

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

01.12 - МР.189«С»01.02.2021.007.ПЗ

ОЛЕКСІЄНКО ЯРОСЛАВ БОРИСОВИЧ

Київ 2021

НУБІП України

НУБІП України



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет механіко-технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доцент Новичький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 20 року

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

СТУДЕНТА

Олексієнко Ярослав Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

Спеціалізація  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Дослідження технічного стану деталей дискових агрегатів та забезпечення їх надійності як складних систем»**

затверджена наказом ректора НУБіПУ від «01» лютого, 2021 р. №189 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 17.11.2021р.  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: 1. Технічна характеристика дискових борін вітчизняного і закордонного виробництва. 2. Аналіз конструкцій дискових борін. 3. Вивчення результатів експлуатаційної надійності дискових агрегатів. 3. Аналіз існуючих технологій відновлення робочих органів дискових агрегатів. 4. Каталоги ремонтно-технологічного обладнання для ремонту сільськогосподарської техніки. 5. Ремонтно-обслуговуюча база з обслуговування дискових агрегатів.

Перелік питань, що підлягають дослідженню: 1. Дослідження ремонтного фонду дисків агрегатів. 2. Системний аналіз надійності дискових агрегатів як складних систем. 3. Обґрунтування необхідної кількості резервних елементів. 4. Прогнозування ресурсу дискових робочих органів. 5. Проведення техніко-економічного обґрунтування магістерської роботи.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) 1. Мета, предмет та об'єкт досліджень. 2. Методи досліджень по магістерській роботі. 3. Дослідження характерних пошкоджень дисків. 4. Аналіз способів відновлення дисків агрегатів. 5. Обґрунтування сучасних технологій відновлення дискових робочих органів. 6. Схема розбирання дискових борів. 7. Операційна карта. 8. Маршрутна карта. 9. Охорона праці. 10. Результати техніко-економічного обґрунтування магістерської роботи. 11. Аналіз публікацій за результатами досліджень.

Дата видачі завдання «15» листопада 2020 р.

Керівник магістерської роботи

Новицький А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Олексієнко Я.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1. СТАН ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИСКОВИХ АГРЕГАТІВ.....	10
1.1. Аналіз сучасних конструкцій дискових борін.....	10
1.2. Аналіз робочих органів дисків борін.....	21
1.3. Характеристика відмов деталей і вузлів дискових борін.....	31
1.4. Аналіз методів забезпечення працездатності дискових борін.....	33
1.5. Підсумки розділу та задачі дослідження.....	39
Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИСКОВИХ АГРЕГАТІВ.....	40
2.1. Дискові агрегати ґрунтообробних машин, як складні системи.....	40
2.2. Дослідження показників безвідмовності дискових агрегатів ґрунтообробних машин.....	44
Розділ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	48
3.1. Програма досліджень.....	48
3.2. Вибір та обґрунтування основних методів проведення експериментальних досліджень.....	48
3.3. Вибір об'єктів та обґрунтування умов проведення експериментальних досліджень.....	49
3.4. Методика збирання статистичних даних по надійності дискових борін.....	50
3.5. Методика визначення основних видів пошкоджень деталей та вузлів дискових борін.....	50
Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДИСКОВИХ БОРІН.....	51
4.1. Причини виникнення і аналіз закономірностей розподілу відмов основних механізмів дискових борін.....	51

4.2. Прогнозування необхідної кількості резервних елементів дискових борін.....	56
4.3. Методика дослідження граничних і допустимих спрацювань деталей дискових борін.....	65
4.4. Розробка заходів з підвищення технологічної надійності дискових борін і лущильників.....	67
4.5. Обробка інформації про зношування деталей та прогнозування ресурсу деталей дискових борін.....	74
4.6. Формування заходів забезпечення якості та рівномірності глибини обробки ґрунту дисковими боронами.....	76
Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ДІЛЬНИЦІ ПОВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ .....	81
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	84
ДОДАТКИ .....	

# НУБІП України

## ВСТУП

Одним із найважливіших структурних елементів будь-якої технології обробітку сільськогосподарської культури є обробіток ґрунту, на частку якого припадає до 30-35% від загальних витрат енергії при вирощуванні сільськогосподарських культур, тому розробка нових та вдосконалення вже існуючих конструктивних рішень є актуальним завданням. Процес обробітку ґрунту спрямований на створення такої його структури, щоб умови підвищення врожайності культурних рослин були найбільш сприятливими.

Обробку ґрунту проводять різними сільськогосподарськими машинами та знаряддями, серед яких можна виділити дискові ротаційні знаряддя, оскільки на них припадає до 12-23%, а в деяких технологіях до 34% від загального обсягу технологічних операцій з обробітку ґрунту у різних технологіях обробітку сільськогосподарських культур [12, 10].

Обробка ґрунту дисковими ротаційними знаряддями проводиться при її лущенні та дискуванні, при цьому завдання зазначених технологічних операцій мають різний характер. Лушення, як правило, проводять після збирання попередньої озимої культури, а основним завданням обробки ґрунту в зазначений період є збереження вологи, яке досягається шляхом створення волого затримуючого шару з ґрунту з перемішаними подрібненими поживними залишками. Дискування застосовують для обробітку ґрунту після його оранки, як парової або основної обробки ґрунту, а також іноді для передпосівної обробки.

Останні роки операції лушення та дискування ґрунту застосовують більшою мірою не виходячи зі змісту основних технологій обробітку сільськогосподарських культур, а виходячи з фактичної наявності МТП конкретного виробництва. Слід зазначити, що найчастіше доводиться замість операції лушення стерні робити її дискування. Ґрунтообробні знаряддя для дискування ґрунту можна використовувати для лушення тільки у разі

достатнього ступеня кришення пласта та його перемішування з ґрунтом. Тому підвищення обробки полів робочими органами дискових борін, і навіть зниження енергоємності процесу є актуальним завданням.

Разом з тим, існуюча ремонтно-обслуговуюча база АПК України знаходиться в затяжному процесі перебудови для функціонування в умовах ринкової економіки та конкуренції. Для ефективного виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарських машин та обладнання необхідне застосування прогресивних технологій відновлення працездатності, сучасної системи наукових та виробничих структур.

Термінового вирішення вимагає питання удосконалення ремонтно-обслуговуючої бази сільського господарства. Стан технічного забезпечення аграрного сектора держави характеризується зменшенням на парку сільськогосподарських машин та значним її старінням – 39...65% відпрацювали свій амортизаційний період.

Така ситуація в інженерному забезпеченні потребує нових підходів до формування та реалізації технічної політики в сільському господарстві. Основними напрямками розвитку є: забезпечення прибутковості в аграрній сфері; розробка і впровадження передових енергоощадних технологій, сучасної техніки та обладнання, формування нових ринків матеріально-технічних ресурсів.

Мета роботи – оцінка технічного стану дискових борін та підвищення їх безвідмовності виходячи з структурного аналізу їх надійності.

Об'єкт досліджень – ґрунтообробні агрегати та дискові робочі органи.

Предмет досліджень – закономірності відмов дискових робочих органів, структурні схеми надійності.

Основні методи дослідження – теоретичні дослідження базувалися на математичному та фізичному моделюванні умов експлуатації, навантаження та зношування робочих органів. Експериментальні дослідження

виконувались у польових умовах з використанням розробленого нового та



відомого стендового, технологічного та іншого обладнання. Обробка експериментальних даних проводилася методами математичної статистики.

Результати досліджень та основні положення магістерської роботи доповідалися на Міжнародних та Всеукраїнських студентських науково-практичних конференціях: XV Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» (16-17 лютого 2021 року) та 75-ій Всеукраїнській науково-практичній студентській конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (2021 р.).

Задані дослідження магістерської роботи:

проаналізувати будову конструкцій вітчизняних та закордонних дискових агрегатів;

- провести аналіз дисків борін, матеріал виготовлення,

зносостійкість;

- встановити причини виникнення відмов підсистем дискових агрегатів;

- провести аналіз існуючих способів технічного обслуговування і

ремонту дискових агрегатів та відновлення дискових робочих органів;

- виконати структурний аналіз безвідмовності дискового агрегату як складної технічної системи;

- обґрунтувати граничні та допустимі при ремонті зноси дисків;

- виконати аналіз безвідмовності дискових борін та спрогнозувати

необхідну кількість резервних елементів;

- розробити заходи з охорони праці при відновленні дисків борін;

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 1. СТАН ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИСКОВИХ АГРЕГАТІВ

### 1.1. Аналіз сучасних конструкцій дискових борін

НУБІП України

Обробіток важкими дисковими знаряддями – це захід поверхневого обробітку ґрунту, за якого досягається розпушування, кришіння і часткове перемішування ґрунту, а також подрібнення рослинних решток попередника та підрізання бур'янів. Завдяки цій технологічній операції відбувається обробітка з бур'янами, шкідниками і збудниками хвороб, накопичується та зберігається ґрунтова волога, активізуються мікробіологічні процеси, загортаються у верхній шар ґрунту післязливні рештки та добрива, а поле стає підготовленим до виконання наступних операцій агротехніки.

НУБІП України

Залежно від кута атаки, ваги знаряддя і стану ґрунту, глибина обробітку важкими дисковими знаряддями може становити до 20 см. У сучасних системах обробітку ґрунту застосування важких дискових знарядь часто виконує роль заходу основного обробітку, тобто замінює, наприклад, оранку чи суцільну культивуацію.

НУБІП України

Сучасні ресурсозберігаючі технології обробітку передбачають поверхневу обробку ґрунту дисковими знаряддями. Основна перевага цього робочого органу – низькі затрати енергії на технологічну операцію і порівняно велика глибина обробки перевищує глибину загортання насіння.

НУБІП України

Діаметр сферичного диска становить 510 мм, 560 мм, 610 мм і 660 мм і товщиною 6 мм. Диски виконують суцільними або вирізними по периметру [10, 12, 25]. Робочими органами важких дискових агрегатів є плоско-сферичні або плоскі сталеві диски із загостреною різальною крайкою. Диски у різних виробників, або навіть у того самого, бувають суцільними чи вирізними. Завдяки зчепленню з ґрунтом вони обертаються і вирізають скибу у вигляді сегмента, яка розпушується, кришиться й частково перемішується.

Основний недолік дискової борони – намотування рослинних залишків на вісь батареї, що призводить до заклинювання диска і втрати пранездатності. Глибина обробки змінюється кутом атаки дискової батареї і становить до 16 см. В останні роки з'явилися дискові знаряддя, мають сферичний диск, встановлений на індивідуальній стійці з підшипниковим вузлом. Сійка кріпиться до балки, а диск кріпиться до корпусу підшипникового вузла.

Німецька компанія Kockering виготовляє важкі причіпні дискові борони REBELL Profiline (рис. 1.5), які якісно обробляють ґрунт та змішують велику кількість рослинних решток із верхнім шаром ґрунту [12, 10]. Борони REBELL Profiline представлені у трьох модифікаціях із шириною захвату 5, 6 та 8 м. Завдяки гідромеханічному регулюванню глибина обробітку ґрунту може змінюватися у широкому діапазоні – від 5 до 18 см.



Рис. 1.5. Борони REBELL Profiline німецької компанії Kockering

Дуже міцна рамна конструкція дискової борони REBELL Profiline стійка до деформації навіть у важких умовах експлуатації. Тривалий термін безвідмовної служби забезпечується завдяки застосуванню якісних

матеріалів та складових. Саме це сприяє надійній і продуктивній роботі на швидкості 12–18 км/год.

Вирізні диски борони, які мають діаметр 620 мм та товщину 6 мм, розташовані у два ряди й закріплені на пружинних стійках, що своєю чергою забезпечує постійний тиск на диски. Диски встановлені з кутом атаки  $17^\circ$  та

кутом нахилу до вертикалі  $21^\circ$ . Лінійна відстань між дисками становить 150 мм. За контакту з камінням чи іншими тимчасовими перешкодами диски незалежно один від одного відхиляються вгору, повертаючись після долання

перешкоди у попереднє положення та обробляючи ґрунт на встановлену глибину (3D-ефект). Також завдяки постійній вібрації пружинної стійки під час роботи відбувається самоочищення дисків/борони.

За допомогою безступінчастого гідравлічного налаштування агрегату (запатентована система EasiShift) можна безперешкодно змінювати глибину

обробітку під час роботи безпосередньо з кабіни трактора (синхронне регулювання опорних коліс та STS-котка. Подвійний коток діаметром 530 мм, який очищується сам, забезпечує плавність ходу і характеризується високою продуктивністю й ідеальний для роботи на будь-яких ґрунтах. Під

час роботи агрегат опирається на здвоєні колеса та коток. Таким чином,

велика площа опори забезпечує дотримання встановленої глибини. Задня регульована щтигельна борона із зубцями діаметром 13 мм оптимально розподіляє післяживні рештки й вирівнює поверхню ґрунту.

Чеська компанія BEDNAR FMT виготовляє широкий спектр дискових ґрунтообробних агрегатів (рис. 1.6) [10, 12]. Для умов України найбільше придатні важкі дискові знаряддя ATLAS AO PROF1 – компактні корогкі дискові агрегати, які використовують як для мінімальної, так і для традиційної обробітку ґрунту. Робоча ширина – 6 м.





Рис. 1.6. Дисківі ґрунтообробні агрегати чеської компанії BEDNAR

FMT.

Основними перевагами машини є X-подібне розташування дисків та інтегрована транспортна вісь, що дає змогу агрегату працювати без бокового зміщення.

Для ефективнішого подрібнення рослинних решток дисківі борони ATLAS AO PROFІ можуть обладнувати переднім різальним котком Trash Cutter, який розташований перед двома рядами дисків. Незвеликий діаметр (310 мм) забезпечує високу кутову швидкість різального котка.

Два ряди А-дисків діаметром 620 мм та товщиною 6 мм обробляють ґрунт на глибину від 6 до 16 см, і при цьому інтенсивно перемішують рослинні рештки. Кожен диск закріплений на індивідуальній підпружиненій стійці, яка має систему захисту від можливих перешкод типу pop-stop. Безперервний захист стійки у роботі забезпечується 200-кілограмовим тиском горизонтальної пружини.

На вибір користувачів дисківі борони ATLAS AO PROFІ обладнують різноманітними котками [10, 12]. Найефективнішими є важкі котки, які створюють тиск на ґрунт не менше ніж 150 кг на погонний метр. Зокрема, це сегментний коток діаметром 525 мм із компонентами з нержавіючої сталі (створює тиск 177 кг/м), дворядний сталевий U-ring коток діаметром 600 мм із ефектом самоочищення (тиск 163 кг/м), гумовий коток Roadracker з малим коефіцієнтом лижкості діаметром 585 мм (тиск 193 кг/м) та важкий сталевий

Cutpack коток із потужними подрібнювальними характеристиками діаметром 630 мм (створює тиск 235 кг/м).

Для основної обробки ґрунту компанія LEMKEN виготовляє важкі дискові борони Rubin, модельний ряд яких включає широкий спектр навісних та напівнавісних агрегатів із шириною захвату від 2,5 до 12 м. Оригінальні конструкторські рішення і раціональне компоновання робочих органів забезпечують якісне подрібнення післяжнивних та рослинних решток і загорання їх у ґрунт. Найновішою розробкою є дискова борона Rubin 12 (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Важкі дискові борони Rubin компанії LEMKEN.

Агрегат вирізняється конструкцією стійок, формою та розмірами дисків, а також принципом навішування агрегату. Модернізована коротка важка дискова борона Rubin 12 має робочу ширину 7 м і чудово працює на полях із великою кількістю рослинних решток. Два ряди напівсферичних дисків діаметром 736 мм дають змогу працювати з тією самою глибиною обробки, що і культиватори, але водночас інтенсивніше подрібнювати та перемішувати рослинні рештки з ґрунтом. Диски встановлені під кутом  $20^\circ$  до поверхні ґрунту та під кутом  $16^\circ$  до напрямку руху, що дає змогу рівномірно оброблювати поверхню поля на глибину від 7 до 20 см.

Симетричне розташування дисків у кожному ряду забезпечує стабільний прямолінійний рух без бокового відхилення навіть під час роботи на скилах.



За один прохід дискова борона Rubin 12 інтенсивно кришить ґрунт і розпушує його на встановлену глибину. Завдяки великій відстані (107 см) між рядами дисків та високій (80 см) конструкції рами забезпечується робота без забивання, навіть за великої кількості органічної маси.

Сійки дисків мають оригінальну вигнуту й закручену форму, аби створити максимум вільного простору між дисками, і таким чином запобігти забиванню їх рослинними рештками. Модуль гідравлічного регулювання глибини дає змогу налаштувати плавне регулювання з місця оператора.

Прикочувальні котки на маятниковій підвісці чудово копіюють рельєф ґрунту за всією шириною захвату.

У своїй версії Rubin 12 можна оснащувати універсальним колесом, яке зменшує навантаження на задню вісь трактора [10, 12]. Водночас виробники використали нову навісну систему, яка дає змогу за допомогою лише навіски трактора піднімати агрегат та переносити вагу котка на універсальне колесо.

Для поверхневого обробітку ґрунту з великою кількістю післяжнивних решток італійська компанія Maschio Gaspardo пропонує важкі дискові борони Ufo (рис. 1.8). Їх також застосовують у технологіях безвідвального обробітку ґрунту. Висока продуктивність цих агрегатів досягається завдяки робочій швидкості не менше ніж 12 км/год. Дискові борони Ufo виготовляють у двох модифікаціях із шириною захвату 4 та 6 м.



Рис. 1.8. Важкі дискові борони Ufo італійської компанії Maschio Gaspardo.

Дискові борони Ufo мають високі експлуатаційні показники за мінімальних експлуатаційних витрат. Опуклий великий диск діаметром 610 мм дає змогу проводити обробіток на глибину до 18 см та працювати на великій швидкості навіть за наявності на поверхні значної кількості післяжнивних решток.

X-подібне розміщення дисків нейтралізує сили бокового зміщення, що сприяє кращій прямолінійності ходу борони за трактором. Це є особливо важливим за умов використання агрегату на полях зі схилами. Кожен диск незалежно з'єднаний із рамою за допомогою пружинної C-подібної стійки,

яка одночасно виконує функцію підвіски і демфера та захищає від можливих тимчасових динамічних навантажень.

Дискові борони Ufo дуже прості й швидкі в налаштуванні. Максимальну глибину обробітку встановлюють на машині, а всі інші регулювання здійснюються гідравлікою, безпосередньо з кабіни трактора.

Для досягнення оптимальної якості подрізання передній ряд дисків може легко регулюватися відносно заднього в боковому напрямку.

Важливим елементом у конструкції борони є маточина кріплення дисків Culti Hub. Для бездоганної роботи сферичних дисків борін Ufo у підшипникових вузлах використовують підшипники, які потребують значно меншої кількості обслуговувань. Спеціально розроблені підшипникові маточини не потребують періодичного технічного обслуговування, мають багатолабиринтне ущільнення, яке додатково захищене металевою кришкою від можливого зовнішнього пошкодження та проникнення бруду.

