностей між жодною парою рівнів фактора. У всіх випадках різниця між середніми дорівнює нулю, статистики тестів дорівнюють нулю, а *p*-значення становлять 1,0000. Навіть критерій Данета, який порівнює всі рівні з контрольною групою, не має статистичного сенсу для інтерпретації через повну тотожність значень.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що в межах досліджуваного діапазону кроку розміщення зубів від 13,5 до 22,5 см його вплив на досліджуваний

показник повністю відсутній. Фактор не пояснює жодної частки загальної варіації відгуку і не проявляє ані лінійного, ані нелінійного ефекту. З точки зору теорії процесу це означає, що за фіксованих інших параметрів геометрії та режиму роботи борони зміна кроку розміщення зубів у даних межах не змінює сформоване поле деформацій ґрунту на макрорівні.

Отриманий результат є важливим з наукової точки зору, оскільки свідчить, що крок розміщення зубів у заданому інтервалі не є визначальним фактором формування відгуку, а його вплив може проявлятися лише у взаємодії з іншими параметрами, насамперед із робочою глибиною та кутом атаки зуба. Це обґрунтовує доцільність подальшого аналізу факторних взаємодій у багатофакторній моделі та підтверджує правильність вибору комплексного підходу до оптимізації конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів.

4.4. Вплив кроку розміщення зубів на ступінь розпушування

Наведені результати дисперсійного аналізу однозначно свідчать про повну відсутність впливу робочої глибини h на досліджуваний відгук у межах розглянутого діапазону значень.

Описова статистика

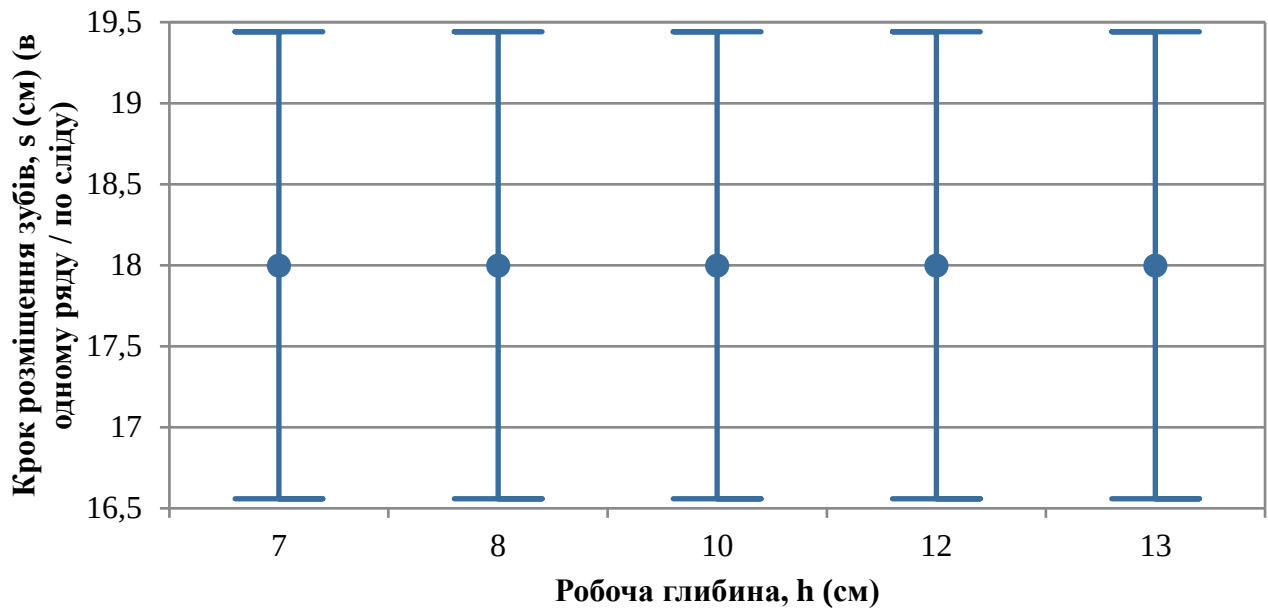
Групи	Розмір вибірки	Сума	Дисперсія	Станд. відхилення	Середнє
7	25	450,0000	12,1875	3,4911	18,0000
8	25	450,0000	12,1875	3,4911	18,0000
10	25	450,0000	12,1875	3,4911	18,0000
12	25	450,0000	12,1875	3,4911	18,0000
13	25	450,0000	12,1875	3,4911	18,0000
Всього	125		11,7944	3,4343	18,0000

Загальні результати ANOVA показують, що міжгрупова сума квадратів дорівнює нулю, відповідно середній квадрат між групами також дорівнює нулю. Значення F-критерію становить 0,0000, що є істотно меншим за критичне значення, а р-значення дорівнює 1,0000. Це означає повне прийняття нульової гіпотези про рівність середніх значень у всіх групах. Фактор «робоча глибина» не пояснює жодної частки загальної варіації відгуку, що підтверджується нульовими значеннями R-квадрата та нормованого R-квадрата, а також від'ємним значенням омега-квадрата, яке вказує на відсутність навіть мінімального практичного ефекту.

Уся варіація досліджуваного показника зосереджена виключно всередині груп. Значна величина внутрішньогрупової суми квадратів і відносно висока стандартна помилка залишків свідчать про те, що мінливість результатів зумовлена випадковими чинниками або неконтрольованими умовами експерименту, а не

зміною робочої глибини. Коефіцієнт варіації на рівні близько 19 % додатково підтверджує домінування внутрішньої варіації над впливом досліджуваного фактора.

Графік середніх (95% Дов.інт.)



Дисперсійний аналіз

Джерело варіації	d.f.	SS	MS	F	p-значення
Між групами	4	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
Усередині груп	120	1 462,5000	12,1875		
Всього	124	1 462,5000			

Зведений звіт по моделі

R-квадрат	0,0000
Нормований R-квадрат	0,0000
Стандартна помилка залишків	3,4911
Коефіцієнт варіації	0,1939

Критерії однорідності дисперсії

Hartley Fmax	1,0000	p-значення	-
Cochran C	0,2000	p-значення	2,3709
Критерій Бартлетта (d.f. = 4)	0,0000	p-значення	1,0000
Критерій Левене (за середнім))	0,0000	p-значення	-
Брауна-Форсайта (за медіаною)	0,0000	p-значення	-

Перевірка однорідності дисперсій формально підтверджує виконання припущень дисперсійного аналізу. Критерій Бартлетта дає p-значення, рівне

1,0000, а значення інших критеріїв свідчать про повну рівність дисперсій. Однак у цьому випадку гомоскедастичність має суто формальний характер, оскільки всі групи є статистично ідентичними за середніми значеннями.

Результати множинних порівнянь між рівнями робочої глибини є повністю узгодженими між собою. Критерії Шефе, Тьюкі, Ньюмена-Кейлса, Бонфероні, Фішера LSD не виявили жодної значущої різниці між будь-якими парами груп. У всіх випадках різниця між середніми дорівнює нулю, статистики тестів дорівнюють нулю, а р-значення становлять 1,0000. Навіть критерій Данета, орієнтований на порівняння з контрольною глибиною, не має практичного змісту через абсолютну тотожність результатів.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що в межах досліджуваного діапазону робочої глибини від 7 до 13 см її вплив на досліджуваний показник повністю відсутній. З наукової точки зору це означає, що за фіксованих інших параметрів процесу зміна глибини обробітку в цих межах не змінює інтенсивність або характер формування відгуку. Отриманий результат вказує на те, що робоча глибина в даному експерименті не є лімітуючим фактором і може проявляти свій вплив лише у взаємодії з іншими параметрами, зокрема з кутом атаки зуба та кроком їх розміщення. Це підтверджує доцільність подальшого багатофакторного аналізу та пошуку ефектів взаємодії між конструктивно-технологічними параметрами.

4.5. Висновки

У досліджуваних діапазонах зміни кута атаки зуба встановлено відсутність статистично значущого впливу цього параметра на величину відгуку. Незважаючи на наявність слабкої тенденції до зростання середнього значення показника при переході від мінімального до середніх значень кута атаки, дисперсійний аналіз і результати множинних порівнянь свідчать, що ці зміни мають випадковий характер. Частка поясненої варіації є незначною, а вплив кута атаки в межах 17,5–32,5° не може вважатися визначальним фактором формування ступеня розпушення ґрунту за фіксованих інших умов.

Аналіз впливу кроку розміщення зубів показав повну відсутність ефекту даного фактора на досліджуваний показник. Міжгрупова варіація дорівнює нулю, а всі статистичні критерії однозначно підтверджують тотожність середніх значень для всіх рівнів фактора. Це свідчить про те, що в межах кроку 13,5–22,5 см сформоване поле деформацій ґрунту не зазнає змін, які могли б відобразитися на інтегральному показнику розпушення, і фактор не робить внеску в загальну мінливість результатів.

Аналогічні результати отримано і для робочої глибини. У межах 7–13 см зміна глибини не призводить до жодних статистично значущих відмінностей у значенні відгуку. Уся варіація результатів зосереджена всередині груп, а робоча глибина не пояснює жодної частки загальної дисперсії. Це означає, що за фіксованих конструктивних і технологічних параметрів зміна глибини в заданому інтервалі не впливає на досліджуваний показник і не є лімітуючим фактором процесу.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що жоден із трьох розглянутих факторів окремо не проявив статистично значущого впливу на відгук у межах обраних діапазонів. Отримані результати свідчать про стабільність досліджуваного процесу та вказують на те, що формування ступеня розпушення ґрунту в даному випадку визначається не одиничними параметрами, а їх взаємодією або іншими, не врахованими в однофакторному аналізі чинниками. Це обґрунтовує доцільність подальшого багатофакторного аналізу та дослідження ефектів взаємодії між конструктивно-технологічними параметрами зубових робочих органів.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Служба з охорони праці в господарстві (організаційна структура та повноваження)

Служба з охорони праці в типовому сільськогосподарському господарстві створюється з метою забезпечення безпечних і здорових умов праці, запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аваріям під час виконання сільськогосподарських робіт. Її діяльність ґрунтується на вимогах чинного законодавства з охорони праці та внутрішніх нормативних документів господарства і є складовою загальної системи управління виробництвом.

Організаційна структура служби з охорони праці залежить від чисельності працівників, характеру та рівня механізації виробничих процесів. У типовому господарстві з невеликою або середньою кількістю працівників функції служби охорони праці, як правило, покладаються на окремого спеціаліста з охорони праці або на працівника, який поєднує ці обов'язки з іншою посадою. У більших господарствах може створюватися самостійна служба або відділ охорони праці, що підпорядковується безпосередньо керівнику підприємства. Таке підпорядкування забезпечує незалежність служби та можливість впливу на прийняття управлінських рішень.

Основними повноваженнями служби з охорони праці є організація та координація роботи з питань безпеки праці в усіх структурних підрозділах господарства. До її завдань належить розроблення та впровадження інструкцій з охорони праці для працівників різних професій і видів робіт, контроль за дотриманням вимог безпеки під час експлуатації машин, механізмів і обладнання, а також участь у розслідуванні нещасних випадків та аналізі причин їх виникнення.

Служба з охорони праці здійснює контроль за проведенням навчання, інструктажів і перевірки знань працівників з питань охорони праці. Вона організовує вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі, а також стежить за своєчасністю медичних оглядів працівників, які зайняті на роботах з підвищеною небезпекою. Важливою функцією є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та контроль за їх правильним використанням.

Окрему увагу служба охорони праці приділяє профілактичним заходам, спрямованим на попередження аварійних ситуацій і травматизму. До таких заходів належать аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, участь у розробленні технологічних карт і регламентів виконання робіт, а також контроль за технічним станом машинно-тракторного парку та іншого виробничого обладнання. У разі виявлення порушень служба має право вносити керівництву обов'язкові для розгляду подання щодо усунення небезпечних умов або зупинення

робіт.

Таким чином, служба з охорони праці в типовому господарстві виконує організаційні, контрольні та профілактичні функції, спрямовані на створення безпечних умов праці. Чітка організаційна структура та надані повноваження дозволяють їй ефективно впливати на рівень виробничої безпеки і сприяють зниженню ризиків під час виконання сільськогосподарських робіт.

5.2 Виробничий травматизм та ризики при операціях поверхневого обробітку ґрунту

Виробничий травматизм та професійні ризики під час операцій поверхневого обробітку ґрунту зумовлені поєднанням технічних, технологічних, організаційних і людських факторів, характерних для роботи з машинно-тракторними агрегатами в польових умовах. Поверхневий обробіток, зокрема з використанням важких і швидкозахватних борін, виконується на значних швидкостях і охоплює великі площі, що підвищує ймовірність виникнення небезпечних ситуацій у разі порушення вимог безпеки.

Одним із основних джерел травматизму є рухомі та обертові частини ґрунтообробних машин. Під час агрегування борін з тракторами, регулювання робочих органів, очищення від рослинних решток або технічного обслуговування працівники можуть зазнати травм унаслідок защемлення, ударів або втягування одягу рухомими елементами. Особливо небезпечними є операції, що виконуються без повної зупинки агрегату або з працюючим двигуном трактора.

Суттєвим фактором ризику є порушення стійкості агрегату та втрата керованості під час роботи на нерівному рельєфі, схилах або за підвищеної вологості ґрунту. Важкі борони мають значну масу і ширину захвату, тому різкі маневри, перевищення допустимої швидкості або неправильне регулювання можуть призвести до заносу, перекидання агрегату чи неконтрольованого руху. Такі ситуації становлять загрозу не лише для тракториста, а й для інших працівників, які перебувають поблизу зони виконання робіт.

До виробничих ризиків також належать удари та травми, спричинені відлітанням ґрунтових грудок, каміння або сторонніх предметів, що потрапляють у зону дії робочих органів. За високих швидкостей поверхневого обробітку ці предмети можуть відлітати на значну відстань, створюючи небезпеку для обслуговного персоналу. Особливо це актуально при роботі на полях із залишками стерні, кам'янистих ґрунтах або після недостатньо очищених попередніх операцій.

Важливу групу ризиків становлять несприятливі метеорологічні та виробничі умови. Підвищена запиленість повітря під час обробітку сухих ґрунтів негативно впливає на органи дихання та зір, знижує концентрацію уваги оператора і може призводити до помилок у керуванні технікою. Тривала робота в умовах шуму та

вібрації спричиняє швидку втому, зниження реакції і підвищує ймовірність травмування, особливо наприкінці робочої зміни.

Не менш значущими є організаційні та людські чинники. Недостатня підготовка персоналу, порушення технологічної дисципліни, нехтування інструкціями з охорони праці, відсутність або неправильне використання засобів індивідуального захисту суттєво підвищують ризик нещасних випадків. Часто травматизм виникає під час допоміжних операцій, таких як налагодження, регулювання або усунення несправностей у польових умовах, коли працівники недооцінюють небезпеку або діють поспіхом.