Канадський виробник Degelman (рис. 1.8) має у своєму арсеналі важкі дискові борони моделей Pro-Till 20 та Pro-Till 26 із робочою шириною захвату відповідно 6 і 8 м. Агрегати створені для подрібнення післяжнивних решток. Вони легко вирівнюють борозни на полі, розіб'ють грудки й підготують абсолютно бездоганне поле для сівби.





Рис. 1.9. Важкі дискові борони моделей Pro-Till канадського виробника Degelman.

Запатентована комбінація незалежних стійок із незлібовими дисками малого діаметра, гнуча (гумові валики) підвіска, що амортизує, міцна рама, досконала система прикочування, рівномірно розподілена по рамі вага – це все для того, аби якісно подрібнити рослинні рештки за 1 прохід агрегату.

Дискові борони Degelman Pro-Till можуть оснащувати трьома видами дисків. Гладенький диск забезпечує рівніше підрунтя, рухає більші пласти землі, відповідно, створює кращі умови для якісного посівного ложа [10, 12].

Для диска залежить від швидкості. Зубчастий диск має кращий різальний ефект, добре подрібнює рештки, але при цьому створює менше рівне підрунтя. Цей тип дисків є гарним вибором для керування рослинними рештками.

Диск із подвійним V вирізом (універсальний) дуже простий – один виріз як «V» і далі два вирізи як «VV». Такий диск діє як гладенький, але якісно подрібнює рослинні рештки та здатний працювати у вологих умовах. Результати польових випробувань засвідчили, що зменшується розмір грудок після обробітку такими дисками, навіть на надмірно ущільнених ґрунтах, а самі диски довше затискаються гострими порівняно з традиційними.

Чудовій якості роботи сприяє плаваючий режим у двох площинах. Незалежні секції борони копіюють поверхню поля за нахилу до  $8^\circ$ . А кут, що

може змінюватися між основною рамою та хвостовою частиною, забезпечує поздовжнє копцювання.

Зручності в експлуатації дисковим агрегатам Degelman Pro-Till додає мінімальна кількість рухомих частин, наявність у парах тертя самозмащувальних втулок та те, що взагалі немає маслянок. А підшипникові вузли дисків і котків, які не потребують щозмінного обслуговування, та ущільнювальна здатність манжета на налісцевих штирях зводять затрати часу на періодичне обслуговування до мінімуму.

Компанія AMAZONE виготовляє компактні дискові борони Catros (рис. 1.10) у навісному (робочою шириною від 3 до 6 м) та причіпному (від 3 до 12 м) варіантах. Висока робоча швидкість, відмінна якість дискування, надзвичайна продуктивність, відносно невелика витрата палива та незначне спрацювання деталей – ось головні характерні ознаки цієї машини.



Рис. 1.10 Компактні дискові борони Catros компанії AMAZONE.

Агрегати комплектують дисками Catros із гладенькими краями для поверхневого обробітку ґрунту, а також вирізними дисками Catros+ для більш агресивного обробітку та загортання у ґрунт великої кількості рослинних решток [10, 12]. Для передпосівного обробітку ґрунту під просапні культури дискові борони Catros можуть бути додатково обладнані штригелем – це сприяє формуванню дрібногрудкуватої структури ґрунту, а отже, створює чудові умови для сівби. Для проміжних культур борони з



жорсткою конструкцією можуть обладнувати пристроєм GreenDrill, який монтується на раму котка.

Вирізні диски Catros+ діаметром 510 мм вирізняються агресивною роботою та надійним заглибленням на встановлену глибину навіть на важких ґрунтах у посушливих умовах. Вони ефективні для обробки полів після збирання кукурудзи, ріпаку, багаторічних трав тощо. З дисками Catros+ можна проводити обробку ґрунту на глибину до 15 см.

Кут атаки передньої батареї дисків Catros становить  $17^\circ$ , а задньої –  $14^\circ$ . Це сприяє плавному переходу ґрунту та рослинних решток від передньої батареї дисків до задньої, і таким чином забезпечує якісне переміщення. На відміну від дисків із пологим розташуванням, на машинах Catros ґрунт та соломка переміщуються і знову вкладаються на поверхню поля під коток.

Шасі дискових агрегатів Catros розроблене таким чином, що вага як його передньої, так і задньої частин під час роботи переноситься на диски, що дає змогу навіть у важких ґрунтових умовах добре проникати дискам у ґрунт.

Ще одна особливість машин Catros – залежно від умов експлуатації та вибору користувачів їх можуть оснащувати шістьма різноманітними котками для зворотного ущільнення – трубчастим, тандемним, зубчастим, крипильним, кільчасто-різальним і гумово-клиновим. А на причіпних машинах серії Catros-T гумово-клиновий коток слугує як шасі під час транспортних переїзтів.

Український виробник сільськогосподарського обладнання – компанія LOZOVA MACHINERY (рис. 1.11) виготовляє короткі дискові борони «Дукат», які призначені для обробки стерні, подрібнення та загортання рослинних решток попередника, а також передпосівного обробки під сівбу зернових і зернобобових культур [10, 12]. Борони «Дукат» випускають у навісному, напівнавісному та причіпному варіантах, у восьми модифікаціях із робочою шириною захвату від 2,5 до 16,75 м. Максимальна глибина обробки становить до 14 см.



Рис. 1.12 Короткі дискові борони «Дукат» компанії LOZOVA MACHINERY

Вирізні диски мають діаметр 566 мм та товщину 6 мм, розташовані під оптимальними робочими кутами до вертикалі й до напрямку руху. Відстань між дисками становить 250 мм у ряду. Диски виготовлені зі спеціальної загартованої легованої сталі, насиченої бором, виробництва компанії Belotta. Кожен диск розташований на індивідуальній пружинній 3D-стійці. У конструкції машини немає дискових батарей із єдиною віссю, що дає змогу працювати в складніших умовах із більшою кількістю післяжнивних залишків. При цьому унеможливується забивання міждискового простору та намотування на вісь рослинних решток.

Розташовані перед рядами дисків і котками ряди пружинних зубців виконують роль регулювального органа, який вирівнює поверхню ґрунту й рівномірно розподіляє рослинні рештки поверхнею поля, а розташовані між рядами дисків відбивні щитки сприяють якісному кришінню ґрунту та перемішують його з рослинними рештками. Для точного дотримання глибини обробітку й належного прикочування слід дібрати відповідні котки.

Дискові борони «Дукат» працюють на робочій швидкості 10 – 17 км/год, а для їх аґрегативання потрібні трактори потужністю від 80 до 420 к.с.

# НУВІП УКРАЇНИ

## 1.2. Аналіз робочих органів дискових борін

Робочі органи дискових борін та лушильників в залежності від призначення, умов роботи, конструкції та форми поверхні діляться на окремі групи [10, 12, 39].

За призначенням дискові ґрунтообробні знаряддя бувають польові, садові та болотні. Польові дискові борони призначені для основного обробітку ґрунту після збирання попередньої культури та оброблення ґрунту після оранки. У сівозмінах із розривом за термінами від збирання попередньої до наступної культури застосовують легші ґрунтообробні знаряддя - дискові лушильники для обробки ґрунту на невелику глибину (4...6) см з метою збереження вологи від випаровування та отримання провокаційних сходів бур'янів.

Робочі органи таких знарядь характеризуються меншим діаметром, меншим навантаженням кожен диск, меншим радіусом кривизни сферичної поверхні диска, а також меншою відстанню між дисками в одному ряду порівняно з дисковими боронами, що можна пояснити меншим обсягом ґрунту, що переробляється лушильниками. Найбільш розповсюджені дискові ґрунтообробні знаряддя – дискові борони обладнані гладкими сферичними дисками з суцільним або вирізним лезом, дисками конічної форми та сферичними з гофрованою поверхнею на глибину занурення у ґрунт. Гладкі сферичні диски із суцільним лезом збільшеного діаметра (550...700 мм) застосовуються при обробітку ґрунту на глибину до 14 см та наявності на його поверхні великостеблових, ложневих залишків. І навпаки, диски меншого діаметра - при луценні ґрунту на глибину 4...6 см та наявності на поверхні ґрунту легких пожнивних залишків, як, наприклад, подрібненої соломки. Диски з суцільним лезом найповніше перерізають пожнивні залишки, але такі диски за певних умов (підвищена вологість та глибина



обробітку ґрунту) легше забиваються через появу явища протягування з втратою оборотів.

Вирізні диски навіть при відносно невеликих діаметрах надійно захоплюють поживні залишки і перерізають їх або переступають через них, легше заглиблюються в ґрунт і більш постійно знаходяться в зачепленні із щільним дном борозни, що сприяє збереженню обертів диска, отже, та виключення явища протягування та забивання борін ґрунтом та поживними залишками. Форма та розміри вирізів дисків бувають різні залежно від умов роботи.

Диски з вирізами на периферії отримали назву «ромашка». Перші диски типу «ромашка» встановлювалися на боронах батарейного типу БДТ-7, БДТ-3 і мали вирізи трапецеїдальної форми (рис. 1) [10, 12, 39].

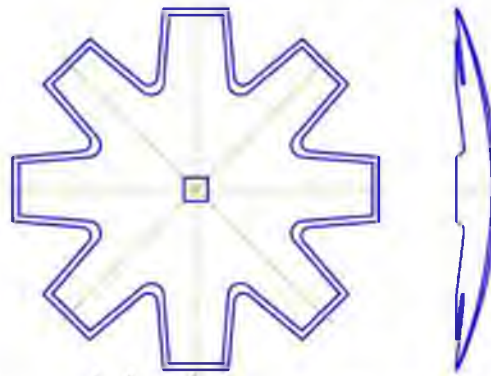


Рис. 1.14 Диск борони «ромашка» з трапецеїдальним вирізом

Згодом з'явилися диски з вирізами напівкруглої форми різних розмірів (рис.2). Диски з вирізами більшого розміру з заглибленням у диск до 30...60 мм (рис.2 а) призначені одночасно для перерізання поживних залишків та для забезпечення більш надійного зчеплення з ґрунтом. Диски ж з вирізами радіусом до 30 мм (рис.2 б) здебільшого призначені для забезпечення більш надійного обертання диска.

З метою забезпечення більш надійного обертання диска відповідно до поступальної швидкості агрегату та перерізання великостеблових поживних залишків (кукурудзи, соняшнику та ін) диски повинні мати асиметричні

вирізи, що забезпечують різання зі ковзанням (рис. 3) [10, 13, 39]. Ці диски мають вирізи, орієнтовані в бік центру диска, причому одна сторона вирізу до його вершини виконана радіально по прямій лінії. Інша частина вирізу, сполучаючись з радіусом диска, утворює лінійне, що забезпечує різання зі ковзанням поживних залишків, що потрапляють у виріз. Таким чином, наявність конструктивних елементів у вигляді вирізів диска дозволяє захопити та зарисувати стебло у ґрунті, забезпечити різання поживних залишків.

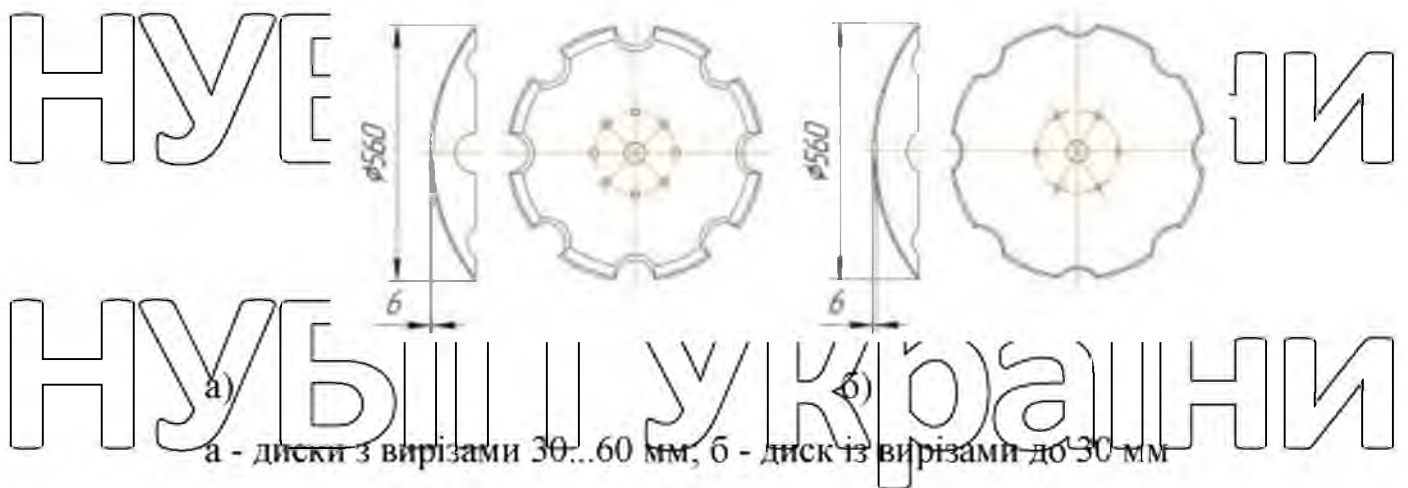


Рисунок 2. Диски з круглими вирізами на периферії диска

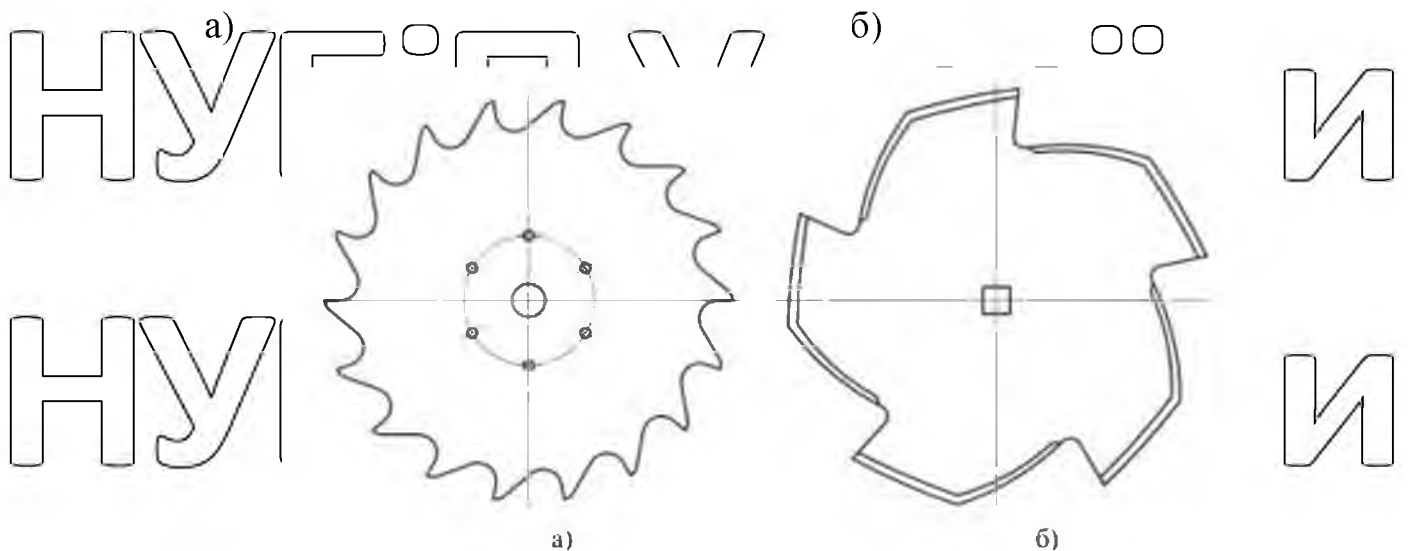


Рис. 1.15. Диски для обробки ґрунту та подрібнення великостеблових пропашних культур та чагарникових рослин

З аналогічними вирізами диски великого діаметру "ФЛЕО-ФЛЕО" фірми "Quivogne" (800...850 мм) (Рис. 36) застосовуються для обробки ґрунту на глибину до 20 см та подрібнення грубостебельних пожнивних залишків та чагарникових рослин [10, 12, 39].

Інтерес становлять диски конічної форми (рис. 4). У конічних дисків завжди зберігається робочий кут (кут нахилу до горизонталі щодо поверхні диска) при зносі. Такі диски легко заглиблюються в ґрунт, але погано подрібнюють його у міру збільшення глибини обробки.

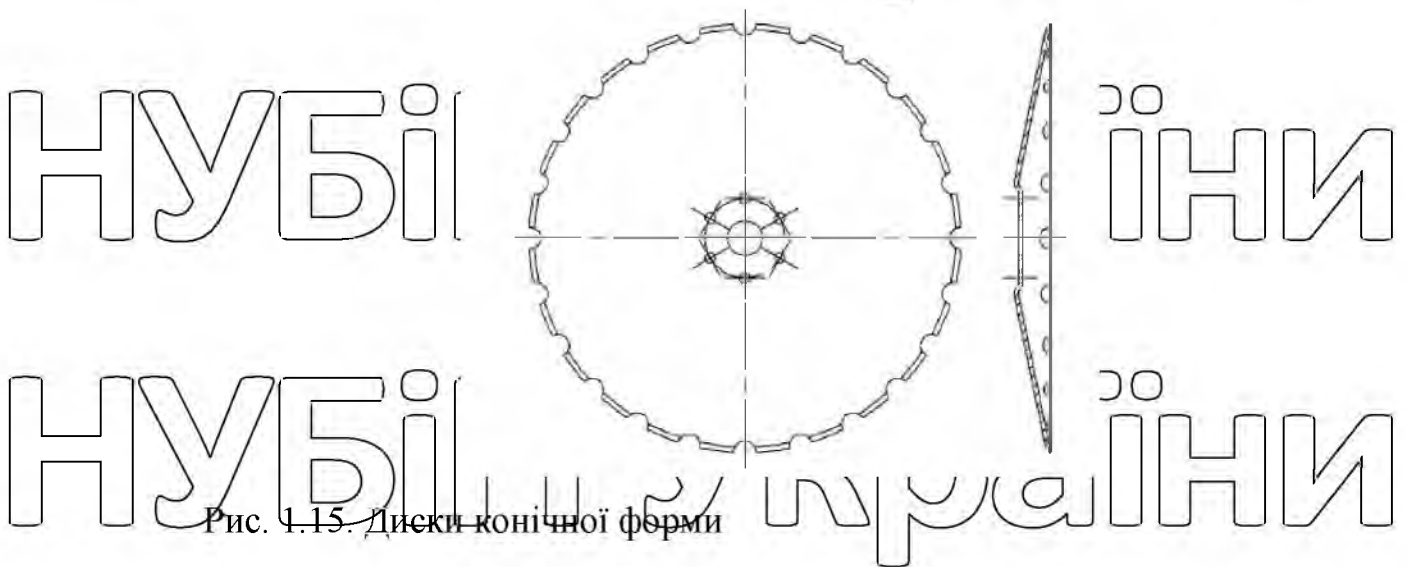


Рис. 1.15. Диски конічної форми

Тому конічні диски у поєднанні з іншими робочими органами з підвищеними властивостями до подрібнення, показують хороші результати. Диски діаметром 430 мм широко застосовуються на дискових боронах Case і та в комбінованих агрегатах фірми Vaderstad (Швеція), а також на боронах Qualidisk фірми Kverneland Group діаметром 573 мм.