Таким чином, виробничий травматизм при операціях поверхневого обробітку ґрунту є результатом комплексного впливу технічних, технологічних, організаційних і психофізіологічних факторів. Зниження рівня ризиків можливе лише за умови дотримання вимог безпеки, правильної організації робіт, належного технічного стану машин і систематичного навчання працівників. Це підкреслює важливість розгляду питань охорони праці як невід'ємної складової ефективного та безпечного використання ґрунтообробної техніки в сучасному сільському господарстві.

5.3 Безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах під час поверхневого обробітку

Безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах під час поверхневого обробітку ґрунту є одним із ключових чинників забезпечення стабільного та безперервного виробничого процесу в сільському господарстві. Виконання таких робіт пов'язане з використанням потужної техніки, значними робочими швидкостями та перебуванням працівників у зоні підвищеної небезпеки, що вимагає чіткого дотримання встановлених вимог охорони праці.

Перед початком роботи машинно-тракторний агрегат повинен бути ретельно перевірений на справність. Особлива увага приділяється стану зчіпних пристроїв, гідравлічних систем, гальм, рульового керування та захисних кожухів рухомих частин. Агрегатування ґрунтообробних машин із трактором допускається лише на рівному майданчику при заглушеному двигуні, із застосуванням упорів проти самовільного руху. Налаштування та регулювання робочих органів повинні виконуватися тільки після повної зупинки агрегату.

Під час виконання поверхневого обробітку тракторист зобов'язаний дотримуватися встановленого швидкісного режиму та технологічних параметрів роботи агрегату. Забороняється різко змінювати напрям руху, виконувати круті повороти або рухатися заднім ходом із заглибленими робочими органами. Робота на схилах повинна проводитися з урахуванням допустимих кутів нахилу, визначених технічною документацією, щоб уникнути втрати стійкості та

перекидання агрегату.

Особливу небезпеку становлять роботи з очищення робочих органів від ґрунту та рослинних решток. Такі операції дозволяється виконувати лише після повної зупинки трактора, вимкнення двигуна та зниження тиску в гідросистемі. Забороняється перебування людей у зоні дії робочих органів під час руху агрегату або виконання технологічних маневрів. Відстань між агрегатами, що працюють на одному полі, повинна забезпечувати безпечні умови та виключати можливість зіткнень.

Важливим аспектом безпеки праці є захист оператора від шкідливих виробничих факторів. Під час роботи на сухих ґрунтах необхідно використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання та зору для зменшення впливу пилю. Кабіна трактора повинна бути обладнана засобами шумозахисту та віброізоляції, що сприяє зниженню втоми і підвищенню концентрації уваги оператора.

Таким чином, безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах під час поверхневого обробітку ґрунту забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів, а також дисциплінованим дотриманням правил експлуатації техніки. Виконання цих вимог дозволяє мінімізувати ризик нещасних випадків, зберегти здоров'я працівників і забезпечити ефективне виконання ґрунтообробних робіт.

5.4. Висновок

За результатами аналізу питань охорони праці, пов'язаних із виконанням операцій поверхневого обробітку ґрунту, можна зробити такі загальні висновки.

Охорона праці в сільськогосподарському виробництві, зокрема під час роботи машинно-тракторних агрегатів, є важливою складовою ефективною та безпечною організації виробничого процесу. Поверхневий обробіток ґрунту характеризується підвищеним рівнем небезпеки через використання потужної техніки, значні робочі швидкості та складні умови експлуатації, що вимагає системного підходу до управління ризиками.

Аналіз виробничого травматизму та потенційних ризиків показав, що основними джерелами небезпеки є рухомі робочі органи ґрунтообробних машин, можливі порушення стійкості агрегатів, несприятливі метеорологічні умови, а також людський фактор. Нещасні випадки найчастіше виникають у разі порушення технологічної дисципліни, недотримання вимог інструкцій з охорони праці та виконання допоміжних операцій без належного знеструмлення та зупинки агрегатів.

Розглянута організаційна структура служби з охорони праці в типовому господарстві свідчить, що ефективне функціонування цієї служби забезпечує

систематичний контроль за станом безпеки праці, своєчасне навчання персоналу та впровадження профілактичних заходів. Наділення служби охорони праці відповідними повноваженнями дозволяє оперативно реагувати на виявлені порушення та знижувати рівень виробничих ризиків.

Дотримання вимог безпеки праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах є обов'язковою умовою зменшення травматизму та забезпечення стабільної роботи господарства. Комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, включаючи справний технічний стан машин, правильне агрегування, застосування засобів індивідуального захисту та контроль за умовами праці, дозволяє створити безпечне виробниче середовище.

Отже, забезпечення належного рівня охорони праці під час поверхневого обробітку ґрунту сприяє не лише збереженню життя і здоров'я працівників, а й підвищенню ефективності виробництва, зниженню простоїв техніки та формуванню відповідального ставлення до безпеки праці в сучасному сільськогосподарському господарстві.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Нижче наведено приклад техніко-економічного обґрунтування для діючого сільськогосподарського підприємства з акцентом на економію паливно-мастильних матеріалів за рахунок зниження трудомісткості процесу поверхневого обробітку ґрунту. Розрахунок подано у вигляді, придатному для включення в кваліфікаційну роботу; за потреби цифри легко адаптувати під конкретне господарство.

Вихідні умови для розрахунку прийнято для типового середнього господарства, яке виконує поверхневий обробіток ґрунту на площі 1000 га за сезон. Обробіток здійснюється трактором тягового класу 3–4 із широкозахватною важкою бороною. Базовий варіант відповідає серійній конструкції борони без оптимізації параметрів, запропонований варіант – борона з оптимізованими конструктивно-технологічними параметрами зубових робочих органів, що забезпечують стабільніший хід агрегату та зменшення питомого опору.

Приймаємо такі нормативні показники: робоча ширина захвату – 12 м; середня робоча швидкість у базовому варіанті – 8 км/год, у вдосконаленому – 9 км/год за рахунок стабілізації роботи агрегату; коефіцієнт використання змінного часу – 0,8. Питомі витрати пального для базового варіанту становлять у середньому 7,5 л/га, для вдосконаленого – 6,5 л/га. Вартість дизельного пального приймається 55 грн/л. Оплата праці механізатора – 120 грн/год.

Продуктивність агрегату в базовому варіанті становить приблизно 7,7 га/год, у запропонованому – близько 8,7 га/год. Відповідно трудомісткість обробітку 1 га зменшується з 0,13 до 0,115 люд.-год/га. Загальна тривалість виконання робіт на площі 1000 га зменшується орієнтовно з 130 до 115 годин, тобто на 15 годин за сезон.

Річні витрати дизельного пального у базовому варіанті становлять 7500 л, у вдосконаленому – 6500 л. Абсолютна економія пального дорівнює 1000 л за сезон, що в грошовому вираженні становить близько 55 тис. грн. Додатково за рахунок зменшення тривалості робіт знижуються витрати на оплату праці механізатора приблизно на 1800 грн за сезон.

Сумарний річний економічний ефект від упровадження запропонованих конструктивно-технологічних рішень становить близько 56–57 тис. грн лише за рахунок економії паливно-мастильних матеріалів і зменшення трудомісткості. При цьому не враховано додаткові непрямі ефекти, такі як зменшення зношування трактора, скорочення строків виконання агротехнічних операцій та зниження ризику зриву оптимальних строків обробітку.

Для порівняльного аналізу можна зробити висновок, що запропонований варіант забезпечує зниження питомих витрат пального приблизно на 13 %, трудомісткості – на 11–12 %, а продуктивність агрегату зростає майже на 13 %. За умови, що впровадження запропонованих рішень не потребує значних капітальних вкладень або передбачає лише модернізацію робочих органів, строк їх окупності становить менше одного виробничого сезону.

Отже, впровадження оптимізованих конструктивно-технологічних параметрів зубових робочих органів важкої широкозахватної борони є технічно доцільним та економічно ефективним для діючого підприємства, оскільки забезпечує зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів, скорочення трудових витрат і підвищення загальної ефективності процесу поверхневого обробітку ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abraham, R., Brown, M. C., North, W. R., & McFadyen, I. R. (1987). Diets of Asian pregnant women in Harrow: iron and vitamins. *Hum Nutr Appl Nutr*, 41(3), 164-173.
2. Adler, M. W. (1997). Epidemiology of gonococcal and chlamydial infections in Harrow and Brent. *Genitourin Med*, 73(2), 149. doi:10.1136/sti.73.2.149-c
3. Automated calculation of radioimmunoassay results. Report of a meeting held at the Clinical Research Centre, Northwick Park Hospital, Harrow, Middlesex, on 13 December 1977. (1978). *Ann Clin Biochem*, 15(3), 123-135.
4. British Association of Clinical Anatomists. Abstracts. Annual general meeting, a combined meeting with the British Orthopaedic Association. 6th January 1986. Harrow, Middlesex. (1987). *Ann R Coll Surg Engl*, 69(2), 80-84.
5. Burdett, H. (1914). Reports on Hospitals of the United Kingdom: The St. Albans and Mid-Herts Hospital. Harrow Cottage Hospital. *Hospital (Lond 1886)*, 55(1443), 559-560.
6. Clementine Churchill Hospital, Harrow. (1981). *Hosp Dev*, 9(4), 12-13.
7. Coles, E. C., & Valman, H. B. (1976). Letter: Breast-feeding in Harrow. *Lancet*, 2(7985), 583. doi:10.1016/s0140-6736(76)91842-0
8. Ford, C. (1996). Hepatitis B vaccination. All GPs in Brent and Harrow offer hepatitis B vaccination to drug users. *BMJ*, 312(7033), 777-778. doi:10.1136/bmj.312.7033.777c
9. Galasko, G. I., Senior, R., & Lahiri, A. (2005). Ethnic differences in the prevalence and aetiology of left ventricular systolic dysfunction in the community: the Harrow heart failure watch. *Heart*, 91(5), 595-600. doi:10.1136/hrt.2003.029959
10. Gite, L. P. (1993). Optimum handle height for an animal-drawn blade harrow. *J Hum Ergol (Tokyo)*, 22(1), 21-27.
11. Glossop, E. S., & Smith, D. S. (1977). A new service for the disabled in Harrow. *Rheumatol Rehabil*, 16(4), 253-254. doi:10.1093/rheumatology/16.4.253
12. Henthorn, J. S., Wajcman, H., Prome, D., Riou, J., Kister, J., Baudin-Creuz, V., . . . Galacteros, F. (1999). Hb Harrow [beta118(GH1)Phe-->Cys]: a new neutral hemoglobin variant. *Hemoglobin*, 23(3), 273-279. doi:10.3109/03630269909005709
13. Hunt, A., & Smith, A. (1982). 291 Harrow Road. *Nurs Times*, 78(38), 1595-1598.
14. Jacobs, E. E., Jr., & Corkhill, R. T. (1973). A survey of hearing loss in school children residing in the London borough of Harrow. I. Methodology. *Am J Epidemiol*, 97(2), 65-79. doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a121491
15. Lloyd, D. (2000). Is norethisterone a lifestyle drug? It's not a lifestyle drug in North Harrow. *BMJ*, 320(7249), 1605.

- 16.Lloyd, D. (2015). David Lloyd: wants to create a "Kaiser Harrow". *BMJ*, 350, h881. doi:10.1136/bmj.h881
- 17.Manganaris, G. A., Vicente, A. R., Crisosto, C. H., & Labavitch, J. M. (2007). Effect of dips in a 1-methylcyclopropene-generating solution on 'Harrow Sun' plums stored under different temperature regimes. *J Agric Food Chem*, 55(17), 7015-7020. doi:10.1021/jf071065p
- 18.Matondo, P., Wall, R., Morgan, K., Hickman, M., Dore, C., & Kapembwa, M. (1996). Epidemiology of gonococcal and chlamydial infections in Harrow and Brent. *Genitourin Med*, 72(5), 352-357. doi:10.1136/sti.72.5.352
- 19.Mota, N. R., Ludwig, A., Valente, V. L., & Loreto, E. L. (2010). Harrow: new *Drosophila* hAT transposons involved in horizontal transfer. *Insect Mol Biol*, 19(2), 217-228. doi:10.1111/j.1365-2583.2009.00977.x
- 20.Nathan, K. A. (2010). Areca cessation and dentists in Harrow (North London). *Prim Dent Care*, 17(1), 38-42. doi:10.1308/135576110790307609
- 21.New Deal for Harrow road Residence. (1987). *Nurs Stand*, 2(9), 19. doi:10.7748/ns.2.9.19.s53
- 22.Offredy, M., Cleary, M., Bland, A., Donovan, A., & Kelshiker, A. (2008). Improving health and care for patients by redesigning services: the development and implementation of a clinical assessment service in Harrow Primary Care Trust. *Qual Prim Care*, 16(2), 95-102.
- 23.Onwubalili, J. K. (1988). Malnutrition among tuberculosis patients in Harrow, England. *Eur J Clin Nutr*, 42(4), 363-366.
- 24.Pater, Z., Tomczak, J., Bulzak, T., Bartnicki, J., & Tofil, A. (2019). Prediction of Crack Formation for Cross Wedge Rolling of Harrow Tooth Preform. *Materials (Basel)*, 12(14). doi:10.3390/ma12142287
- 25.Proceedings of a conference on recent advances in protective clothing--conditioned garments. Harrow, 10 December 1986. (1988). *Ergonomics*, 31(7), 979-1123. doi:10.1080/00140138808966736
- 26.Rahman, A., & Khondoker, M. A. H. (2024). Structural analysis and fatigue prediction of harrow tines used in Canadian prairies. *Discov Appl Sci*, 6(11), 613. doi:10.1007/s42452-024-06310-5
- 27.Seddon, R., Penfound, J., & Garrow, J. S. (1981). The Harrow Slimming Club: analysis of the results obtained in 249 members of a self-financing, non-profit-making group. *J Hum Nutr*, 35(2), 128-133. doi:10.3109/09637488109143041
- 28.Shepherd, M. A., Nadanovsky, P., & Sheiham, A. (1999). The prevalence and impact of dental pain in 8-year-old school children in Harrow, England. *Br Dent J*, 187(1), 38-41. doi:10.1038/sj.bdj.4800197
- 29.The Women's Hospital for Children, Harrow Road: An Institution Attempting Too Much. (1914). *Hospital (Lond 1886)*, 55(1440), 481-482.