З метою більш інтенсивного подрібнення пожнивних залишків, подрібнення ґрунту та їх перемішування деякі зарубіжні фірми застосовують на дискових боронах сферичні диски з рифленим лезом (рис. 1.15). Диски такого типу випускають фірми Krause та Kuhn та під назвою А-диски (фірма Bednar Strom).



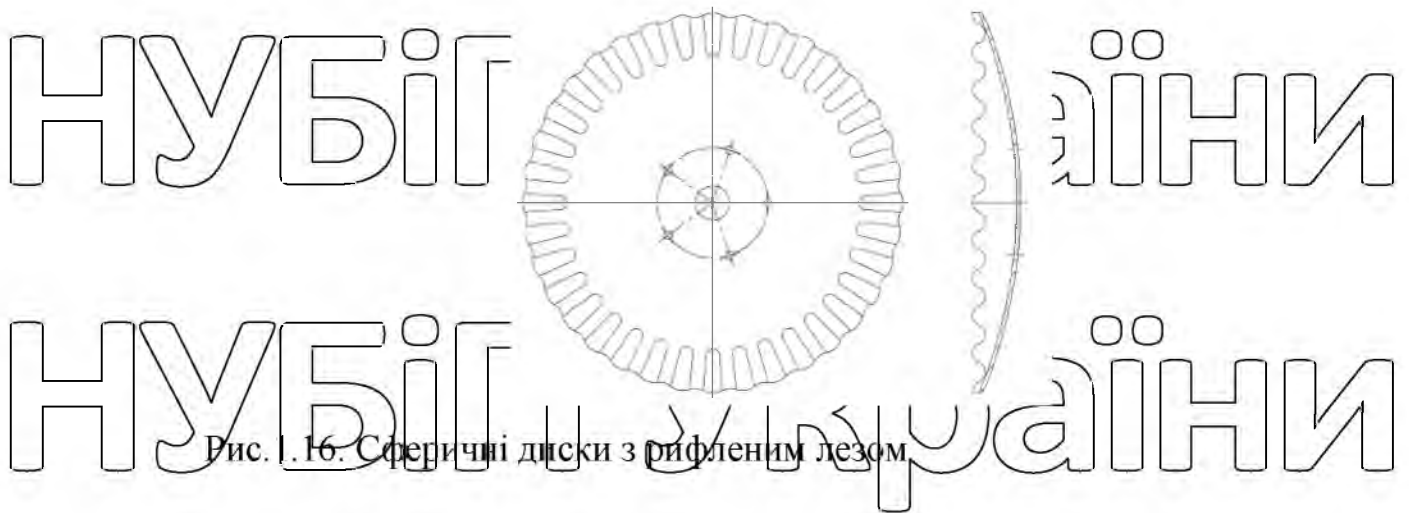


Рис. 1.16. Сферичні диски з рифленим лезом.

Відома також і вітчизняна технологія (рис.6) сферичного дискового робочого органу, периферійна частина поверхні якого виконана хвилястою для забезпечення плавного повторюваних змін кута атаки від його вихідного значення [2]. Хвиля диска, починаючи з ріжучої кромки, зменшується до

центру диска з переходом у сферу. Обробка таким робочим органом має забезпечити підвищення якості обробітку ґрунту при зниженні енергоємності.

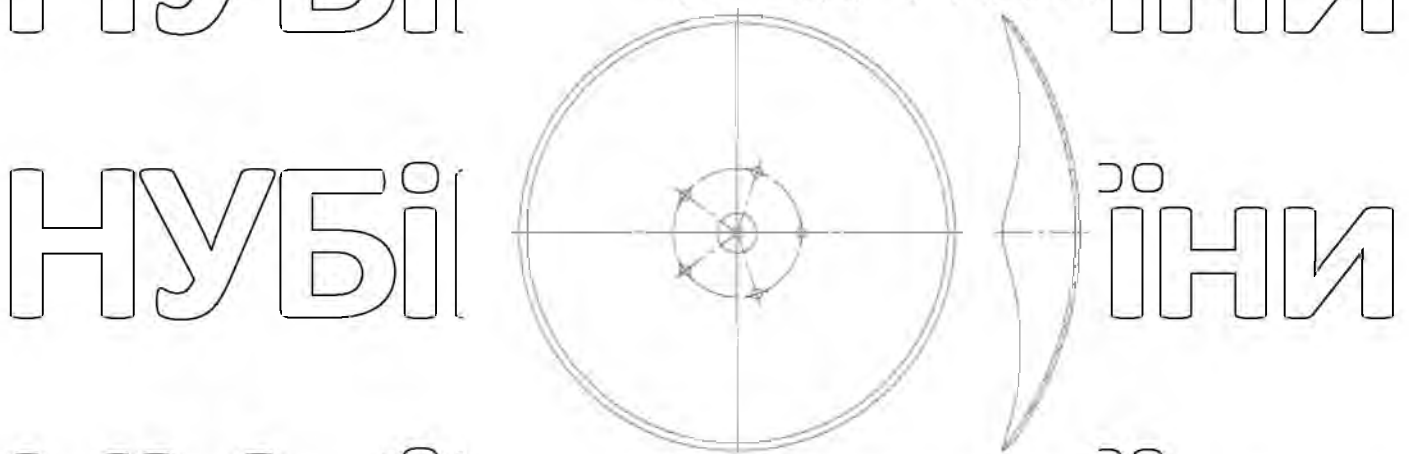


Рис. 1.17. Сферичний диск зі змінним кутом атаки

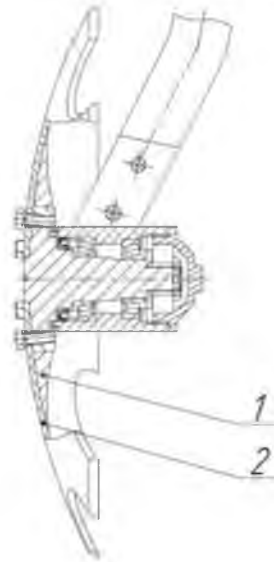
Загальним недоліком усіх сферичних дисків є утворення потиличного тиску на лезо при зовнішній заточці і опуклу зовнішню сферу, особливо на малих та середніх кутах атаки, що є однією із причин порушення курсової стійкості дискової брони. У цілях усунення цього недоліку пропонується дискові робочі органи з більш складною зовнішньою та внутрішньою

поверхнею. При збільшенні кривизни диска та зменшенні радіусу сфери грунт краще подрібнюється і інтенсивніше переміщується з подрібненими поживними залишками.

Однак при цьому заглиблюваність погіршується, знижується технологічна надійність. Збільшення ж внутрішнього радіусу сфери хоч і підвищує заглиблюваність, але знижується подрібнюваність ґрунту. Бажання поєднати в одному диску всі необхідні параметри - гарне заглиблення, підвищений ступінь подрібнення ґрунту та стійкість диска, призвело до необхідності розробки нового диска зі змінним радіусом сфери від леза диска

до центру (рис. 7) [4]. Такий диск має периферійну частину сфери яка на ділянці максимального заглиблення диска у ґрунт виконана за великим радіусом, а далі до центру зменшується по спіралі Архімеда чи іншого закону з плавним зменшенням радіусу. У центральній частині диска передбачено

майданчик для кріплення диска до корпусу підшипникового вузла. Кільце 1 у поєднанні з внутрішньою поверхнею сфери диска 2 забезпечує отримання нової поверхні, яка являє собою кільцевий криволінійний жолоб навколо підшипникового вузла при його встановленні на внутрішній сфері диска.



1 – кільце; 2 – диск

Рис. 1.17. Сферичний диск із плаваючим радіусом кривизни

Цей кільцевий жолоб залежно від висоти кільця та форми його перерізу забезпечує нову траєкторію обороту пласта з зменшенням радіусом кривизни та підвищенням подрібнення ґрунту. Кільце  $\Delta$  змінне та може бути підібрано залежно від типу ґрунту та його стану.

Набуття форми внутрішньої поверхні диска може мати різне конструктивне виконання.

До основних технологічних параметрів робочих органів дискових борін і лушильників, які забезпечують якість обробки ґрунту відповідно до вихідних вимог, високу технологічну надійність та ефективність відносяться діаметр диска  $D$  та радіус кривизни сфери диска  $R$ . Від значення цих параметрів залежить багато технологічних показників роботи дискових борін та лушильників: якість подрібнення ґрунту, заглибленість, подрібнення та загорання поживних залишків, технологічна надійність, ширина захоплення диска. Порядок розрахунку параметрів дисків залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, культур попередників, способу їх прибирання, що визначають умови роботи, технології підготовки ґрунту під наступну культуру, що визначає вихідні агротехнічні вимоги, а також від технологічної схеми борін та лушильників.

Залежно від умов роботи та вихідних вимог визначаються першочергові вимоги до якісних та експлуатаційних показників роботи пристроїв. З урахуванням цих вимог вибирають діапазон значень параметрів дисків, які коригуються під час розгляду інших показників. У науковій літературі зустрічається велика кількість аналітичних залежностей значень параметрів дисків та їх орієнтації у ґрунті від показників, що характеризують умови роботи, які супроводжуються експериментально підтвердженими даними.

Але, на жаль, у більшості випадків ці результати далеко не відтворюються на практиці через умови роботи, що постійно змінюються.

Підсумовуючи вищевикладене, слід зазначити, що вибір параметрів дисків для борін та лушильників вимагає комплексного підходу.

Незважаючи на безліч різних типів дискових робочих органів, все ж таки найбільш поширеними залишаються сферичні диски.

Класичний розрахунок параметрів таких дисків [10, 39] не позбавлений недоліків, але й досі залишається найбільш підходящою з пропонованих теорій для прогнозування геометричних параметрів диска на першому етапі проектування.

Усі геометричні параметри сферичних дисків взаємозалежні та спільно визначають його якісні та енергетичні показники.

У зв'язку з неоднорідністю оброблюваного середовища - ґрунту, рекомендовані значення всіх параметрів дисків мають переважно інтервальний характер. Послідовність визначення параметрів дисків за різних схем їх розміщення відрізняється.

Якщо прийняти, що слабкою ланкою для однорядних або дворядних дискових борін і луцильників батареиноного типу із синхронним обертанням дисків є забиваність міждискового простору, спочатку потрібно вибрати параметри, від яких залежить цей показник. Відомо, що забиваність дискових борін та луцильників залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, його вологості, наявності пожнивних залишків, діаметра диска, радіусу його сфери, міждискової відстані батареї, глибини обробки ґрунту та кута атаки дисків.

Як уже було зазначено, кожному поєднанню умов роботи відповідають оптимальні параметри дисків. Однак велику частину параметрів неможливо регулювати в залежності від поточних умов. До них потрібно віднести такі параметри, як діаметр диска, його радіус сфери та кути загочування. Кут атаки диска та глибину обробки ґрунту слід віднести до регульованих параметрів. З обліком викладеної структури факторів, що визначають забивання борін і луцильників, слід провести попередні дослідження при найскладнішому поєднанні умов роботи. Базовий рівень діаметра диск можна прийняти на основі попередніх розрахунків.

А для дискових лушильників питання заклинювання ґрунту між дисками не становить небезпеку через невелику глибину обробітку ґрунту, а, отже, і невеликий обсяг переробленого ґрунту. Отже, для борін та лушильників з індивідуальним кріпленням дисків до рами слід вибирати діаметр диска з інших принципів. У цьому випадку головним показником виступає здатність диска перерізати пожнивні залишки. У будь-якому випадку діаметр диска слід вибирати мінімально допустимим, тому що від нього залежить заглиблюваність. При роботі сферичного невірзного диска можливі випадки, коли пожнивні залишки, наприклад стрижень кукурудзи, виштовхується з кута, утвореного поверхнею поля та лезом диска. Щоб виключити таке явище необхідно збільшити діаметр диска [10, 12, 39]. Для того щоб вирішити ситуацію що складається у виборі діаметра диска, необхідно знову ставити експерименти щодо вибору оптимального діаметра диска з урахуванням інтересів заглиблення та перерізання пожнивних залишків без їх завантаження перед бороною з урахуванням умов обробки ґрунту. Однак для встановлення області постановки дослідів слід попередньо керуватися рекомендаціями щодо діаметру дисків, виробленими раніше за умов колишніх технологій. Одночасно необхідно в цьому ж досвіді визначити відстань менаду рядами дисків.

При цьому необхідно для кожної ґрунтової умови випробувати диски різної конструкції: диски з гладким лезом без вирізів, з вирізами різної конфігурації, у тому числі з постійним кутом різання та ін.

Вибір інших параметрів дисків для борін та лушильників з індивідуальним кріпленням робочих органів та знарядь багаторейного типу практично однакові.

І, нарешті, вибір типу та параметрів дисків, а також їх розміщення в обов'язковому порядку необхідно супроводжувати випробуванням у самих екстремальних ґрунтових умовах. Такі умови справді рідко бувають, але не слід забувати, що і в цих поодиноких випадках необхідно підготувати ґрунт і посіяти наступну по сівозміні культуру своєчасно.

Кут атаки диска  $\alpha$ , його кут нахилу до вертикалі  $\beta$  та швидкість обробітку ґрунту  $V$  мають важливе самостійне значення у підвищенні багатьох якісних та техніко-економічних показників дискових борін та лушильників.

При застосуванні дискових знарядь раніше у всіх рекомендаціях відзначали швидкість 6...7 км/год. як найбільш оптимальну. Однак тоді застосовували дискові знаряддя в основному тільки для оброблення ораного ґрунту. У сучасних технологіях їх застосовують для основної обробки ґрунту.

Результати проведених досліджень показують, що за підвищення поступальної швидкості сферичних дисків значно підвищується і тяговий опір [7]. Так, при  $\alpha = 15^\circ$  підвищення швидкості від 58 до 108 км/год, тобто в 1,86 рази, викликає зростання тягового опору дисків від 40 до 80%, а за  $\alpha = 30^\circ$  на 25...65 %. Це означає, що зростання тягового опору відстає від зростання швидкості.

І вже навіть по одному цьому показнику є сенс підвищення швидкості обробки ґрунтів на підвищених швидкостях.

Професора Г.М. Синєков та І.М. Панов зазначають, що «зі збільшенням швидкості руху трактора різко зростає дальність відкидання дисками ґрунту,

тому швидкість руху дискових плугів та лушильників не повинна перевищувати 7 км/год» [5]. Але ця проблема вже вирішена на сучасних дискових знаряддях. На них встановлюються відбивачі ґрунтових грудок, що

відбиваються від дисків під час роботи на великих швидкостях, які не тільки перешкоджають відкидання ґрунту хаотично в різні боки, але і ще,

ударяючись об відбивач, додатково кришаться. Помічено також, що при обробці на підвищених швидкостях ступінь подрібнення ґрунту

підвищується, знижуються технологічні простой через забивання знарядь.

Вибір кута атаки є відповідальним етапом розробки вихідних даних для проектування борін та лушильників. Діапазон регулювання кута атаки

широкий. Так, для дискових лушильників він ставить 30...40°, у дискових борін - трохи більше 25°. На дискових боронах зарубіжного виробництва та деяких вітчизняних моделях кут атаки не регулюється та становить 18...20°.

Від кута атаки залежить не тільки ступінь подрібнення ґрунту, але й ширина захвату диска та ступінь перемішування ґрунту та поживних залишків. Усі ці показники підвищуються зі збільшенням кута атаки. Але залежно від геометричних параметрів дисків зі збільшенням кута атаки знижується кутова швидкість диска, починається волочіння і, як наслідок, забивання міждискowego простору ґрунтом та поживними залишками. При обробці ґрунту вертикально стоячим диском ґрунт сприймає в основному деформації зсуву, піднімається на невелику висоту, погано перемішується з поживними залишками і все це посилюється при обробці ґрунту на велику глибину плугом. Кут нахилу дисків до вертикалі раніше рекомендували лише для дискових плугів. При нахилі диска полегшується підйом пласта та знижується тяговий опір.

### 1.3. Характеристика відмов деталей і вузлів дискових борін

Досвід використання показує, що зношування деталей та вузлів дискових борін відбувається під час експлуатації в ґрунті, склад та властивості якого визначають інтенсивність та характер їх зношування. Найістотніший вплив при цьому має абразивне зношування в поєднанні із ударними навантаженнями. Останні періодично можуть змінюватися від деякого найбільшого значення до найменшого, і в такому випадку має місце циклічна зміна навантаження, що може зумовити втомне руйнування [7, 8, 57].

Характерною відмовою і основною причиною вибракування дискових агрегатів є зношування їх поверхні за зовнішнім діаметром та місця контакту із кільцевою прокладкою. Причиною спрацювання, окрім абразивного зношення, є також корозія.

Аналіз механізму зношування дискових робочих органів ґрунтообробних машин свідчить, що його природа має механічний, фізичний та хімічний характер. Причиною механічного спрацювання є специфічна



взаємодія металу з абразивними частинками ґрунтової маси. Останні з великою відносною швидкістю ковзають по поверхні деталі з певним зусиллям, яке залежить від розмірів та густини абразивної маси. Окрім цього, ці частинки вдавлюються в метал диска і спричиняють умови для утворення та розвитку дефектів на його поверхні.

Випробовування деталей дискових агрегатів на полях з середньо вологими чорноземними ґрунтами, показали, що між інтенсивністю їх спрацювання та площею обробленого ґрунту має місце майже лінійна залежність [24].

До того ж, відносно невеликий термін експлуатації дискових робочих органів ґрунтообробної техніки зумовлює необхідність виготовлення їх у великій кількості, як для запасних частин так і заміни спрацьованих. Звідси можна відмітити, що на даний час агротехнічна галузь України щорічно потребує до 3 млн. нових дисків, загальною вартістю близько 115 млн. грн. Для виготовлення таких дисків необхідно майже 5,4 тис. т листової сталі 65Г.

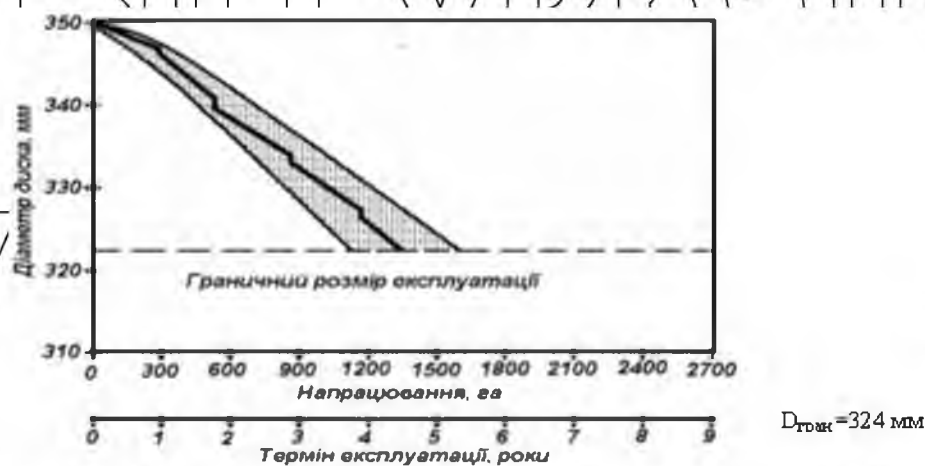


Рис. 1.18. Динаміка зміни зовнішнього діаметра серійного диска залежно від напрацювання

Крім абразивного спрацювання, яке неминуче під час виконання технологічного процесу механічного обробітку ґрунту, дискові агрегати отримують додаткове послаблення поверхні внаслідок утворення шару іржі за неналежної підготовки до зберігання [38]. Явище ґрунтової корозії є



електрохімічним процесом і відбувається за наявності вологості та розчинених солей. З дефектів сферичних дискових агрегатів слід виділити розробку, округлення квадратних отворів, виникнення тріщин.

Отже, проблема підвищення надійності та ремонту деталей та вузлів дискових агрегатів ґрунтообробних машин є актуальною на сьогоднішній день. Важливість цього питання та застосування невідкладних заходів щодо його вирішення відмічено в Державній науково-технічній програмі «Підвищення надійності та довговічності машин і конструкцій».

#### 1.4. Аналіз методів забезпечення працездатності дискових борін

Тонкі плоскі деталі у вигляді робочих органів ґрунтообробних та збиральних машин, а саме: леміш плугів, лапи культиваторів, диски лушпильників, ножі-ботворизи та інші, працюють в умовах абразивного зносу та значних статичних та динамічних навантажень. Ці деталі повинні мати високу міцність та зносостійкість [17, 43, 44], однак у процесі роботи відбувається безперервна взаємодія металу з ґрунтом та рослинами, що, у свою чергу, веде до затуплення леза.

Для забезпечення ріжучих властивостей у процесі експлуатації робочі органи повинні зазнавати самозаточування. Найкращим чином цим умовам відповідають біметалічні (двошарові) робочі деталі, міцність яких забезпечується основним матеріалом, з якого виготовлено робочий орган, а зносостійкість і самозагострення – плакувальним шаром, нанесеним на основний метал.

Самозаточування залежить від співвідношення товщини та зносостійкості основного та плакуючого шарів [11, 17, ]. Для зміцнення робочих органів застосовують різні способи наплавлення: електроконтактну, плазмову, електродугову, плакування вибухом, індукційною та іншими методами зміцнення [40-47]. Відомий спосіб наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин з використанням електроконтактного

зміцнення [39, 41, 43]. При цьому способом присадним матеріалом можуть бути порошки, дроту та стрічки.

Суть технології полягає у нанесенні на поверхню деталі шару порошкоподібного зносостійкого твердого матеріалу (шихти), стрічки та дроту з подальшим їх нагріванням до температури, при якій відбувається їх спікання та забезпечення міцного дифузійного зв'язку з деталлю. Дана технологія застосовується при зміцненні дискових ножів ґрунтообробних машин, які повинні мати зносостійку ріжучу крайку та самозаточуватись у процесі експлуатації.

На рис. 1.19 наведені дискові ножі, наплавлені твердим порошкоподібним сплавом електроконтактним способом для приварювання стрічки до диска лущильника [1, 12].

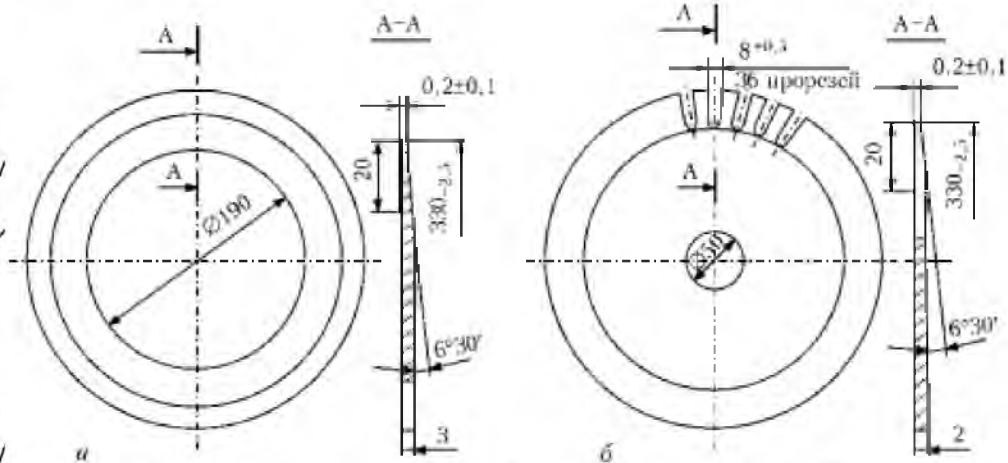


Рис. 1.19. Дискові ножі, наплавлені твердим порошкоподібним сплавом електроконтактним способом для приварювання стрічки до диска лущильника

У статті [47] запропоновано технологічний процес електроконтактного наплавлення робочого органу ґрунтообробної техніки порошковим дротом сегментного поперечного перерізу. У цьому випадку процес наплавлення порошковим дротом протікає у дві стадії: холодне ущільнення порошкового осердя і, як наслідок, деформація присадних матеріалів у зоні контакту з деталлю; сам процес наплавлення, при якому забезпечується нагрівання порошкового дроту на вершині сегмента, в зоні інтенсивного

тепловиділення, поширення деформації на периферійні зони, плавлення та приварювання оболонки до основи з одночасним спіканням порошкового сердечника і як наслідок, деформація присадних матеріалів у зоні контакту з деталлю, сам процес наплавлення, при якому забезпечується нагрівання порошкового дроту на вершині сегмента, в зоні інтенсивного тепловиділення, поширення деформації на периферійні зони, плавлення та приварювання оболонки до основи з одночасним спіканням порошкового сердечника.

Основними перевагами даного способу є відсутність проплавлення основного металу, мінімальні деформації наплавлених деталей, можливість наплавлення шарів малої товщини, велика швидкість нагрівання, яка може досягати кількох тисяч градусів за секунду. Недоліками є низька продуктивність процесу, відсутність у серійному виробництві обладнання та нестабільна якість наплавленого металу, а також складність виготовлення порошкового дроту сегментного перерізу.

Для отримання біметалічних робочих органів, а саме дисків лушильників, пропонується застосовувати спосіб електроконтактного плакування стійкою до зношування стрічкою [39]. Для забезпечення заданої міцності та пружності дискові ножі перед плакуванням піддаються об'ємному гартуванню та відпустці. Окалина, яка утворюється в процесі прокатки та термообробки, видаляється травленням у 20%-му розчині сірчаної кислоти з додаванням 1% інгібітора ОП-1 підігрітого до температури 70 °С. Після травлення, промивання та сушіння диск вважається придатним до плакування стрічкою.

Основними недоліками цього способу є велика трудомісткість підготовчих робіт, складності виготовлення стрічки з високостійких до зношування сплавів, низька міцність зварних шарів.

З метою зміцнення робочих поверхонь різних плоских деталей, у тому числі робочих органів дискових борін, використовують методи плакування вибухом та прокаткою [15]. До переваг плакування вибухом відносять високу

швидкість процесу, можливість отримання з'єднання металів, які є іншими способами отримати неможливо чи складно; відносно простої технології (відсутності необхідності застосування складного устаткування) [15].

У Чехії технологію наплавлення вибухом використовували при виробництві біметалічних ножів та інших плоских деталей. Порівняно з традиційним металургійним способом диварного плакування застосування наплавлення вибухом технічно та економічно обгрунтовано.

В ІЕЗ ім. Е. О. Патона розроблено та випробувано спосіб отримання стійкого до зносу біметалу при прокатці пакетів з порошком ПГ-С1 [53], що базується на принципі авто-вакуумного зварювання тиском. У роботі [54] цей спосіб був застосований для отримання інструментального біметалу з шаром плакуючого порошку ПР 10Р6М5. Основним недоліком способу є складання пакета великих розмірів, пов'язане з необхідністю ущільнення порошку для створення мінімального об'єму повітря у порожнині пакета, що усувається за допомогою попереднього пресування порошку.

У роботі [43] показано, що при отриманні біметалічного профілю для робочих органів ґрунтообробних машин порошок плакуючого шару ПГ-С1 попередньо компактували методом гарячого газостатичного пресування,

Загальний вид установки для приварювання стрічки до диска шлицьника на базі модернізованої машини МШПР300/1200 [1].

У роботах [35-47] описано технологію плазмової наплавки, яку застосовують при виготовленні багатолезових металорізальних інструментів (кінцевих фрез тощо), а також різальних кромek дискових та плоских ножів різного призначення. Як матеріали для наплавки використовують порошки швидкорізальних сталей, а також силавів, що містять ванадій.

Цей процес наплавлення дозволяє порівняно легко регулювати енергетичні, теплові та газодинамічні параметри струменя плазми у широких діапазонах, що в результаті дозволяє отримати наплавлений шар із заданими фізико-хімічними та механічними властивостями.

Для підвищення експлуатаційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин (ножів-ботворезів, лемешів плугів та інших деталей) Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України запропоновано точкове зміцнення за допомогою дугової наплавки порошковим дротом ПП-АН170 [47]. Висота зміцнювальної точки становить 1-3 мм, а глибина проплавлення основного металу 2-4 мм. Наплавка складає зворотної полярності. Глибина проплавлення при точковому зміцненні регулюється зміною сили струму, напруги та часу горіння дуги.

У роботах [43-47] запропоновано технологію зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап способом локального зміцнення. Суть даного методу полягає в тому, що на зовнішню поверхню лапи наносять валики за допомогою дугового наплавки з кроком 40 мм під кутом нахилу 25° до леза лапи. Недоліком даного способу є великі трудові витрати та нерівномірність нанесення валиків, що залежить від кваліфікації зварювальника.

Відома також технологія підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин науглероджуванням поверхневого шару вугільним електродом [51]. Суть способу полягає в тому, що при контакті вугільного електрода з деталлю в результаті іскрового розряду вугілець електрода перетворюється на основний метал, утворюючи на його поверхні шар цементиту, твердість якого значно вища за основний метал.

Розроблено також інші способи зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. До них відносяться наплавка за допомогою електронного прискорювача [28], лазерна наплавка [29-31] та ін. Однак через складність технології та відсутність обладнання, його недосконалості та високої вартості ці процеси поки що не знайшли промислового застосування.

Для зміцнення тонких плоских деталей, у тому числі робочих органів деталей сільськогосподарських машин, що широко використовують індукційний спосіб наплавки.

У роботах [32–34] запропоновано технологію одночасної індукційного наплавлення тонких фасонних дисків по всій робочій поверхні. Для наплавлення використовують спеціальну шихту, що складається з суміші зносостійкого порошкоподібного твердого сплаву флюсу. Шихту наносять на поверхню деталі у вигляді шару необхідної товщини (рис. 1.20). Після цього деталь вводять в індуктор (рис. 1.20), джерелом живлення якого є високочастотний генератор. При проходженні високої струмів частоти через індуктор у поверхневих шарах деталі, що підлягає наплавленню, наводяться вихрові струми, які розігрівають деталь, а від неї поверхні плавиться шихта [54]. До переваг способу відносять: можливість наплавлення тонких шарів, висока продуктивність, можливість механізації та автоматизації процесу. Недоліками є висока енергоємність, перегрів основного металу.

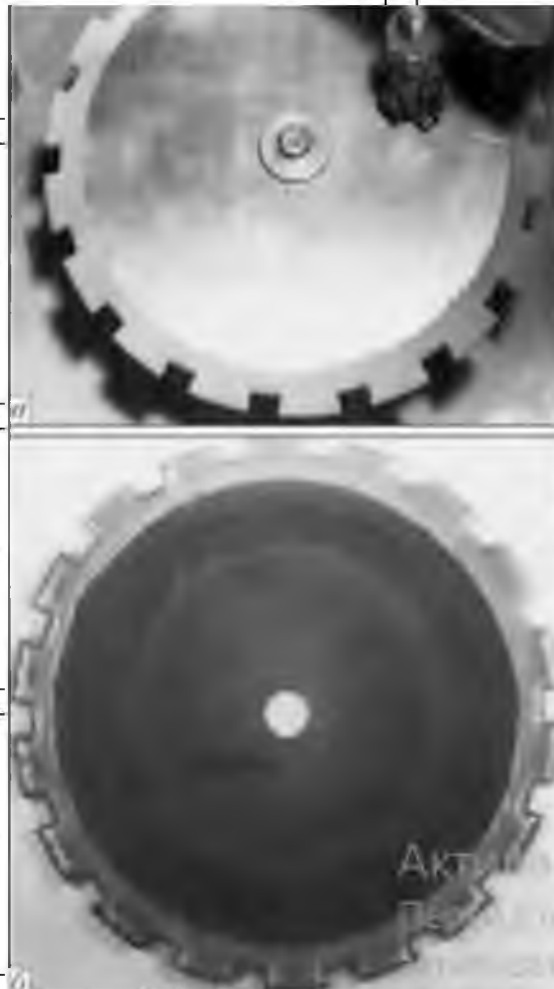


Рис. 1.20. Пристрій для засипання шихти (а) та наплавлений диск.

Незважаючи на зазначене вище, на підприємствах, що випускають сільськогосподарську техніку, плуги, лушпильники, лапи культиваторів та ін. спосіб є найпоширенішим.

### 1.5. Підсумки розділу та задачі дослідження

Таким чином, аналіз сучасних методів наплавлення показав, що для тонких плоских деталей ґрунтообробних сільськогосподарських машин, у тому числі і дисків, товщиною основного металу та напавленого шару відповідно  $2 \square 6$  та  $0,8 \square 2,0$  мм, найбільш поширеним і перспективним є індукційне напавлення без переміщування основного металу з напавленням. Цей метод є найбільш технологічним у зв'язку з використанням нескладного обладнання, простотою процесу напавлення, не вимагає високої кваліфікації робітників-напавників, можливістю механізації та автоматизації процесу (що важливо в умовах серійного виробництва). Він постійно вдосконалюється у напрямі підвищення продуктивності, зносостійкості, стабільності товщини шару напавленого металу, економії електроенергії, а також зниження деформації деталей.

Відновлення та ремонт дискових робочих органів, повторний їх продаж на ринку за порівняно нижчими цінами створить споживачу можливість для вільного вибору між придобанням нових чи відновлених дискових робочих органів та частково обмежить монополію виробника технічних засобів.

На основі виконаного аналізу проблем ремонту дискових робочих органів ґрунтообробної техніки та забезпечення якості зварного з'єднання сформульовано та основні задачі магістерської роботи.

## Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДИСКОВИХ АГРЕГАТІВ

### 2.1. Дисккові агрегати ґрунтообробних машин як складні системи

Сучасні сільськогосподарські машини складаються з різноманітних вузлів, в яких використовуються механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, радіоелектронні вузли та пристрої з властивими їм специфічними властивостями та умовами роботи. Вихід машин з ладу обумовлений багатьма причинами - зносом, втомою металу, корозійними ушкодженнями, раптовими поломками в результаті динамічних навантажень, які мають випадковий характер [10, 19, 27, 55].

При аналізі факторів, що впливають на надійність машин, розрізняють фактори суб'єктивні та об'єктивні. Об'єктивні – це вплив навколишнього середовища, механічні, фізичні, хімічні (зношування, старіння, температура, навантаження, деформації та ін.). Суб'єктивні залежить від діяльності. Це вибір схеми та конструкційного рішення при проектуванні; встановлення елементів, що входять до машини; вибір матеріалів; призначення режимів нормальної експлуатації; організація ТО та ремонту; вибір режимів обкатки та випробування машин; обґрунтування та розробка технологічних процесів на виготовлення або ремонт деталей та складання машин.

Оскільки час прояву відмови під час експлуатації машин та час на його сунення є випадковими подіями, то завдання визначення кількісних показників надійності вимагає операції із випадковими величинами, випадковими функціями і, отже, базується на застосуванні методів теорії ймовірностей та математичної статистики. Наукова цінність теорії ймовірностей полягає в тому, що вона дає правила, за якими ймовірності складних подій можна визначити за допомогою ймовірностей простих подій, що обчислюються значно легше на основі досвіду або деяких теоретичних міркувань. Практичний інтерес представляє фактичний рівень надійності, шляхи забезпечення їх працездатності, основні підсистеми та елементи, які



лімітують їх надійність. Для аналізу з позицій надійності взято дисковий агрегат БДУ-3,5, схема забезпечення надійності якого представлена на рисунку [1, 2, 35].

Питаннями надійності технічних систем і комплексів присвячена значна кількість досліджень, які охоплюють як системи, які відновлюються, так і ті, що не відновлюються [35].

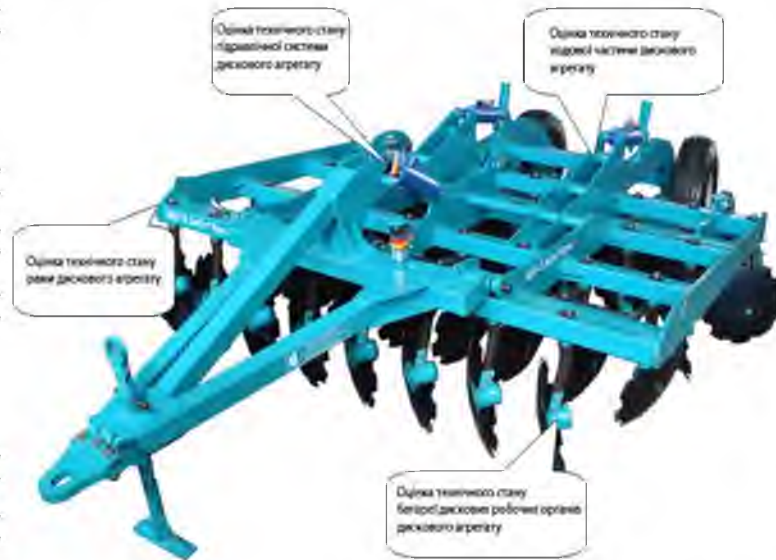


Рис. 2.1 Схема забезпечення структурної надійності дискової борони

БДУ-3,5

Необхідність дослідження питань забезпечення надійності дискової борони БДУ-3,5 підтверджується наступними положеннями:

1. Постійне ускладнення деталей та вузлів дискових агрегатів ґрунтообробних машин для підвищення їх багатопроцесорності і продуктивності вказує на необхідність звернення особливої уваги на проблемі забезпечення їх надійності в стадії проектування.
2. Скорочення термінів проектування та зменшення фінансування розробок виключають можливість використання в повному обсязі результатів випробувань і результатів багаторічної експлуатації машин.