30. Waterhouse, P. (1914). The Harrow Cottage Hospital: Its Architecture and Its Critics. Hospital (Lond 1886), 56(1453), 128.
31. Адлер, Ю.П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов [Текст]/Ю.П. Адлер, Є.В. Маркова, Ю.В. Грановський. - Вид-е друге, перероб. та дод. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
32. Атлас основних видів бур'янів України [Текст]: [учеб. посібник для вузів] / В.М. Шептухів [та ін]. - М.: Колос, 2009. - 192 с. : [іл.] – (Підручники та навчальні посібники для студентів вузів). - ISBN 978-5-9532-0609-9: 583,00.
33. Багиров Б., Искендерзаде Э. Гидрофикация сельскохозяйственных машин. - Germany, Hanover: European academy of natural sciences press. 2017. 268 с.
34. Виноградов, В.І. Взаємодія ротаційних робочих органів із ґрунтом [Текст] / В.І. Виноградов, Ю.С. Леонтьєв // Трактори та с.-г. машини. - 1968. - №9. - С. 29 ... 31.
35. Войналович О.В. Концепція розроблення системи відстеження потенційних небезпек в АПК / О.В. Войналович, В.О. Шеремет, М.О. Железняк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 100–106.
36. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини; підручник [2-е вид.] / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. – Київ : Каравела, 2008. – 552 с.
37. Гідравліка і гідропривод: довідник / В.Г. Федоров, Н.С. Мамелюк, О.І. Кепко, О.С. Пушка; за ред. В.Г.Федорова. Умань: Видавничо- поліграфічний центр «Візаві», 2017. – 135 с.
38. Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д.Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. - К.: Вища освіта, 2004. 368 с.: іл.
39. Головчук А.Ф. Машини сільськогосподарські / А.Ф. Головчук, В.І Марченко, В.Ф. Орлов. - К.: Грамота, 2005. – 575 с.
40. Далін, А.Д. Ротаційні ґрунтообробні та землерийні машини [Текст] / А.Д.Далін. - М.: Машгіз, 1950. - 255 с.
41. Довідник агронома Нечорноземної зони [Текст]/За ред. Г.В. Гуляєва. - 2-ге вид., Дод. та перероб. - М.: Колос, 1980. - 576 с.
42. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // Вісник аграрної науки. – 2000. - №1. С.58-62
43. Експлуатація машин та обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
44. Кудзаєв, А.Б. Машина для дослідження тягового опору ґрунтообробних робочих органів [Текст]/О.Б. Кудзаєв, Т.А. Уртаєв, А.Е. Цгоєв та ін. // Вісті

- Горського державного аграрного університету. - 2010. - Т. 47. №1. - С. 172 ... 178.
45. Матяшин, Ю.І. Розрахунок та проектування ротаційних ґрунтообробних машин [Текст] / Ю.І. Матяшин, І.М. Грінчук, Г.М. Єгоров. - М.: Агропромиздат, 1988. - 176 с.
 46. Машина для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.: іл.
 47. Мельник І.І. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, В.В. Марченко та інші. – К.: НАУ, 2001. – 96 с.
 48. Мельник І.І. Оптимізація управління машинно-тракторним парком / І.І. Мельник, В.П. Бабій, В.В. Марченко та інші. – К.: НАУ, 2000. – 38 с.
 49. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.
 50. Посібник. Машина для обробітку ґрунту та сівби / За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 288 с.
 51. Практикум з машиновикористання в рослинництві А.С.Лімонт, І.І.Мельник, А.С.Маличовський та ін. за ред. І.І.Мельника К. Кондор, 2004 - 282 с.
 52. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.
 53. Пушка О.С., Войтік А.В., Кравченко В.В., Кутковецька Т.О. Новітні енергетичні засоби та сільськогосподарські машини: підруч. / О.С. Пушка, А.В. Войтік, В.В. Кравченко, Т.О. Кутковецька. – Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2018.–244 с.
 54. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.; іл.
 55. Федоренко, В.Ф. Інновації у виробництві та використанні сільськогосподарської техніки у світі [Електронний ресурс] / Ф.В. Федоренко; ДУ "Ставропольський сільськогосподарський інформаційно-консультаційний центр". Інформаційний бюлетень №11, 2009
 56. Цепляєв, А.М. Оптимізація параметрів технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту роторним автоприводним агрегатом [Текст] / О.М. Цепляєв // Известия Нижньоволзького агроуніверситетського комплексу: наука та вища професійна освіта. - 2012. - №1 (25). - С. 160 ... 164.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Результати аналітичних повторювань

Ф1	Ф2	Ф3	R1	R2	R3	R4	Серед ня зваже на	макс	мін	Розмах варіа ції	Середнє лінійне відхилен ня	Диспер сія	Виправле на дисперсія	Середнє квадрати чне відхиленн я	Оцінка середньоквадратич ного відхилення	Коефіціє нт варіації, %	Лінійний коефіціє нт варіації, %	Коефіціє нт осциляції	Стандарт на похибка вибірки для середньо го
17,5	7	13,5	1,08	1,14	1,17	1,12	1,129	1,17	1,08	0,09	0,027	0,001	0,001	0,033	0,038	3,338	2,366	0,04	0,019
17,5	7	15	1,16	1,16	1,23	1,15	1,176	1,233	1,154	0,08	0,029	0,001	0,001	0,033	0,039	3,287	2,459	0,033	0,019
17,5	7	18	1,19	1,21	1,3	1,08	1,196	1,3	1,08	0,22	0,059	0,006	0,008	0,078	0,09	7,551	4,922	0,092	0,045
17,5	7	21	1,08	1,13	1,15	1,15	1,128	1,152	1,082	0,071	0,023	0,001	0,001	0,029	0,033	2,918	2,077	0,032	0,016
17,5	7	22,5	1,23	1,12	1,14	1,08	1,142	1,228	1,08	0,148	0,043	0,003	0,004	0,054	0,062	5,46	3,787	0,064	0,031
17,5	8	13,5	1,09	1,11	1,09	1,08	1,095	1,113	1,08	0,033	0,009	0	0	0,012	0,014	1,276	0,862	0,015	0,007
17,5	8	15	1,12	1,14	1,13	1,13	1,132	1,139	1,123	0,015	0,004	0	0	0,006	0,006	0,563	0,378	0,007	0,003
17,5	8	18	1,08	1,19	1,22	1,25	1,185	1,246	1,08	0,166	0,052	0,004	0,005	0,064	0,074	6,203	4,427	0,071	0,037
17,5	8	21	1,13	1,11	1,08	1,08	1,097	1,127	1,08	0,047	0,017	0	0	0,019	0,022	2,026	1,559	0,021	0,011
17,5	8	22,5	1,08	1,08	1,08	1,13	1,094	1,133	1,08	0,053	0,02	0,001	0,001	0,023	0,027	2,43	1,822	0,024	0,013
17,5	10	13,5	1,09	1,14	1,17	1,1	1,127	1,174	1,093	0,082	0,032	0,001	0,002	0,034	0,039	3,446	2,815	0,036	0,019
17,5	10	15	1,15	1,17	1,15	1,14	1,154	1,174	1,139	0,034	0,01	0	0	0,012	0,014	1,238	0,835	0,015	0,007
17,5	10	18	1,3	1,08	1,1	1,14	1,155	1,3	1,08	0,22	0,073	0,007	0,01	0,086	0,1	8,627	6,299	0,092	0,05
17,5	10	21	1,18	1,16	1,09	1,15	1,148	1,184	1,093	0,091	0,028	0,001	0,002	0,034	0,039	3,399	2,409	0,04	0,02
17,5	10	22,5	1,12	1,08	1,1	1,11	1,1	1,117	1,084	0,033	0,011	0	0	0,012	0,014	1,28	0,977	0,015	0,007
17,5	12	13,5	1,21	1,17	1,16	1,15	1,172	1,206	1,154	0,052	0,017	0	0,001	0,02	0,023	1,992	1,462	0,022	0,012
17,5	12	15	1,15	1,2	1,14	1,16	1,162	1,2	1,139	0,062	0,019	0,001	0,001	0,024	0,027	2,339	1,659	0,026	0,014