3. Необхідність врахування людського фактору при експлуатації складних машин та їх комплексів, якими є сучасні дискові агрегати в умовах обмеженості часу на прийняття рішення, потреба в детальному аналізі системи „агрегат - механік”.

4. Використання позитивних результатів основних положень теорії і практики надійності складних технічних систем, які досягнуті за останнє десятиріччя в розвинутих галузях промисловості.

Одним із основних показників надійності є формулювання відмови.

Порушення працездатності машин виникає через відмов та несправностей, що викликаються різними факторами конструктивного, технологічного, виробничого та ремонтний характер. Вплив цих факторів на технічний стан дискового агрегату взаємопов'язані. Відмови агрегату у процесі експлуатації виникають з причин втоми матеріалу, корозійного руйнування, зношування поверхонь тертя деталей, руйнування деталей через випадкових навантажень.

Облік та аналіз відмов машин має велике практичне значення.

Точна інформація про відмови дискового агрегату дає можливість кількісно оцінити безвідмовність машини. Відомості про відмови, викликані руйнуванням деталей, дозволяють оцінити довговічність машини та уточнити норми витрати запасних частин, дані про трудомісткість, тривалість та вартість ТО та ремонту, оцінити ремонтпридатність машини.

Сукупність усіх цих відомостей дає об'єктивне уявлення про надійність та дозволяє розробити заходи щодо її підвищення. Відмови машин різноманітні з причин, характеру прояви та наслідків. Причинами відмов є зміни властивостей в елементах машин – випадкові, поодинокі чи систематичні. Поодинокі причини – це результат, наприклад, прихованих дефектів у деталях, несподіваних перевантажень, що перевершують розрахункові, випадкових помилок механізатора та ін.

Зазначені причини викликають відмови, що не повторюються в різних примірниках машин. Систематичні зміни відображають повторювані процеси, що призводять до того самого механізму відмови.

Послідовність оцінки і розрахунку рівня надійності дискової борони зводиться до наступних етапів:

- встановлюються умови експлуатації системи, підсистем та елементів;

- виявляються основні відмови та причини, що призводять до їх виникнення, втрати справності та працездатності;

- формуються показники кількісної оцінки, що характеризують роботу елементів, підсистем і системи в цілому;

- складна технічна система розкладається на окремі підсистеми і елементи;

- складаються структурні схеми надійності складних технічних систем;

- визначаються основні показники надійності елементів і підсистем;

- оцінюються ймовірності станів системи в залежності від станів окремих елементів і підсистем;

- проводиться загальна оцінка показників надійності системи.

Для реалізації технологічного процесу обробітку ґрунту дисковим агрегатом і забезпечення при цьому необхідного рівня працездатності, складається структурна схема надійності машини, як технічної системи.

Розглянемо дисковий агрегат БДУ-3,5, як складну систему, яка складається з чотирьох підсистем, що мають між собою певний взаємозв'язок.

Структурно з позицій забезпечення надійності функціонування дисковий агрегат можна представити у вигляді наступної блок-схеми:

батарея дисків, ходова частина, гідравлічна система, рама агрегату.

Представлене з'єднання характерне для більшості механічних систем і є відображенням взаємозв'язку між основними складовими машини і надійністю виконання технологічних операцій.

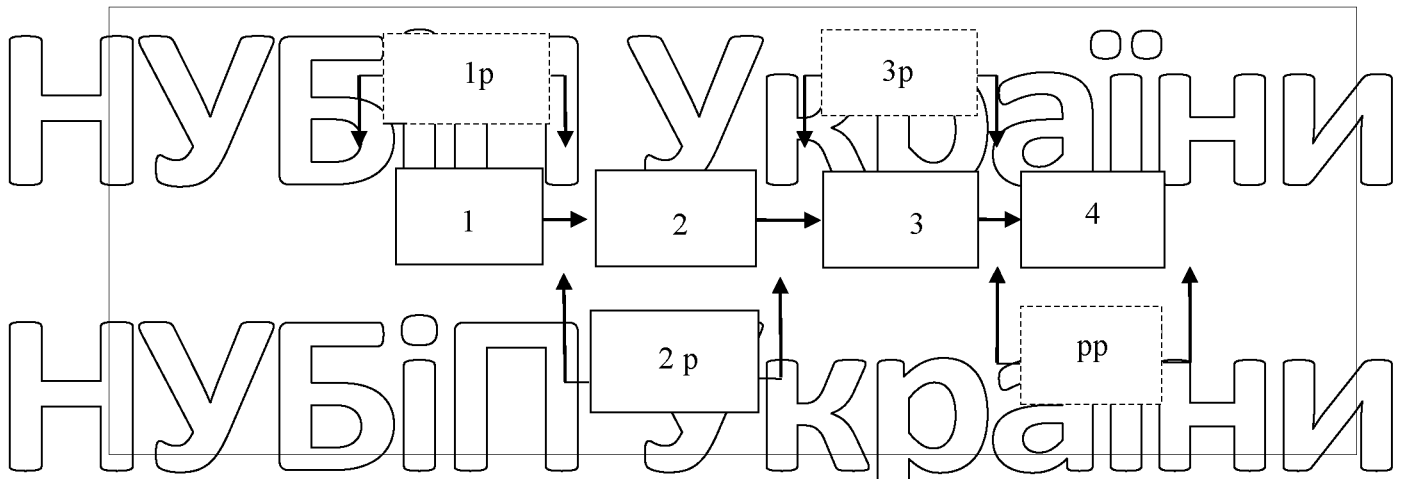


Рис. 2.2 Структурна схема резервування дискового агрегату як системи:

1- батарея дисків; 2 – ходова частина; 3 – гідравлічна система; 4 - рама агрегату.

Для даної структурної схеми системи 1/1 – 2/2 – 3/3 – 4 дискового агрегату ймовірність безвідмовної роботи протягом певного часу дорівнює:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot P_4(t) \quad (2.1)$$

У відповідності з даними, які були отримані в процесі експлуатації системи по ймовірності безвідмовної роботи кожної з підсистем підраховуємо загальну ймовірність безвідмовної роботи системи дискового агрегату:

$$P(t) = 0,9556 \cdot 0,9998 \cdot 0,9984 \cdot 0,9999 = 0,9538 \quad (2.2)$$

Таким чином, проведено аналіз особливостей умов експлуатації, виявлені причини формування і виникнення різних видів відмов в роботі дискових агрегатів, як складних систем, а також встановлено, що ймовірність безвідмовної роботи системи становить 0,9538.

## 2.2. Дослідження показників безвідмовності дискових агрегатів ґрунтообробних машин

Пristyнаючи до розрахунку надійності системи, попередньо встановили послідовність роботи окремих підсистем, а потім склали функціональну схему роботи системи в часі  $t$  при виконанні робіт по

обробітку ґрунту. Відобразили, що ймовірність безвідмовної роботи системи можна представити у вигляді добутку ймовірностей безвідмовної роботи послідовно з'єднаних підсистем [14].

Основним джерелом інформації про надійність машин, їх деталей та вузлів є проведення спеціальних спостережень за умов експлуатації. При цьому фіксується напруження, час виникнення відмов та час відновлення працездатності.

Крім того, важливо знати необхідна мінімальна кількість об'єктів спостережень для отримання достовірної інформації щодо надійності машин.

Методи розрахунку мінімальної кількості об'єктів спостережень можуть бути відповідно до ГОСТ 17510-72 параметричними (при відомому вигляді закону розподілу досліджуваної випадкової величини) та непараметричними (Коли вид закону розподілу невідомий).

Дослідимо структурну схему резервування батареї дисків, як підсистеми що входить до складу системи – «дислової борони».

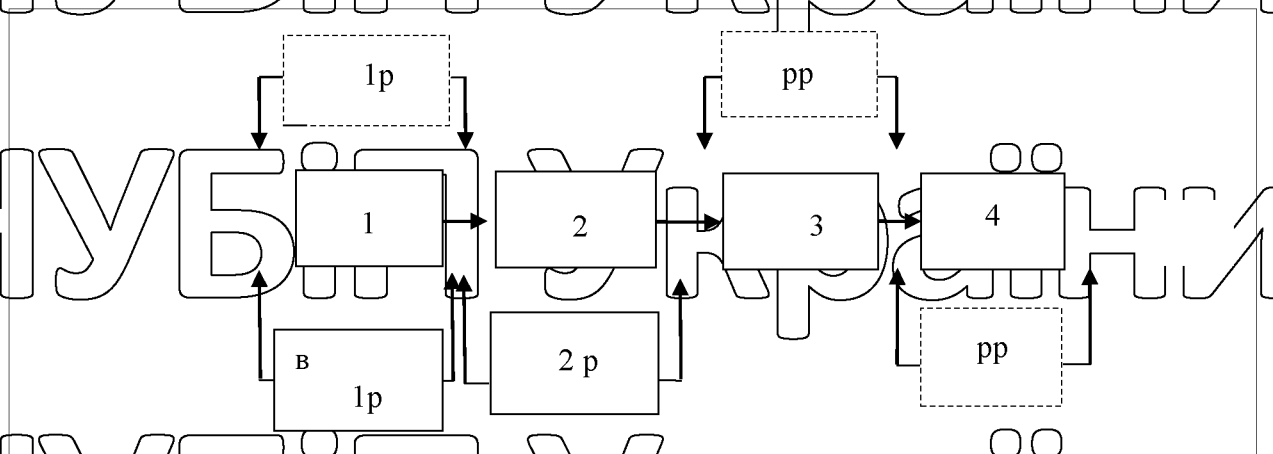


Рис. 2.3 Структурна схема надійності та резервування батареї дисків дискової борони: 1- диск, 2 – штипниковий вузол, 3 – рама дискової батареї; 4 – кронштейн кріплення диску.

Для даної структурної схеми підсистеми 1/1/1 – 2/2 – 3 – 4 батареї дисків ймовірність безвідмовної роботи у відповідності з даними, які були отримані в процесі експлуатації підсистеми дорівнює:

$P(t) = 0,9556 \cdot 0,9989 \cdot 0,9999 \cdot 0,9998 = 0,9542$  (2.3)

Характерними відмовами батареї дисків дискової борони є зношування, затуплення ріжучої кромки диска або їх руйнування. У випадку аварійного руйнування робочої поверхні диска, слід провести їх заміну або ж відновлення, оскільки тривала робота в такому стані може призвести до руйнування підшипникового вузла.

Враховуючи умови експлуатації дискових агрегатів, проведемо дослідження надійності основних відмов гідравлічної системи. Розглянемо структурну схему резервування гідравлічної системи дискових агрегатів ґрунтообробної машини, як підсистеми.

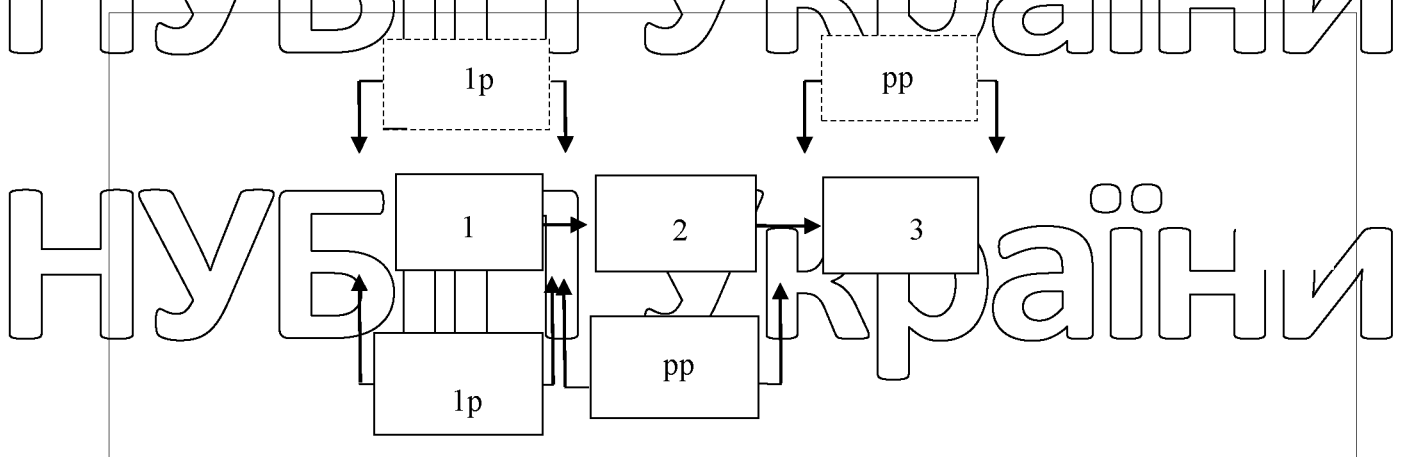


Рис. 2.4 Структурна схема надійності та резервування гідравлічної системи дискової борони: 1- гідроциліндр, 2 – шток, 3 – рама дискового агрегату.

Для структурної схеми підсистеми 1/1/1 – 2 – 3 гідравлічної системи дискового агрегату ймовірність безвідмовної роботи у відповідності з даними, які були отримані в процесі експлуатації підсистеми буде складатися:

$$P(t) = 0,9984 \cdot 0,9989 \cdot 0,9999 = 0,9972$$

(2.4)

Характерними відмовами гідравлічної системи дискової борони є вихід із ладу гідроциліндра системи та знос штока. У випадку виходу із ладу

гідроциліндра, слід провести його заміну, оскільки ефективна робота всієї системи в такому стані неможлива.

Поведенний аналіз показує, що в процесі експлуатації дискового агрегату виникають поступові та раптові відмови підсистем і елементів, які переводять машину в непрацездатний стан. Для переведення машини, як технічної системи в працездатний стан, проводяться відповідні ремонтно-профілактичні та відновлювальні операції.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

### **Розділ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1. Програма досліджень магістерської роботи**

НУБІП України

Для реалізації мети, встановлення основних положень аналітичних досліджень, викладених у розділі 2 до магістерської роботи, необхідне проведення експериментальних робіт. Результати експериментальних досліджень разом з теоретичними, покладені в основу пропозицій і рекомендацій щодо підвищення експлуатаційної надійності дискових агрегатів ґрунтообробних машин.

Джерелами інформації експериментальних досліджень надійності дискових агрегатів являються результати їх випробувань в реальних умовах експлуатації. Для вирішення поставлених в магістерській роботі задач розроблено програму експериментальних досліджень, яка передбачає: аналіз умов експлуатації дискових агрегатів; визначення основних відмов дискових борін та причин втрати їх працездатності; вибір основних методів проведення експериментальних досліджень та їх обґрунтування; оцінка одиничних і комплексних показників надійності дискових борін; статистика обробки експериментальних даних.

### **3.2. Вибір та обґрунтування основних методів проведення експериментальних досліджень**

В процесі реалізації поставлених в магістерській роботі експериментальних задач, використовуються наступні наукові методи і способи досліджень: метод дослідження динаміки зношування деталей дискової борони; способи резервування підсистем і елементів з низькою ймовірністю безвідмовної роботи для підвищення комплексних показників; статистичні методи дослідження та обробки експериментальних даних; при проведенні експериментальних робіт використовуються класичні, активні, пасивні та довільні форми спостережень.

Перший етап являє собою пасивну форму спостережень, тобто, проходить без стороннього втручання в особливості процесу. Другий етап



передбачас узагальнення накопичених даних, їх аналіз та формування методики проведення експериментів більш високого рівня. Останній, третій етап, являє собою дослідження у вигляді активного, класичного або довільного експерименту [28, 30]. В умовах зменшення асигнувань на науково-практичні дослідження та з урахуванням вище сказаного, в магістерській роботі віддається перевага застосуванню метода пасивного експерименту. Експериментальні дослідження проводяться згідно ДСТУ [21].

### 3.3. Вибір об'єктів та обґрунтування умов проведення експериментальних досліджень

Об'єктами досліджень являються борони дискові БДВ – 7,2V – 01. Експериментальні роботи та спостереження проводяться в умовах агрофірм Київської області.



Рис. 3.1 Борона дискова БДВ – 7,2V – 01.

Для встановлення характерних видів пошкоджень, оцінки частоти їх виникнення та довговічності деталей, проводяться експертні опитування головних спеціалістів підприємства. Результати опитування підлягають статистичній обробці згідно існуючих методик.

### 3.4. Методика збирання статистичних даних по надійності дискових борін

Для отримання статистичної інформації по надійності дискових борін, проводяться спостереження за їх станом в період експлуатації та відновлення працездатності. При цьому враховується рік випуску та технічний стан машини. Дослідження за роботою дискових агрегатів ґрунтообробних машин проводяться у виробничих умовах згідно планів ГОСТ27.002-83.

Показники надійності дискових агрегатів досліджуються в умовах експлуатації, згідно викладеної вище програми експериментальних досліджень: збір інформації при періодичних або разових спостереженнях за агрегатами на підприємстві; хронометражні спостереження за дисковими агрегатами; первинна обробка даних про відмови з метою їх підготовки до обробки для оцінки показників надійності дискових агрегатів ґрунтообробних машин.

### **3.5. Методика визначення основних видів пошкоджень деталей та вузлів дискових борін**

У відповідності з розробленими структурними моделями втрати працездатності дискових робочих органів ґрунтообробних машин (розділ 2), проводяться дослідження впливу різних видів пошкоджень деталей на ймовірність безвідмовної роботи агрегату. При цьому, основні види пошкоджень фіксуються у разі виникнення тієї чи іншої відмови агрегату. Дослідження проводяться на дискових агрегатах ґрунтообробних машин, для яких визначаються такі показники надійності, як наробіток на відмову та середній час відновлення працездатності.

Вивчення причин відмов проводиться по двох напрямках – якісного і кількісного аналізу. В результаті якісного аналізу зруйнованих в процесі експлуатації деталей визначаються види пошкоджень та їх причини.

Різновидності можливих пошкоджень деталей систематизуються [15].

## **Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДИСКОВИХ БОРІН**



#### 4.1. Причини виникнення і аналіз закономірностей розподілу відмов основних механізмів дискових борін

Практика використання дискових машин показав їх недостатню надійність та невідповідність сучасним потребам довговічності, ремонту і технічному обслуговуванню. Підвищення безвідмовності і до ремонтного ресурсу деяких вузлів та елементів дискових агрегатів ґрунтообробної техніки, можливе лише при наявності достовірної інформації про пошкодження деталей машин, працюючи в умовах дійсної експлуатації.