17,5	12	18	1,26	1,08	1,3	1,08	1,181	1,3	1,08	0,22	0,101	0,01	0,014	0,101	0,117	9,92	8,515	0,092	0,059
17,5	12	21	1,25	1,2	1,3	1,3	1,261	1,3	1,197	0,103	0,039	0,002	0,002	0,043	0,049	3,912	3,091	0,041	0,025
17,5	12	22,5	1,25	1,17	1,16	1,13	1,179	1,251	1,133	0,119	0,036	0,002	0,003	0,044	0,051	4,317	3,083	0,05	0,025
17,5	13	13,5	1,08	1,08	1,2	1,25	1,153	1,251	1,08	0,171	0,073	0,006	0,008	0,075	0,087	7,553	6,37	0,073	0,044
17,5	13	15	1,17	1,24	1,22	1,15	1,192	1,235	1,146	0,09	0,036	0,001	0,002	0,037	0,043	3,573	2,998	0,038	0,021
17,5	13	18	1,13	1,17	1,11	1,23	1,16	1,228	1,107	0,121	0,039	0,002	0,003	0,045	0,052	4,503	3,388	0,052	0,026
17,5	13	21	1,25	1,22	1,27	1,28	1,254	1,284	1,223	0,061	0,02	0,001	0,001	0,023	0,026	2,083	1,611	0,024	0,013
17,5	13	22,5	1,18	1,22	1,3	1,25	1,237	1,3	1,177	0,123	0,037	0,002	0,003	0,044	0,051	4,131	2,962	0,05	0,026
20	7	13,5	1,16	1,18	1,13	1,13	1,149	1,178	1,13	0,048	0,019	0	0,001	0,02	0,023	2,001	1,627	0,021	0,011
20	7	15	1,08	1,22	1,1	1,14	1,134	1,215	1,08	0,135	0,046	0,003	0,004	0,052	0,061	5,342	4,036	0,059	0,03
20	7	18	1,22	1,23	1,19	1,2	1,208	1,225	1,188	0,037	0,012	0	0	0,014	0,016	1,318	1,006	0,015	0,008
20	7	21	1,08	1,14	1,13	1,08	1,106	1,138	1,08	0,058	0,026	0,001	0,001	0,026	0,03	2,748	2,344	0,026	0,015
20	7	22,5	1,11	1,1	1,15	1,13	1,12	1,148	1,096	0,052	0,017	0	0,001	0,019	0,022	2,003	1,535	0,023	0,011
20	8	13,5	1,09	1,08	1,08	1,14	1,097	1,142	1,08	0,062	0,022	0,001	0,001	0,026	0,03	2,747	2,047	0,028	0,015
20	8	15	1,11	1,15	1,17	1,11	1,135	1,172	1,109	0,063	0,027	0,001	0,001	0,027	0,032	2,786	2,338	0,028	0,016
20	8	18	1,15	1,14	1,12	1,28	1,172	1,279	1,124	0,155	0,054	0,004	0,005	0,063	0,072	6,162	4,588	0,064	0,036
20	8	21	1,08	1,08	1,08	1,2	1,109	1,198	1,08	0,118	0,044	0,003	0,003	0,051	0,059	5,3	3,975	0,052	0,029
20	8	22,5	1,08	1,12	1,08	1,12	1,099	1,12	1,08	0,04	0,019	0	0,001	0,019	0,022	2,044	1,769	0,018	0,011
20	10	13,5	1,17	1,11	1,1	1,09	1,117	1,173	1,089	0,084	0,028	0,001	0,001	0,033	0,038	3,428	2,532	0,037	0,019
20	10	15	1,11	1,13	1,18	1,25	1,167	1,248	1,111	0,136	0,048	0,003	0,004	0,054	0,062	5,295	4,127	0,058	0,031
20	10	18	1,23	1,21	1,23	1,19	1,213	1,226	1,192	0,035	0,012	0	0	0,014	0,016	1,337	1,028	0,014	0,008
20	10	21	1,17	1,16	1,12	1,18	1,158	1,175	1,124	0,052	0,017	0	0,001	0,021	0,024	2,054	1,476	0,022	0,012

20	10	22,5	1,0 9	1,1 6	1,1 4	1,2 3	1,153	1,22 8	1,08 6	0,143	0,043	0,003	0,004	0,052	0,06	5,161	3,698	0,062	0,03
20	12	13,5	1,2	1,1 7	1,2 1	1,0 8	1,164	1,21	1,08 4	0,126	0,04	0,002	0,003	0,049	0,056	4,813	3,419	0,055	0,028
20	12	15	1,2 5	1,2 1	1,1 9	1,2 4	1,219	1,24 5	1,18 6	0,059	0,021	0,001	0,001	0,023	0,027	2,175	1,737	0,024	0,013
20	12	18	1,1 6	1,2 4	1,2 1	1,2	1,202	1,24 3	1,16	0,083	0,022	0,001	0,001	0,029	0,034	2,814	1,811	0,034	0,017
20	12	21	1,2 8	1,2	1,2 4	1,1 6	1,22	1,28 3	1,16	0,123	0,039	0,002	0,003	0,045	0,052	4,276	3,234	0,05	0,026
20	12	22,5	1,2 8	1,2 7	1,2 8	1,1 7	1,252	1,28 2	1,17 1	0,111	0,04	0,002	0,003	0,046	0,054	4,281	3,202	0,045	0,027
20	13	13,5	1,1 3	1,1 7	1,1 6	1,2 5	1,179	1,25	1,13 4	0,115	0,035	0,002	0,002	0,043	0,049	4,171	2,968	0,048	0,025
20	13	15	1,2 8	1,1 2	1,1 2	1,2 4	1,19	1,27 9	1,12 1	0,158	0,068	0,005	0,006	0,07	0,081	6,769	5,73	0,066	0,04
20	13	18	1,2 6	1,2	1,2 3	1,1 6	1,213	1,26 4	1,16 2	0,103	0,033	0,001	0,002	0,038	0,044	3,598	2,736	0,042	0,022
20	13	21	1,2 7	1,2 7	1,2 9	1,3	1,28	1,3	1,26 5	0,035	0,014	0	0	0,014	0,017	1,303	1,067	0,014	0,008
20	13	22,5	1,2 1	1,2 7	1,3	1,2 6	1,26	1,3	1,21 3	0,087	0,025	0,001	0,001	0,031	0,036	2,869	1,959	0,035	0,018
25	7	13,5	1,0 8	1,1 4	1,0 8	1,0 9	1,096	1,13 6	1,08	0,056	0,02	0,001	0,001	0,023	0,027	2,458	1,826	0,025	0,013
25	7	15	1,1 8	1,2	1,2 1	1,1 9	1,195	1,20 5	1,18 2	0,022	0,008	0	0	0,009	0,01	0,844	0,674	0,009	0,005
25	7	18	1,1 5	1,2	1,1	1,1 1	1,141	1,2	1,1	0,1	0,035	0,002	0,002	0,039	0,045	3,967	3,082	0,043	0,023
25	7	21	1,1 9	1,0 8	1,1 2	1,1 9	1,146	1,19 3	1,08 2	0,112	0,045	0,002	0,003	0,047	0,054	4,705	3,886	0,049	0,027
25	7	22,5	1,0 8	1,1 2	1,0 8	1,1 1	1,097	1,11 5	1,08	0,035	0,017	0	0	0,017	0,019	1,747	1,507	0,016	0,01
25	8	13,5	1,0 8	1,1 9	1,2 1	1,2 5	1,181	1,24 6	1,08 1	0,166	0,05	0,004	0,005	0,062	0,071	6,037	4,257	0,071	0,036
25	8	15	1,1	1,1 5	1,1 1	1,1 4	1,122	1,14 5	1,10 2	0,044	0,018	0	0	0,018	0,021	1,881	1,588	0,019	0,011
25	8	18	1,1 1	1,1 8	1,1 5	1,1 7	1,151	1,18	1,11 1	0,069	0,023	0,001	0,001	0,026	0,03	2,644	1,974	0,03	0,015
25	8	21	1,1 6	1,1 5	1,1 2	1,0 8	1,127	1,15 9	1,08	0,079	0,029	0,001	0,001	0,032	0,037	3,244	2,567	0,035	0,018
25	8	22,5	1,1 4	1,1 3	1,1 2	1,1 7	1,142	1,17 1	1,12	0,051	0,015	0	0	0,018	0,021	1,87	1,305	0,022	0,011
25	10	13,5	1,1 7	1,1 9	1,1 7	1,0 8	1,151	1,18 6	1,08	0,106	0,035	0,002	0,002	0,042	0,048	4,168	3,077	0,047	0,024