Для того щоб проаналізувати закономірність розподілу основних відмов дискових агрегатів ґрунтообробних машин проаналізуємо основні дефекти дискових агрегатів, які досить доступно ілюструють наступні рисунки [39]. (рис. 4.1 - 4.6).



Рис.4.1 Характерні пошкодження зварних конструкцій рами борони



Рис.4.2 Характерні пошкодження з'єднань рами борони





# НУБІП України

Рис.4.3 Характерні пошкодження дисків борін



Рис.4.4 Характерні пошкодження ходової частини дискового агрегату



Рис. 4.5 Характерні пошкодження деталей кріплення балок борони



Рис. 4.6 Характерні пошкодження підшипникових вузлів борони

# НУБІП України

Проведемо дослідження ремонтного фонду [9, 38]

Таблиця 4.1

## Статистичний ряд інформації про зношування дисків борін

№	Інтервали мм	Середина інтервалу мм	Частоти	В цифрах	Коефіцієнти	
					$K_1=5$	$K_2=1$
1	660...638	649	•	1	1	1
2	638...616	627	•••	3	4	-
3	616...594	605	•	1	-	-
4	594...572	583	••••••••••	10	20	-
5	572...550	561	••••••••••	10	10	10
Коефіцієнти					$L_1=30$	$L_2=10$

Проведемо оцінку показників технічного стану ремонтного фонду з наступної таблиці магістерської роботи.

Таблиця 4.2

## Показники технічного стану ремонтного фонду дисків борін

Назва показника	Одиниці вимірювання	Попшкодження
Коефіцієнти:		
придатності		0,6
відновлення		0,4
2. Границі зміни пошкодження	мм	0...110
3. Середнє значення	мм	627
4. Середнє квадратичне відхилення	мм	24,88
5. Коефіцієнт варіації		РВВ
6. Теоретичний закон розподілу		

В зв'язку з цим виникає потреба в моделюванні довговічності дисків агрегатів ґрунтообробних машин по різним технологічним і конструктивним параметрам на основі статистичних даних про відмови в експлуатації вузлів та елементів, які мають недостатню довговічність, після цього виникає необхідність розроблення рекомендацій, що спрямовані на забезпечення надійності всіх вузлів дисків агрегатів ґрунтообробних машин [15].

Одним із високонавантажених агрегатів є дисковий робочий орган. В процесі експлуатації диски відмовляють по різним причинам.

До складу дискового агрегату ґрунтообробної машини входять такі основні системи механізмів: батарея дисків, робочі органи, хвіст

частина агрегату, гідравлічна система та рама агрегату. Одним з основних механізмів, що впливає на довговічність агрегату є батарея дискових робочих органів. Основними елементами батарея дискових робочих органів які потребують більш точного вивчення є: диски та підшипникові вузли. Процес відновлення ремонту і заміни вузлів дискових агрегатів ґрунтообробної машини є трудомістким і дорогим. Раптова поява відмов елементів, які входять у дані вузли може привести до аварійної ситуації в цілому. Відмови інших елементів є прогнозованими і виявляються в процесі діагностування, що дозволяє передбачити шляхом заміни при планових обслуговуваннях і ремонтах.

Рис. 4.7 Результати обробки інформації про надійність дискової борони

Результати статистичних дослідів надійності виробу маємо у вигляді дискретного набору чисел, відповідаючи наробітку механізмів до відмови [6, 9]. По цим даним можна розрахувати емпіричні закони розподілення і статистичні оцінки показників надійності. Експериментальні дані не завжди можуть бути здобуті в достатній кількості, тому такі оцінки як правило не точні. При малому об'ємі експериментальних даних приймаються проміжні



оцінки, розраховуються проміжки, в яких лежать із заданою ймовірністю значення, знайдених точковою оцінкою.

При статистичній оцінці довговічності найбільш ширшого застосування набули теоретичні закони: закон розподілу випадкових величин, закон нормального розподілу і Вейбула-Гнеденко [5].

Наробіток об'єкту до відмови, як правило, описується універсальним три-параметричним законом Вейбула-Гнеденко для якого щільність розподілення розраховується за наступною формулою:

$$f(T) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{T}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{a}\right)^b\right] \quad (4.1)$$

З цієї формули випливає наступна функція розподілення

$$F(T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{a}\right)^b\right] \quad (4.2)$$

де:  $a$ ,  $b$ ,  $T$  — параметри закону, які визначаються аналітичним і графічним методами.

Таблиця 4.3

Результати обробки статистичної інформації по напрацюванню на відмову дискової борони

№	Механізми	Середній наробіток на відмову, $t$	Середнє квадратичне відхилення, $\sigma$	Коефіцієнт варіації, $\nu$	Теоретичний закон розподілу
1.	Батарея дискових робочих органів	220	150	0,68	ЗРВ
2.	Ходова частина агрегату	326	248,46	0,76	ЗРВ
3.	Гідравлічна система	238,6	175	0,73	ЗРВ
4.	Рама агрегату	416	348	0,84	ЗРВ

Параметри  $a$ ,  $b$  і пов'язані із середнім наробітком до відмови  $T$ , середнім квадратичним відхиленням  $\sigma$  і коефіцієнтом варіації  $\nu$  відомими залежностями.

$$T = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right),$$

$$\sigma = a \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{b}\right)},$$

$$v = \frac{\sigma}{T}, \quad (4.3)$$

де  $\Gamma(x)$  – гама функція, що визначається по таблиці.

Надійність дискового агрегату ґрунтообробної машини в цілому залежить від наробітку до відмови окремих деталей та складальних вузлів.

Чим менше деталей з малими ресурсами, тим більший ресурс вузла, в який входять дані елементи. Тому першочергова задача складається з підвищення ресурсу окремих деталей з недостатньою довговічністю.

Аналіз стану надійності дискового робочого органу, показав, що в 68% він є причиною відмов самого дискового агрегату ґрунтообробної машини.

Як наслідок зростають обсяги робіт з відновлення і підтримання працездатності машини. Мінімально необхідний рівень затрат на ці роботи в декілька раз перевищує платоспроможність покупця.

Тому актуальною задачею є підтримання працездатності дискового робочого органу, що веде до підвищення безвідмовності всього дискового агрегату. Відповідно, одним із шляхів зменшення затрат на підтримання техніки у працездатному стані є підвищення її працездатності.

#### 4.2. Прогнозування необхідної кількості резервних елементів дискових борін

Розрізняють три етапи прогнозування при дослідженні надійності машин: ретроспекцію, діагностику та прогноз. Етап ретроспекції спрямований у минуле, етап діагностики – в даний час, етап прогнозу – у майбутнє, причому майбутнє у вигляді прогнозу повертається до сьогодення (впливає на нього). З цього випливає можливість використання прогнозування управління надійністю машин.

Перший етап полягає у дослідженні динаміки стану машини у минулому, виявленні та уточненні характеристик зміни параметрів стану її елементів. Внаслідок досліджень розробляють динамічну модель технічного стану машини.

На другому етапі встановлюють допустимі межі зміни параметрів стану елементів, включаючи диски, розробляють чи вибирають методи і засоби виміру, вимірюють параметри технічного стану, вибирають методи прогнозування, і навіть способи оцінки достовірності прогнозу.

На третьому етапі прогнозують зміни різних параметрів стану елементів, синтезують прогнози, узагальнюючи їх та роблячи висновок про рівень надійності дискового агрегату.

Таким чином, прогнозування може бути груповим та індивідуальним.

До методів групового прогнозування належить статистична оцінка терміну служби однотипних виробів з урахуванням результатів контрольних і визначальних випробувань на надійність. У цьому випадку шляхом обробки результатів випробувань деякої кількості виробів на термін служби обчислюється кількісна середньоквадратична оцінка терміну служби всієї партії машин. До переваг методу індивідуального прогнозування відноситься можливість оцінки надійності кожної конкретної машини.

Третій метод прогнозування – метод розпізнавання образів. Метод передбачає розбиття всієї групи виробів на кілька класів (груп) відповідно до ознак кожного класу. Між класами встановлюються суворі межі. Процес створення образу розбито на три етапи: «навчання», створення образу, «іспит». Процес індивідуального прогнозування надійності методом розпізнавання образів зводиться до віднесення даної машини до того чи іншого класу на підставі критеріїв працездатності, причому для кожного класу мають бути апріорно відомі показники надійності та технічні характеристики.

Для ремонтіваних об'єктів знаходять застосування наступні показники надійності: середнє напрацювання на відмову  $T_0$ ; середній час відновлення працездатного стану  $T_v$ ; коефіцієнт готовності  $K_g$ ;

Перший показник надійності характеризує безвідмовність об'єкту і

може бути визначений як відношення повної тривалості роботи об'єкту до повного числа зареєстрованих відмов  $n_0$ :

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{oi}}{n_0}; \quad (4.4)$$

Другий показник характеризує ремонтпридатність об'єкту; його визначають як відношення сумарного часу, що затрачує на відновлення до загального числа відновлень, чисельно рівних кількості виниклих відмов

$n_0$ .

$$T_v = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} t_{vi}}{n_0}; \quad (4.5)$$

Коефіцієнт готовності  $K_g$  - комплексний показник надійності[19]. Він кількісно характеризує властивості як безвідмовності об'єкту, так і ремонтпридатності, і визначається як вірогідність того, що об'єкт опиниться в працездатному стані в довільний момент часу:

$$K_g = \frac{T_0}{T_0 + T_v}; \quad (4.6)$$

Можна вважати, що  $K_g$  чисельно рівний більш працездатних об'єктів у будь-який момент часу. Для визначення перерахованих показників надійності ремонтіваних об'єктів потрібен статистичний матеріал, який звичайно збирається в умовах рядової експлуатації, або в умовах спеціальних підконтрольних випробувань.

Надійність об'єкту як системи, що складається з ряду елементів, можна визначити також за даними про надійність кожної її складової частини або елемента. Як правило, визначити показники надійності деталі або вузла простіше, ніж всієї системи в цілому. В даний час є необхідні методи і технічні засоби для випробування на надійність різних робочих органів, деталей, вузлів. Надійність дискового агрегату ґрунтообробної машини, як системи, залежить від її структури. Більшість машин і агрегатів - це системи з послідовною структурою, при якій відмова системи настає у разі відмови будь-якого її елемента [9].

В дискових агрегатах постійне резервування використовується значно рідше, ніж резервування заміщенням. При резервуванні заміщенням середнє напрацювання повністю агрегату, що складається з одного основного і до таких же резервних елементів, визначається по формулі:

$$T_c = (1+K) \cdot T_z; \quad (4.7)$$

де:  $T_z$  - середнє напрацювання повністю елемента.

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma_c$  напрацювання повністю цієї системи визначається з виразу:

$$\sigma_c = \sigma_z \cdot \sqrt{1+K}; \quad (4.8)$$

де:  $\sigma_z$  - середнє квадратичне відхилення напрацювання повністю елемента.

З формул (4.7) і (4.8) випливає, що коефіцієнти варіації напрацювання повністю системи  $v_c$  і елемента  $v_z$  при резервуванні заміщенням зв'язані співвідношенням:

$$v_c = \frac{v_z}{\sqrt{1+K}}; \quad (4.9)$$

При розподіленні наробітку на відмову системи по закону Вейбулла його параметр форми  $h_c$  визначається величиною коефіцієнта варіації  $v_c$ . Ця залежність при  $0,1 < v_c < 1$  з достатньою для практичного використання точністю описується наближеним виразом:



$$b_c = \frac{1,126}{v_c} + \frac{0,011}{v_c^2} - 0,137, \quad (4.10)$$

звідси з урахуванням формули (4.9) випливає, що:

$$b_c = \frac{1,126}{v_3} \sqrt{1+K} + \frac{0,011}{v_3^2} (1+K) - 0,137. \quad (4.11)$$

Параметр масштабу розподілу напрацювання на відмову системи, виходячи з формули (4.7) визначається по формулі:

$$a_c = \frac{T_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)} = \frac{(1+K)T_3}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}. \quad (4.12)$$

Ймовірність безвідмовної роботи дискового агрегату з одного працюючого і до резервних елементів, що послідовно включаються в роботу при настанні відмов на заданому інтервалі напрацювання  $T$ , визначається з формули:

$$R_c(T) = \exp\left[-\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)^{b_c}}{T_3(1+K)}\right], \quad (4.13)$$

в якому параметр  $b_c$  визначається по формулі (4.11).

Ймовірність безвідмовної роботи елемента  $R_3(T)$  на інтервалі  $T$  можна також визначити по формулі (4.13). Поклавши в ній  $K=0$ , отримаємо вираз:

$$R_3(T) = \exp\left[-\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_3}\right)^{b_3}}{T_3}\right] \quad (4.14)$$

в якому параметр форми  $b_3$  у відповідності з формулою (4.11) визначається по формулі:

$$b_3 = \frac{1,126}{v_3} + \frac{0,011}{v_3^2} - 0,137, \quad (4.15)$$

Величина  $R_e(t)$  визначає вірогідність того, що за період  $T$  не наступить стан, при якому подальше відновлення працездатності системи стане вже неможливим через відсутність резервних елементів [3]. Вірогідність того, що у будь-який момент часу система не знаходитиметься в стані відновлення за наявності резервних елементів, визначається величиною коефіцієнта готовності  $K_g$ . Результати забезпечення безвідмовності та прогнозування необхідної кількості резервних елементів дискових робочих органів відображає рис. 4.9.

Згідно розрахунків виявлено, що ймовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи (дискового агрегату БДУ-3,5) становить 0,86. Використовуючи методи резервування ремонтованих систем, ймовірність безвідмовної роботи підвищена до 0,95.

Виходячи з цього, проведемо розрахунок надійності агрегату при навантаженому та ненавантаженому резервуванні найменш надійного елемента.

Запишемо вихідні дані для дискової борони: середнє напрацювання на відмову становить:  $t_{B1}=25$ ;  $t_{B2}=250$ ;  $t_{B3}=300$ ;  $t_{B4}=450$ .

- Формуємо структурну схему системи: 1/1/1-2/2-3-4, закон розподілу ймовірностей описується експоненціальним законом.

1. Будуємо структурну схему надійності дискової борони.
- 2.

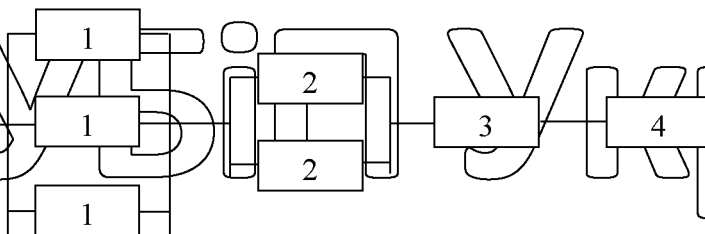


Рис. 4.8 Структурна схема надійності борони - системи

3. Визначимо інтенсивність відмов кожного елемента системи.

$$\lambda_0 = t_b^{-1}; \quad (4.17)$$

$$\lambda_1 = 25^{-1} = 0,04; \lambda_2 = 250^{-1} = 0,004; \lambda_3 = 300^{-1} = 0,003; \lambda_4 = 450^{-1} = 0,0022.$$

4. Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи на протязі часу зміни (7 год.):

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.18)$$

$$P_1(7) = e^{-0,04 \cdot 7} = 0,7572; P_2(7) = e^{-0,004 \cdot 7} = 0,9726; P_3(7) = e^{-0,003 \cdot 7} = 0,9984;$$

$$P_4(7) = e^{-0,0022 \cdot 7} = 0,9948;$$

5. Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи групи елементів (дисків) з постійним резервуванням.

$$P_{pc} = 1 - [1 - \prod_{i=1}^n P_c(t)]^{m+1}; \quad (4.19)$$

$$P_{p1} = 1 - [1 - 0,7572]^{2+1} = 1 - 0,2428^3 = 0,9857;$$

$$P_{p2} = 1 - [1 - 0,9726]^{1+1} = 1 - 0,0274^2 = 0,9993.$$

6. Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи системи.

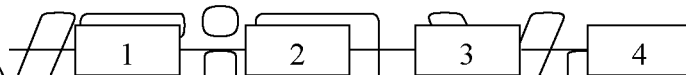


Рис. 4.9 Схема ймовірностей безвідмовної роботи системи

$$P_c = 0,9857 \cdot 0,9993 \cdot 0,9984 \cdot 0,9948 = 0,9783.$$

$R_1$  - ймовірність безвідмовної роботи дисків;

$R_2$  - ймовірність безвідмовної роботи підшипникового вузла;

$R_3$  - ймовірність безвідмовної роботи гідравлічного механізму;

$R_4$  - ймовірність безвідмовної роботи ходової частини.

7. Встановлена найменша надійність має 1 елемент, тому проведемо його резервування.

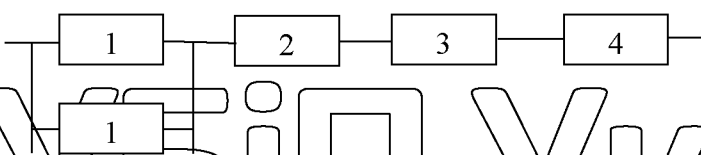


Рис. 4.10 Схема резервування 1 елемента системи – дискової борони

7.1. Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи дискової борони з урахуванням першого елемента.

$$P_{p1} = 1 - [1 - 0,9857]^{1+1} = 1 - 0,0002^2 = 0,9999; \quad (4.20)$$

7.2. Розраховуємо середній час відновлення, увівши коефіцієнт  $\alpha$ :

$$\alpha = \lambda_1 \cdot t_B = 0,2555 \cdot 0,25 = 0,0639. \quad (4.21)$$

Зміниться також і напрацювання на відмову:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{0,5}{\lambda_1 \cdot \alpha} + \frac{0,5}{0,2555 \cdot 0,0639} = 3,9 + 15,6 = 19,5 \text{ год.} \quad (4.22)$$

$$P_{pl}(1) = e^{-(1/T_0)} = e^{-(1/19,5)} = 0,8765 \quad (4.23)$$

7.3. Звідси ймовірність безвідмовної роботи для випадку не постійно включеного резерву буде становити:

$$P_c = 0,9857 \cdot 0,9993 \cdot 0,9984 \cdot 0,9948 \cdot 0,9999 = 0,9882$$

Таблиця 4.4

Критерії безвідмовної роботи дискової борони

Назва час	R дисків	R підшипникового вузла	R гідралічного механізму	R ходової частини	R підсистеми
50	0,98	0,99	0,99	0,99	0,94
200	0,96	0,97	0,98	0,97	0,92
250	0,94	0,96	0,97	0,96	0,90

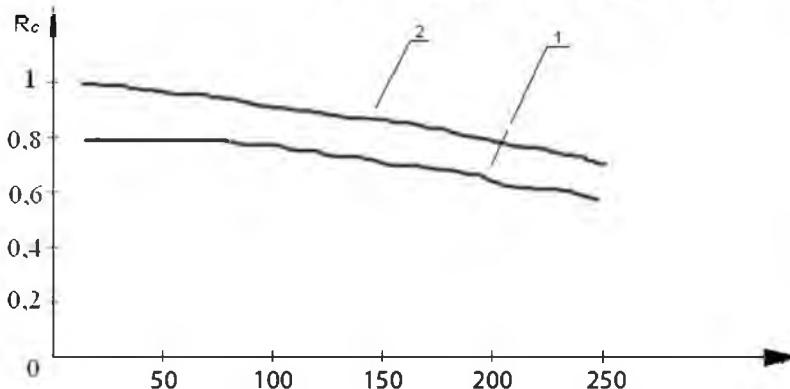


Рис. 4.11 Залежність ймовірності безвідмовної роботи дискової борони від наробітку: 1 - нерезервована підсистема (ДА); 2 - резервована підсистема (ДА)

8. Проведемо резервування 2 елементу.