25	10	15	1,1 5	1,2 1	1,1 5	1,1 3	1,159	1,20 8	1,13	0,078	0,024	0,001	0,001	0,029	0,034	2,925	2,109	0,033	0,017
25	10	18	1,2 2	1,2 7	1,1 5	1,2 4	1,219	1,26 8	1,14 8	0,12	0,036	0,002	0,003	0,044	0,051	4,202	2,928	0,05	0,026
25	10	21	1,0 8	1,2 2	1,2 8	1,2 4	1,205	1,28 4	1,08	0,204	0,062	0,006	0,008	0,076	0,088	7,297	5,181	0,086	0,044
25	10	22,5	1,3	1,1 1	1,1 8	1,0 8	1,166	1,3	1,08	0,22	0,073	0,007	0,01	0,085	0,098	8,442	6,276	0,092	0,049
25	12	13,5	1,3	1,1 5	1,2 9	1,2	1,234	1,29 9	1,15 1	0,148	0,058	0,004	0,005	0,061	0,071	5,72	4,733	0,06	0,035
25	12	15	1,2 7	1,3	1,1 9	1,2 3	1,246	1,3	1,18 8	0,112	0,038	0,002	0,002	0,042	0,049	3,923	3,075	0,045	0,024
25	12	18	1,3	1,2 6	1,2 3	1,3	1,273	1,3	1,23 2	0,069	0,027	0,001	0,001	0,029	0,033	2,631	2,143	0,027	0,017
25	12	21	1,2 5	1,2 4	1,2 3	1,2 1	1,233	1,24 9	1,20 9	0,04	0,013	0	0	0,015	0,018	1,441	1,085	0,016	0,009
25	12	22,5	1,2 1	1,1 9	1,2 3	1,1 7	1,202	1,22 7	1,17 4	0,053	0,017	0	0,001	0,02	0,023	1,886	1,452	0,022	0,011
25	13	13,5	1,1 5	1,2 1	1,2 1	1,2 1	1,191	1,20 7	1,14 9	0,058	0,021	0,001	0,001	0,025	0,029	2,403	1,801	0,025	0,014
25	13	15	1,1 3	1,1 9	1,1 6	1,2 4	1,18	1,23 9	1,12 9	0,11	0,034	0,002	0,002	0,04	0,046	3,924	2,87	0,046	0,023
25	13	18	1,2 4	1,2 2	1,2 5	1,2 4	1,237	1,24 9	1,21 7	0,032	0,01	0	0	0,012	0,014	1,132	0,821	0,013	0,007
25	13	21	1,3	1,3	1,1 7	1,1 6	1,231	1,3	1,15 8	0,142	0,069	0,005	0,006	0,069	0,08	6,516	5,64	0,058	0,04
25	13	22,5	1,1 5	1,1 1	1,2 8	1,2 6	1,201	1,27 7	1,11	0,167	0,069	0,005	0,007	0,071	0,082	6,836	5,765	0,07	0,041
30	7	13,5	1,1 7	1,2	1,1 3	1,1 6	1,162	1,19 7	1,12 7	0,07	0,019	0,001	0,001	0,025	0,029	2,474	1,652	0,03	0,014
30	7	15	1,2 7	1,1	1,2 2	1,1 7	1,191	1,22 3	1,16 6	0,057	0,021	0,001	0,001	0,023	0,026	2,201	1,79	0,024	0,013
30	7	18	1,0 8	1,1 6	1,1 3	1,1	1,115	1,15 6	1,08	0,076	0,026	0,001	0,001	0,029	0,033	2,952	2,298	0,034	0,016
30	7	21	1,0 9	1,1 1	1,0 8	1,1 6	1,11	1,16 3	1,08	0,083	0,026	0,001	0,001	0,032	0,037	3,334	2,382	0,037	0,019
30	7	22,5	1,1 5	1,2 6	1,0 8	1,2 6	1,189	1,26 2	1,08	0,182	0,073	0,006	0,008	0,077	0,089	7,483	6,118	0,078	0,044
30	8	13,5	1,1 3	1,0 8	1,1 4	1,1 7	1,13	1,17 1	1,08	0,091	0,026	0,001	0,001	0,033	0,038	3,362	2,34	0,04	0,019
30	8	15	1,1 8	1,1 7	1,1 6	1,1 7	1,169	1,18 1	1,15 5	0,025	0,008	0	0	0,009	0,011	0,925	0,71	0,011	0,005
30	8	18	1,1 2	1,1 8	1,1 3	1,1 2	1,137	1,18 1	1,11 6	0,065	0,022	0,001	0,001	0,026	0,03	2,661	1,956	0,029	0,015