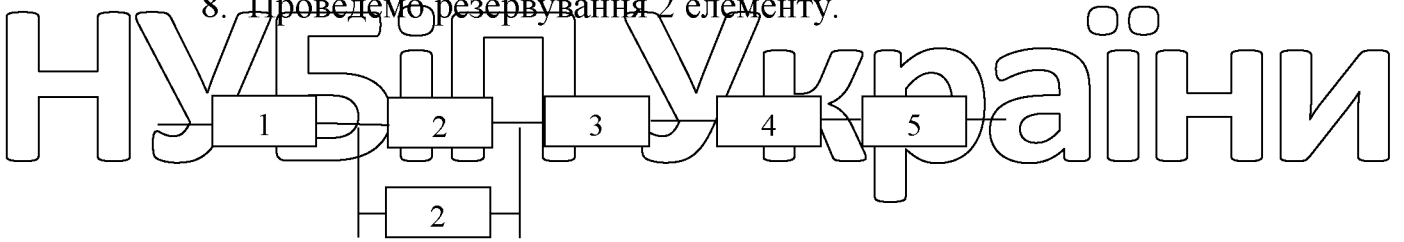


Рис. 4.12 Схема резервування 2 елементу системи – дискової борони.

8.1. Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи дискової борони з урахуванням другого елемента.

8.2. Визначаємо середній час відновлення дискової борони, увівши

коефіцієнт  $\alpha$ :

$$P_{p1} = 1 - [1 - 0,9993]^{1+1} = 1 - 0,0007^2 = 0,9999 \quad (4.24)$$

$$\alpha = \lambda_2 \cdot t_B = 0,333 \cdot 0,3 = 0,0999 \quad (4.25)$$

Зміниться також і напрацювання на відмову дискової борони:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_2} + \frac{0,5}{\lambda_2 \cdot \alpha} = \frac{1}{0,333} + \frac{0,5}{0,3 \cdot 0,0999} \approx 3 + 17,08 \approx 20,08 \text{ год.} \quad (4.26)$$

$$P_{p2}(2) = e^{-(t/T_0)} = e^{-(0,3/20,08)} = 0,9852 \quad (4.27)$$

8.3. Ймовірність безвідмовної роботи дискової борони для випадку не постійно включеного резерву буде становити:

$$P_c = 0,9857 \cdot 0,9993 \cdot 0,9984 \cdot 0,9948 \cdot 0,9999 = 0,9882$$

Таблиця 4.5

Критерії безвідмовної роботи дискової борони

Назва	R	R	R	R	R
час	дисків	підшипникового вузла	гідралічного механізму	ходової частини	підсистеми
50	0,98	0,99	0,99	0,99	0,94
200	0,96	0,97	0,98	0,97	0,92
250	0,94	0,96	0,97	0,96	0,90



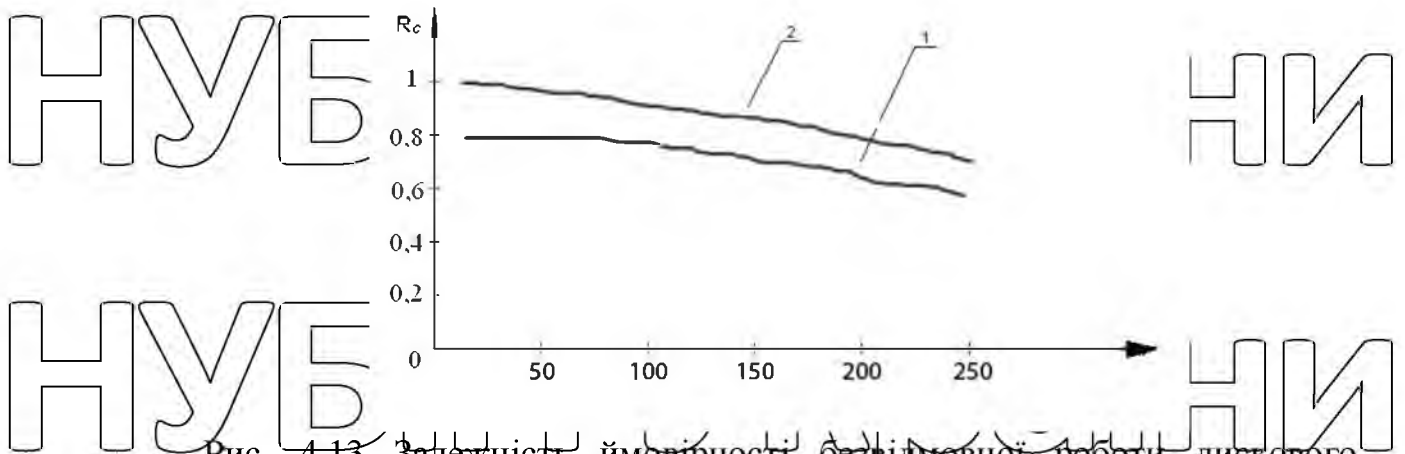


Рис. 4.13 Залежність ймовірності безвідмовної роботи дискового агрегату від наробітку: 1 – нерезервована підсистема (ДА); 2 – резервована підсистема (ДА)

Практика використання дискових агрегатів ґрунтообробних машин показує, що дуже часто їх відмови настають внаслідок дії кількох незалежних причин, як правило не менше двох. Переважна більшість відмов дискових робочих органів належить до поступових відмов зношування (40%).

Це вказує на необхідність детального дослідження процесів втрати працездатності деталей від зносу та потреб в розробці заходів, направлених на підвищення їх довговічності.

### 4.3. Методика дослідження граничних і допустимих спрацювань деталей дискових борін

Для розрахунку граничних та допустимих спрацювань використовують два способи: експериментальний та аналітичний [41].

Гранична величина спрацювання визначається:

$$\delta_{\bar{a}d} = S_{\max} - S_{\min} \quad (4.28)$$

Допустима величина спрацювання розраховується:

$$\delta_{\bar{a}i} \leq \delta_{\bar{a}d} - \alpha t_i \quad (4.29)$$

Таблиця 4.6

Результати обчислень дефекту № 1

Найменування та позначення деталі	Посадка по кресленню	Допустимі і граничні спрацювання, МКМ	Допустимі і граничні розміри при ремонті	
			Розміри деталей, мм	Зазори у спряженні, мм
Отвір диска 33 <sup>+0.045</sup> <sub>0</sub>	$S_{max} = -0.13$ $S_{min} = 0.025$	$I_{Spr} = 3654$ $I_{Sdon} = 3097$	34.566	$S_{sp} = 3.524$ $S_{don} = 3.067$
Вал 33 <sup>-0.025</sup> <sub>-0.085</sub>			34.4987	
			30.887	
			30.0767	

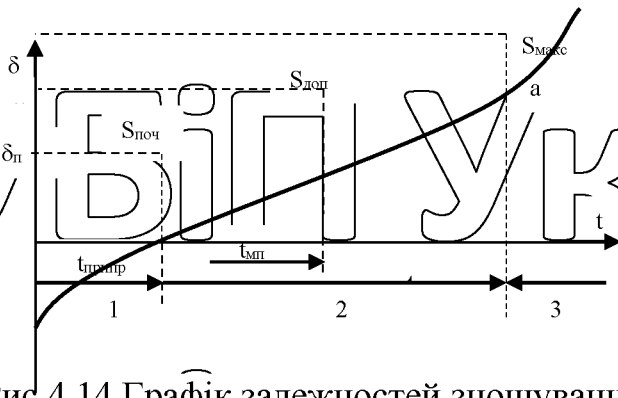


Рис.4.14 Графік залежностей зношування від часу

Граничні і допустимі пошкодження поверхонь визначаються за наступними формулами:

$$I_{Spr} = 123.0 + 0.1D + 2T_{Sk} \text{ МКМ} \tag{4.30}$$

$$I_{Sdon} = 29.0 + 0.1D + 1.6T_{sk} \text{ МКМ} \tag{4.31}$$

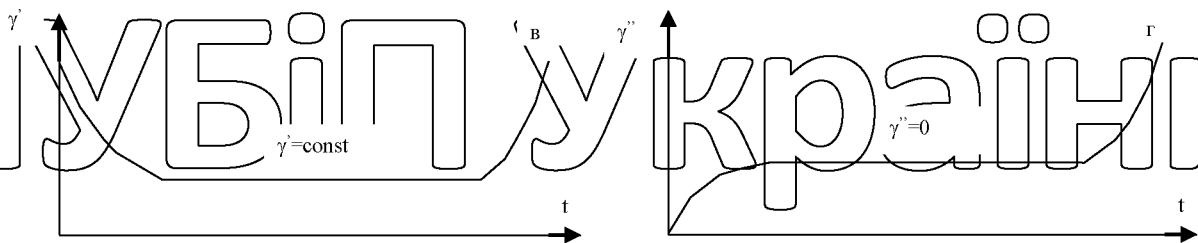


Рис. 4.15 Графік залежності швидкості зношування ( $\gamma$ ) і прискорення зношування ( $\Gamma$ ) деталей від часу роботи: 1-період припрацювання; 2-сталий період

Таблиця 4.7

## Результати обчислень дефекту № 2

Найменування та позначення деталі	Допустимі і граничні справцювання, мм	Допустимі і граничні розміри при ремонті деталей, мм
діаметр диска	$I_{S_{sp}}=130$ $I_{S_{don}}=40$	530 620
товщина леза	$I_{S_{sp}}=1,5$ $I_{S_{don}}=0,1-0,5$	2 0,6-1,0

#### 4.4. Розробка заходів з підвищення технологічної надійності дискових борін і лушчильників

Технологічна надійність МТА є однією з найважливіших складових комплексу техніко-економічних та якісних показників. Згідно з вихідними вимогами, коефіцієнт технологічної надійності дискових борін і лушчильників повинен бути не нижче 0,99.

Однак у дискових борін та лушчильників батареїного типу БДТ-7, ЛДГ-5 (10,15,20) та їх модифікацій цей показник становить 0,75...0,85. Це пов'язано з невеликою міждисковою відстанню та синхронним обертанням дисків батареї. Також на зниження коефіцієнта технологічної надійності при заглибленні борни від середньої до максимальної глибини в межах вихідних вимог 8...12 см., впливають ґрунтові умови, що характеризуються підвищеною вологістю та (або) підвищеною кількістю поживних залишків на поверхні ґрунту (6...8 т/га). Дискові лушчильники типу ЛДГ при роботі на сухих ґрунтах, внаслідок малого навантаження, на один диск припадає (40...50 кг), заглиблюються всього лише на 2...3 см. Об'єм ґрунту, що розпушується, при цьому явно недостатній, щоб забивати міждисковий простір.

На легких і всьогих ґрунтах, коли лушчильник легко заглиблюється, міждисковий простір забивається швидко. На лушчильниках і боронах

батареїного типу цьому сприяє також загальний вал батареї, на який намотуються поживні залишки. Однією з причин, що викликали появу фронтально розташованих багаторядних дискових борін з індивідуальним кріпленням на окремій стійці кожного робочого органу є низька технологічна надійність дискових борін і лушильників батареїного типу.

Однак з появою нових борін з'явилися й нові проблеми, або посидилися старі проблеми борін батареїного типу. При підвищенні вологості ґрунту понад 30% міждисковий простір забивається ґрунтом та поживними залишками, часто перетворюючись на суцільну ковзанку. З цієї причини виходять з ладу

підшипникові вузли і ламаються диски.

У класичній літературі із землеробської механіки питанню технологічної надійності приділено мало уваги. Більш відома теорія будується стосовно однієї приватної конструкції батареїного розташування дисків на одній спільній осі, уявляючи, що з конструктивних параметрів на забиваність міждискового простору впливає тільки діаметр диска, що визначається за виразом [27]:

$$D = k a, \quad (4.32)$$

де  $D$  – діаметр диска, м;

$a$  – глибина обробки ґрунту, м;

$k$  – коефіцієнт (для борін 4-6).

При виборі величини коефіцієнта  $k$  слід враховувати габаритні розміри розпірних котушок і підшипників, довжину батареї, її здатність пристосовуватися до нерівностей поля і наявність на поверхні поля стерні і бур'янів, так як від перерахованих факторів залежить можливість запресовування ґрунту між дисками. Чим важчі умови роботи, тим більше має бути коефіцієнт  $k$ . При визначенні відстані вздовж осі батареї між сусідніми дисками слід керуватися тими ж міркуваннями, тобто:

$$b = 1,5 a \quad (4.33)$$

де  $b$  – міждискова відстань, м;

$a$  – глибина обробітку ґрунту, м.

Це практично і є всі рекомендації для запобігання заклинювання ґрунтом та поживними залишками міждискового простору для конкретних конструкцій із батарейним розташуванням дисків. Однак все в цьому питанні набагато складніше, а можливостей його вирішення стало більше з появою борін і лушпильників з індивідуальним кріпленням робочих органів до рами. Діскові борони нової конструкції покращили всі якісні показники обробітку ґрунту, збільшився коефіцієнт технологічної надійності.

Цей результат, досягнутий за рахунок розширення міждискової відстані в рядах, застосування окремої стійки для кожного робочого органу замість батарей дисків із загальною віссю. Однак розширення міждискової відстані викликало необхідність збільшення кількості рядів, що створило нові проблеми, пов'язані зі збільшенням загальної довжини знаряддя та втратою стійкості (вилітання). Завданням пошуків є аналіз причин, що викликають забивання міждискового простору та розробка конструкцій, що усувають повністю або частково цей технологічний недолік. Слід визнати, що вирішення поставленої задачі у формалізованому вигляді не є можливим через надмірно велику складність процесу забивання міждискового простору, що залежить від багатьох постійно змінних показників фізико-механічного складу ґрунту, характеристики поживних залишків та їх кількості, параметрів робочих органів, технологічної схеми, їх розміщення, а також вихідних вимог на лушення та дискування ґрунту. Така багатofакторність з нерегульованими параметрами не тільки прямої дії, а й взаємодії робить недоцільним пошуки залежності як регресійних моделей. Саме ця обставина призводить до необхідності розробки конструкцій та схем на основі відомих положень землеробської механіки з обов'язковою їхньою експериментальною перевіркою, а у необхідних випадках оптимізацією їх параметрів [15]. Процес забивання міждискового простору відбувається з різних причин та в різних ситуаціях. У першу чергу до головних причин з



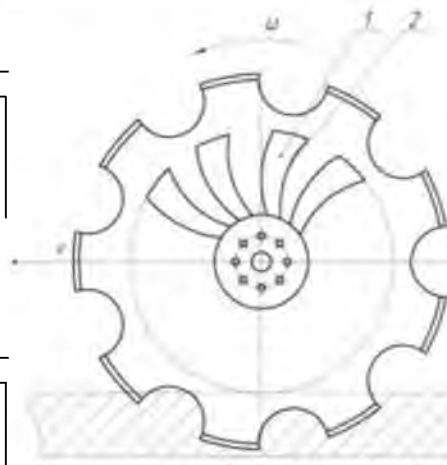
умов експлуатації можна віднести підвищену вологість ґрунту, його липкість, наявність на поверхні ґрунту підвищеної кількості поживних залишків (понад 5 т), нерівномірність їхнього розподілу по поверхні поля та наявність окремих куп. З технологічних параметрів різко негативно на прохідність ґрунту між дисками впливає надмірно велика глибина налаштування борін, завищений кут атаки, низька швидкість руху агрегату (менше 6 ... 7 км / год).

З конструктивно-технологічних параметрів слід виділити неправильний вибір параметрів диска - його діаметра, радіуса сфери та кута нахилу диска до вертикалі, якщо конструктивно не передбачено її регулювання. Важливе значення у забезпеченні високої прохідності ґрунту між робочими органами дискової борони відіграє правильний вибір технологічної схеми розміщення, що сприяє вільному проходженню маси в міждисковому просторі. Важливим моментом є розробка конструктивних елементів, що забезпечують ефективне очищення міждискового простору своєчасно від вогнищ забивання ґрунтом на самому початку їх виникнення.

На відміну від дискових борін та лушпильників батарейного типу, борони нових моделей з кріпленням кожного робочого органу на окремій сійці дозволяють вжити конкретних заходів для запобігання забиванню міждискового простору. Зріджування робочих органів, зменшення кута атаки, сприяють більш вільному проходженню між сусідніми дисками в одному ряду перезволоженого ґрунту. Недоліком сферичних дисків, що встановлюються на сучасних боронах, є налипання ґрунту в середній та центральній частині диска, тобто у зоні розташування осі, через низький питомий тиск вже розпушеного ґрунту.

Це призводить до збільшення тягового опору диска, падають оберти останнього, починається явище протягування та запресовування ґрунту між дисками. З метою зниження площі, де можливе залипання ґрунту, та збільшення нормальних напруг для більш ефективного очищення частини, що залишилася від налипання ґрунту, запропоновано сферичний диск з

прорізами [21] (рис. 4.16). У запропонованому диску, завдяки прорізам, в середній частині диска зменшено загальну площу контакту диска з ґрунтом, що призводить до збільшення питомого тиску ґрунту в місцях контакту при постійній загальній величині нормального тиску. Завдяки цьому налиплий ґрунт очищається і запобігає його налипанню в процесі роботи. Також, прорізи диска виконані у вигляді криволінійного чотирикутника 1 з радіальними сторонами, виконаними по кривій 2, що забезпечує різання зі ковзанням окремих стебел, що потрапили в проріз під час експлуатації:



1 - проріз; 2 – ребро прорізу, виконане по кривій

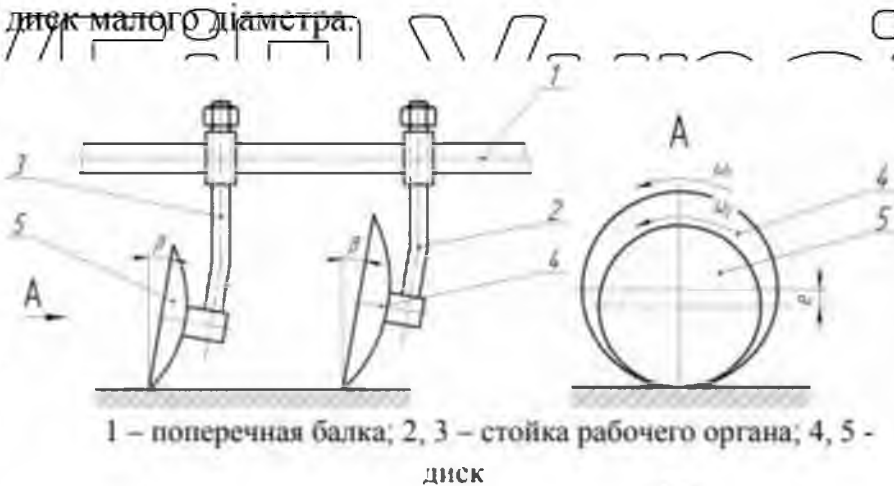
Рис. 4.16 – Диск ґрунтообробної зброї роботи диска.