30	8	21	1,1 1	1,1 1	1,1 2	1,0 9	1,106	1,12 4	1,09 4	0,03	0,011	0	0	0,012	0,014	1,224	0,965	0,013	0,007
30	8	22,5	1,1 3	1,0 8	1,0 9	1,0 9	1,099	1,13 2	1,08	0,052	0,016	0	0,001	0,02	0,023	2,054	1,487	0,023	0,011
30	10	13,5	1,2 7	1,2 1	1,1	1,2 5	1,206	1,26 9	1,09 5	0,174	0,056	0,005	0,006	0,068	0,079	6,526	4,608	0,074	0,039
30	10	15	1,1 2	1,2 1	1,2 7	1,1 3	1,183	1,27 2	1,11 7	0,155	0,057	0,004	0,005	0,062	0,071	6,039	4,858	0,065	0,036
30	10	18	1,2 1	1,1 2	1,3	1,1 8	1,202	1,3	1,12 1	0,179	0,052	0,004	0,006	0,065	0,075	6,207	4,297	0,074	0,037
30	10	21	1,2 6	1,1 9	1,2 9	1,1 7	1,227	1,29	1,16 6	0,124	0,049	0,003	0,003	0,051	0,059	4,776	4	0,05	0,029
30	10	22,5	1,2	1,1 6	1,0 8	1,1 7	1,152	1,19 8	1,08	0,117	0,036	0,002	0,003	0,044	0,051	4,387	3,113	0,052	0,025
30	12	13,5	1,1 5	1,1 5	1,2 1	1,1 5	1,164	1,20 7	1,14 6	0,061	0,022	0,001	0,001	0,025	0,029	2,482	1,853	0,026	0,014
30	12	15	1,0 9	1,2 2	1,2	1,2 7	1,195	1,26 5	1,09 2	0,173	0,051	0,004	0,005	0,064	0,073	6,151	4,287	0,073	0,037
30	12	18	1,2 8	1,1 7	1,2 9	1,2 2	1,241	1,29 2	1,17 2	0,12	0,044	0,002	0,003	0,048	0,055	4,443	3,561	0,049	0,028
30	12	21	1,2 6	1,1 9	1,2 8	1,2 5	1,242	1,27 5	1,19	0,085	0,026	0,001	0,001	0,032	0,037	2,969	2,125	0,035	0,018
30	12	22,5	1,2	1,2 8	1,0 9	1,2 2	1,195	1,27 5	1,08 6	0,19	0,054	0,005	0,006	0,069	0,08	6,662	4,552	0,08	0,04
30	13	13,5	1,2 2	1,2 1	1,1 9	1,2 1	1,21	1,21 9	1,19 1	0,028	0,009	0	0	0,011	0,012	1,025	0,753	0,012	0,006
30	13	15	1,1 6	1,1 3	1,1 2	1,2	1,151	1,2	1,11 8	0,082	0,026	0,001	0,001	0,031	0,036	3,124	2,285	0,035	0,018
30	13	18	1,1 3	1,0 8	1,1 4	1,2 1	1,139	1,20 7	1,08	0,127	0,036	0,002	0,003	0,046	0,053	4,613	3,162	0,056	0,026
30	13	21	1,3 3	1,2 3	1,3	1,2 3	1,265	1,3	1,23	0,07	0,035	0,001	0,002	0,035	0,04	3,19	2,763	0,028	0,02
30	13	22,5	1,0 8	1,2 5	1,2 3	1,3	1,214	1,3	1,08	0,22	0,067	0,007	0,009	0,082	0,094	7,776	5,513	0,092	0,047
32, 5	7	13,5	1,1 4	1,1 9	1,1 7	1,1 7	1,167	1,19	1,14	0,05	0,014	0	0	0,018	0,021	1,78	1,18	0,022	0,01
32, 5	7	15	1,2 2	1,0 8	1,0 8	1,0 8	1,116	1,22 4	1,08	0,143	0,054	0,004	0,005	0,062	0,072	6,43	4,822	0,062	0,036
32, 5	7	18	1,1 9	1,1 2	1,1 2	1,1	1,133	1,19	1,10 1	0,088	0,029	0,001	0,002	0,034	0,039	3,466	2,53	0,039	0,02
32, 5	7	21	1,2	1,1	1,0 8	1,1 7	1,138	1,20 2	1,08	0,122	0,047	0,002	0,003	0,049	0,057	4,973	4,114	0,053	0,028
32, 5	7	22,5	1,0 8	1,3	1,0 8	1,0 8	1,135	1,29 8	1,08	0,218	0,082	0,009	0,012	0,094	0,109	9,608	7,206	0,092	0,054

32, 5	8	13,5	1,0 8	1,0 8	1,2 3	1,2 1	1,15	1,23 2	1,08	0,152	0,07	0,005	0,007	0,071	0,081	7,081	6,087	0,066	0,041
32, 5	8	15	1,2 8	1,2 8	1,1 9	1,2 2	1,223	1,27 5	1,19 1	0,084	0,026	0,001	0,001	0,032	0,037	3,023	2,124	0,034	0,018
32, 5	8	18	1,1 3	1,1 3	1,1 3	1,0 8	1,117	1,13 2	1,08	0,052	0,019	0	0,001	0,022	0,025	2,246	1,67	0,024	0,013
32, 5	8	21	1,0 8	1,1 8	1,0 9	1,0 8	1,106	1,17 8	1,08	0,098	0,036	0,002	0,002	0,042	0,048	4,372	3,275	0,044	0,024
32, 5	8	22,5	1,1 9	1,0 8	1,2 1	1,1 6	1,159	1,20 8	1,08	0,128	0,04	0,002	0,003	0,049	0,056	4,858	3,42	0,056	0,028
32, 5	10	13,5	1,1 8	1,0 9	1,1 8	1,1 3	1,144	1,18 1	1,08 9	0,092	0,036	0,001	0,002	0,038	0,044	3,857	3,132	0,04	0,022
32, 5	10	15	1,1 1	1,2 3	1,1 3	1,2 8	1,187	1,28	1,11 3	0,166	0,065	0,005	0,006	0,068	0,078	6,605	5,457	0,069	0,039
32, 5	10	18	1,2 3	1,2	1,1 7	1,2 5	1,213	1,25 3	1,17 2	0,081	0,028	0,001	0,001	0,031	0,035	2,925	2,33	0,033	0,018
32, 5	10	21	1,2 7	1,2 4	1,0 8	1,1	1,172	1,27 4	1,08	0,194	0,084	0,007	0,01	0,085	0,099	8,414	7,188	0,083	0,049
32, 5	10	22,5	1,0 9	1,1 2	1,0 9	1,1 7	1,118	1,16 6	1,09 3	0,073	0,024	0,001	0,001	0,03	0,034	3,081	2,183	0,032	0,017
32, 5	12	13,5	1,1 8	1,3	1,2 7	1,1 6	1,227	1,3	1,15 9	0,141	0,059	0,004	0,005	0,06	0,069	5,643	4,782	0,058	0,035
32, 5	12	15	1,2 8	1,2 1	1,2	1,1	1,2	1,28	1,10 1	0,179	0,049	0,004	0,005	0,064	0,074	6,177	4,125	0,075	0,037
32, 5	12	18	1,2	1,2 5	1,2	1,3	1,236	1,3	1,19 5	0,105	0,04	0,002	0,003	0,044	0,051	4,1	3,274	0,042	0,025
32, 5	12	21	1,1 2	1,3	1,1 4	1,1 6	1,18	1,3	1,11 9	0,181	0,06	0,005	0,007	0,071	0,082	6,987	5,107	0,075	0,041
32, 5	12	22,5	1,3	1,2 5	1,2 1	1,1 6	1,23	1,3	1,16 2	0,138	0,043	0,003	0,003	0,05	0,058	4,718	3,505	0,056	0,029
32, 5	13	13,5	1,2 3	1,3	1,1 5	1,2 3	1,227	1,3	1,15 3	0,147	0,037	0,003	0,004	0,052	0,06	4,894	3,031	0,06	0,03
32, 5	13	15	1,2 7	1,2 1	1,1 2	1,2 5	1,213	1,27 4	1,12 4	0,15	0,047	0,003	0,004	0,057	0,065	5,395	3,91	0,063	0,033
32, 5	13	18	1,2 1	1,2	1,2 7	1,3	1,246	1,3	1,20 3	0,097	0,041	0,002	0,002	0,042	0,048	3,887	3,284	0,039	0,024
32, 5	13	21	1,2	1,3	1,1 8	1,2 4	1,23	1,29 5	1,18 1	0,114	0,039	0,002	0,003	0,044	0,051	4,117	3,178	0,046	0,025
32, 5	13	22,5	1,2 1	1,2 9	1,2 2	1,3	1,257	1,3	1,21 1	0,089	0,04	0,002	0,002	0,04	0,046	3,663	3,149	0,035	0,023