Для цієї мети в прорізах криволінійні радіальні сторони опуклою стороною орієнтовані в напрямку обертання диска і мають шаблеподібну форму. Помічено, що процес заклинювання ґрунту у міждисківому просторі прогресує, якщо кутова швидкість дисків уповільнюється при синхронному обертанні сусідніх дисків. У таких випадках, якщо хоча б в одному міждисківому просторі виникає осередок заклинювання ґрунтом, то одночасно падає кутова швидкість обертання дисків, що призводить до забиття всієї батареї, перетворюючи її на суцільну ковзанку.

Одним із ефективних методів боротьби із забиванням ґрунтом та пожнивними залишками є обертання сусідніх дисків у ряді або в батареї з різними кутовими швидкостями [19]. Обертання поруч встановлених дисків

в одному ряду з різною кутовою швидкістю може забезпечити по всьому периметру одночасно погашення можливого забивання міждискового простору. Для цієї мети на поперечних балках 1 борони автономно встановлені стійки 2 і 3 з різною довжиною для дисків, що чергуються 4 і 5 з різними діаметрами, нижня ріжуча кромка яких знаходиться на одному рівні (рис. 4.17).

Диски наступного ряду розташовані щодо дисків попереднього ряду таким чином, що за диском малого діаметра зі зміщенням слідує диск великого діаметра і навпаки, за диском великого діаметра зі зміщенням слідує диск малого діаметра.



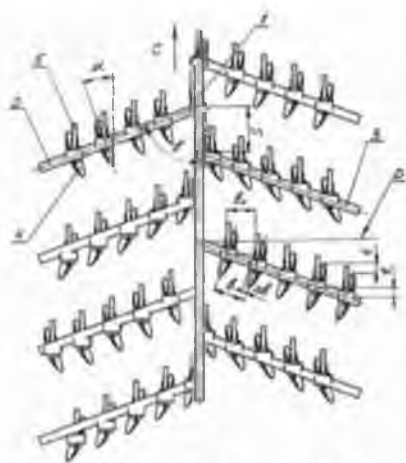
1 – поперечна балка; 2, 3 – стійка робочого органу; 4, 5 - диск

Рис. 4.17. Взаємочисні диски великого і малого діаметра.

Така схема розміщення робочих органів дискової борони дозволяє підвищити її технологічну надійність навіть в екстремальних умовах експлуатації. Ще більш високі результати щодо запобігання запресовування вологим ґрунтом міждискового простору можна отримати, якщо диски малого та великого діаметрів виготовити із циліндричними прорізами. Як вказувалося вище однією з переваг дискових борін та луцильників батарейного типу є те, що зі зростанням кута атаки зростає і поздовжня відстань між сусідніми дисками, батареї. Однак у цей час зменшується і поперечна відстань. Таке збільшення поперечної відстані підвищує технологічну надійність, а зменшення поперечної відстані знижує її, хоча

більш інтенсивне зростання поздовжньої відстані, ніж зниження поперечної відстані в діапазоні зміни кута атаки.

Розглянуту ситуацію можна значно покращити, якщо диски встановлювати на окремих стійках. Це дозволить незалежно один від одного встановлювати бажаний кут атаки і кут нахилу балки, на якій встановлений ряд дисків. Пристрій, що реалізує перевагу установки дисків на окремих стійках на балках, що регулюються по куту нахилу, показанс на рис. 4/18 [23].



1 – хребтова балка; 2,3 – балка; 4 – дисковий робочий орган, 5 – шарнір кріплення

Рис. 4 18 Дисківа борона удосконалена.

У разі потреби обробляти ґрунт на невелику глибину, тобто його мульчування (4...6 см) треба відвести балки з робочими органами навколо їх шарнірного кріплення 5 до хребтової балки на кут, що забезпечує міждисківу відстань, розраховану для суцільного підрізання ґрунту.

Отже, цей пристрій здатний забезпечувати за допомогою простих регулювань незалежно один від одного вибір параметрів як для мульчування ґрунту на глибину не більше 6 см, так і для боронування на глибину до 14 см з повним підрізанням ґрунту та високою прохідністю ґрунту, забезпечуючи високу технологічну надійність.

#### 4.5. Обробка інформації про зношування деталей та прогнозування ресурсу деталей дискових борін

У зв'язку з розвитком процесів старіння показники надійності машини поступово погіршуються. Встановлено загальна залежність зниження надійності об'єкту, це дає змогу прогнозувати розвиток показників надійності.

З цією метою потрібно визначити рубіжні і початкові значення цього показника і використати встановлену математичну залежність. Спостереження ведуться згідно плану. Ресурс деталей машин можна визначити різними способами. Для цього необхідно володіти математичними моделями накопичення їх несучих поверхонь різних пошкоджень.

При наявності граничних і допустимих при ремонті спрацьовань деталей їх ресурс може бути визначений задовго до настання аварійного періоду їх робіт [15]. При відмовах або при технічних експертизах машин, які знаходяться під наглядом, після наробітку (шляхом вимірювання) визначають величини зносу несучих поверхонь деталей заданого найменування. По кожному найменуванню вимірювань проходить 20...30 деталей.

Таблиця 4.8

Обробка інформації про зношування та прогнозування ресурсів вала кріплення дисків дискових агрегатів

Деталь. Підшипник вала кріплення диска дискового агрегату ґрунтообробної машини.														
Дані про зношування стакана під підшипник.														
Розмір на кресленні, мм.	Величина зношування, мкм ( $t_1=250$ год, $t_2=500$ год.)											Величина граничного спрац., мкм	Гамма-процентний ресурс ( $\gamma=80\%$ ) мотогод.	
50 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,015</sub>	0,19	0,37	0,40	0,55	0,48	0,08	0,24	1,09	0,48	1,07	0,70	0,69	550	650
	0,42	0,76	1,04	0,97	0,29	0,77	0,77	1,23	0,50	0,99	0,14	1,18		



# НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 4.9  
Результати обробки експериментальних даних підшипника вала кріплення дискових робочих органів

Розмір по креслен	$\frac{\delta_{доп}}{\delta_{пр}}$	$\frac{\delta_1}{\delta_2}$	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$	$\frac{A}{h}$	$\frac{\delta_H^1}{\delta_H^2}$	$\frac{\delta^1}{\delta^2}$	$\frac{\delta_B^1}{\delta_B^2}$	Ресурси методом		
								$t_{min}$	$t$	$t_{max}$
$50_{-0,02}^{+0,015}$	0,49	$\frac{0,09}{0,20}$	$\frac{0,0578}{0,064}$	$\frac{2042}{0,27}$	$\frac{0,04}{0,187}$	$\frac{0,13}{0,29}$	$\frac{0,21}{0,40}$	640	860	970
$K_H = (\delta_1 - t_p \sigma_1 + h)$ , $K = (\delta_1 + h)$ , $K_B = (\delta_1 + t_p \sigma_1 + h)$										
$\delta_{доп} \leq \delta_{пр} - (\delta_1 + h) 10^{-\frac{t_{max}-t}{A}} - h = 0,49 - (0,09 + 0,27) \cdot 10^{-\frac{970-2500}{2042}} - 0,27 = -0,236$										

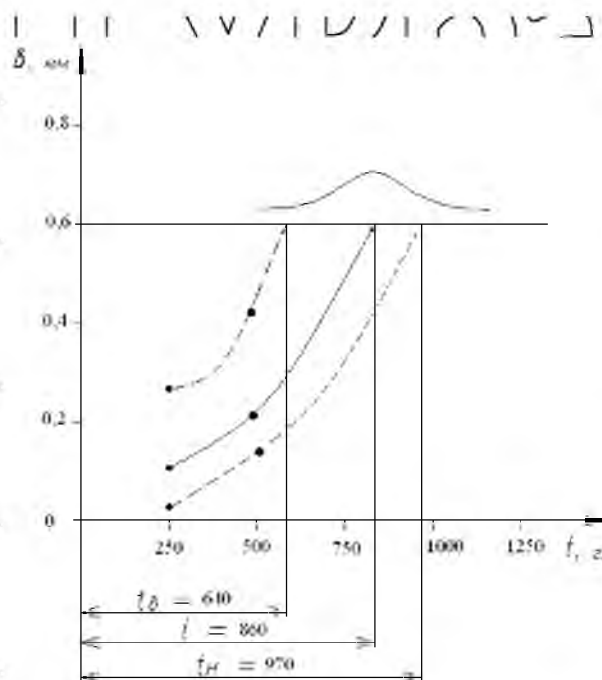


Рис. 4.16 Результати прогнозування ресурсу поверхні під підшипник вала кріплення дискових робочих органів

За результатами прогнозування ресурсу встановлено, що середній ресурс посадочного місця під підшипник вала кріплення дискових робочих органів становить 860 годин відповідно до нижнього та верхнього відхилення 640 годин та 970 годин. Згідно отриманих значень коефіцієнта варіації щільність розподілу ресурсів деталей, що досліджуються, добре узгоджуються із законом нормального розподілу.

#### 4.6. Формування заходів забезпечення якості та рівномірності глибини обробки ґрунту дисковими боронами

При достатньому навантаженні на кожен диск загалом вся борона заглиблюється на задану глибину. Однак одного цього недостатньо для обробки ґрунту в межах агротехнічного допуску.

Рівномірність глибини обробки ґрунту залежить від багатьох факторів: рельєф поля, спосіб копіювання поверхні поля кожним робочим органом, фізико-механічні властивості ґрунту, правильне налаштування дискової борони або луцильника. Відомо, що допуск на відхилення глибини обробки залежить від величини самої глибини. Зі збільшенням необхідної глибини обробки збільшується і допуск на відхилення. Так, якщо глибина обробки ґрунту при його луценні становить 4...6 см, а допуск на нього  $\pm 1$  см, то згідно з агротехнічними вимогами допуск на нерівномірність глибини обробки ґрунту при його боронуванні дисковими боронами на глибину 8...14 см становить  $\pm 3$  см. Тому при виборі ширини захвату для групового кріплення робочих органів до рами окремих секцій (центральної чи бічних) потрібно розглядати окремо дискові борони та луцильники (мульчувальники). Необхідно також при виборі ширини секції рами враховувати вимоги до габаритів під час перевезення.

За результатами проведених досліджень профілю поля та багаторічною виробничою практикою встановлено, що при жорсткому кріпленні робочих органів до рами допустима ширина захоплення однієї рамної секції дискових борон становить краю 4 м. Для луцильників, призначених для обробки ґрунту на глибину лише 5...6 см, необхідно застосовувати при цій же ширині секції рами індивідуальне копіювання поверхні поля кожним робочим органом.

З метою розширення зони застосування багато виробників дискових борон теж застосовують різні конструкції для індивідуального копіювання робочими органами рельєфу ґрунту з метою підвищення якості обробки

грунту, незважаючи на те, що це призводить до потенційного зниження надійності знаряддя в цілому та підвищення його вартості. Найбільш поширеним способом з'єднання робочих органів дискових борін до рами є жорстке кріплення. Таке з'єднання є найдешевшим і застосовується на більшості знарядь вітчизняного виробництва (рис.11.1).

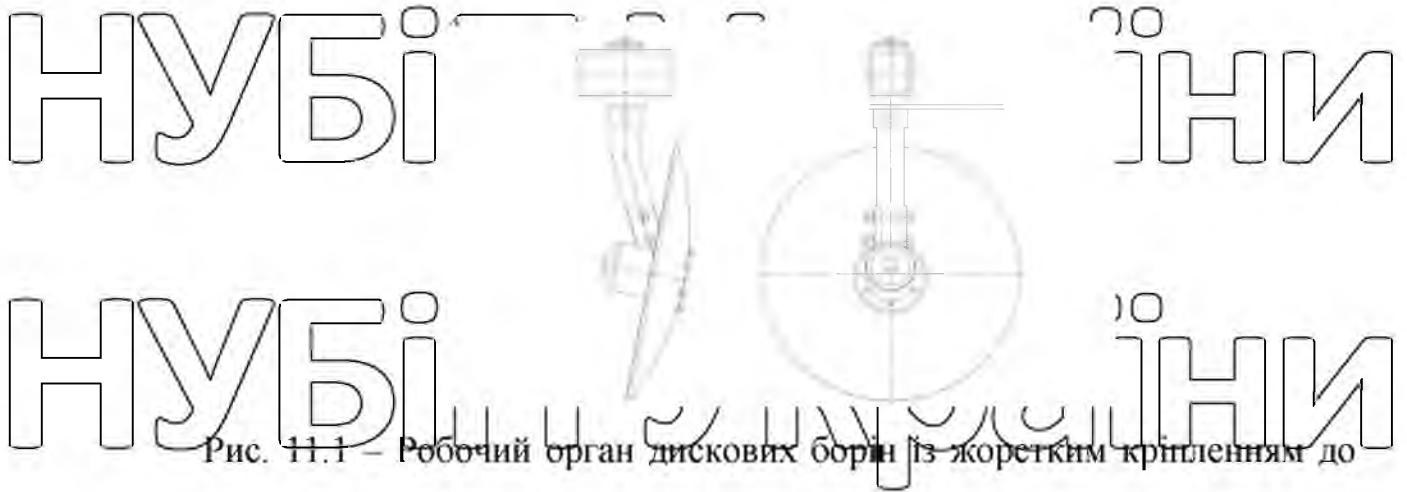


Рис. 11.1 – Робочий орган дискових борін із жорстким кріпленням до рами.

Дискові борони з таким кріпленням робочих органів за рівномірністю глибини їхнього ходу в ґрунті нічим не відрізняються від борон батарейного типу. Фірма Lemken (ФРН) застосовує практично на всіх своїх боронах диски, що встановлюються на попередньо натягнутих пружинних підвісках, що забезпечують постійний оптимальний тиск на диски (рис. 11.2).

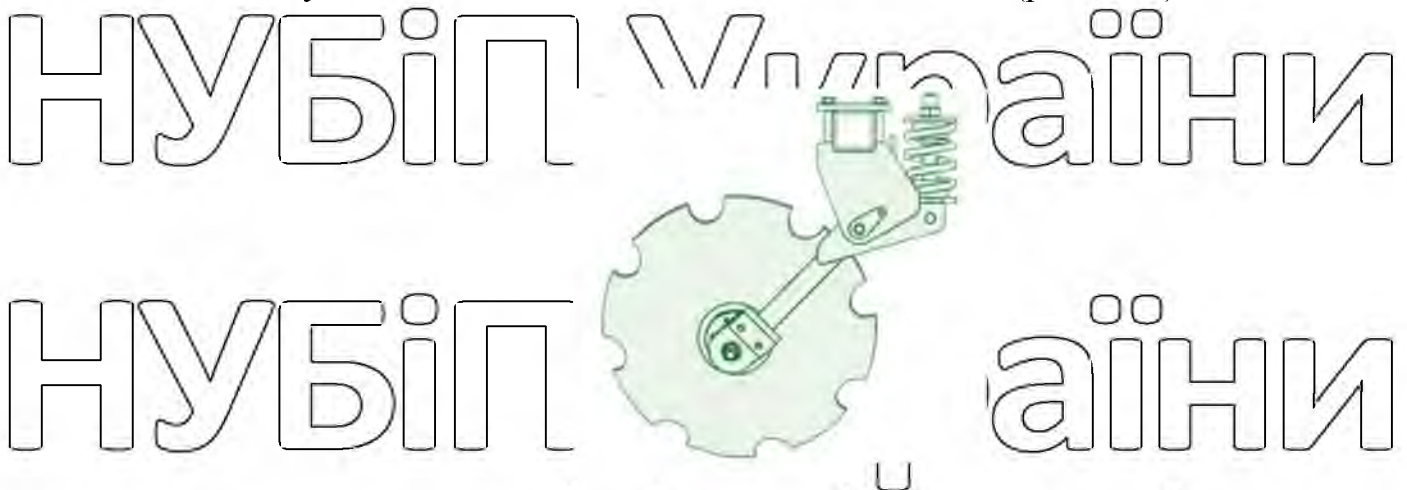


Рис. 11.2 – Пружна індивідуальна стійка робочих органів дискової борони Рубін 9 фірми Lemken (ФРН)

Така підвіска насамперед копіює профіль поля, забезпечуючи рівномірний по глибині обробіток ґрунту, захищає від поломки при зустрічі

робочого органу з випадковими перешкодами у вигляді каменів, корневих залишків та інших предметів. Крім того, така підвіска підвищує і технологічну надійність в цілому всієї борони за рахунок відносного коливання сусідніх робочих органів у поздовжньо вертикальній площині.

Велике поширення набули дискові борони з гумовими еластичними елементами конструкцій фірми Väderstadt (Швеція) та Amazone (ФРН) (рис.11.3). При налаштуванні борони на необхідну глибину гумові амортизатори отримують попередній натяг, який використовується для копіювання рельєфу поля. Фірма Agrisem (Франція), Gaspardo (Італія), ВАТ

"Бєлагромашсервіс" (Росія) встановлюють диски на стійках спірального типу (рис. 11.4)

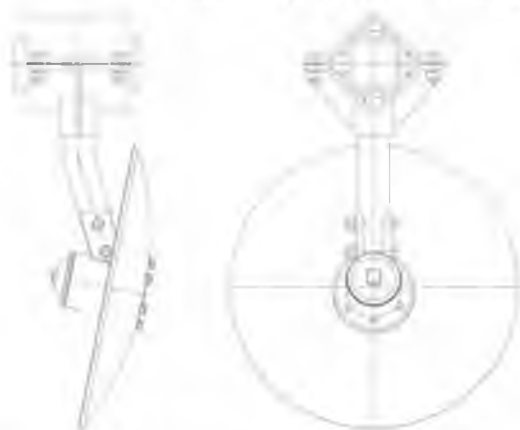


Рис. 11.3 – Гумові еластичні елементи з'єднання робочих органів дискових борін та луццільників з рамою.



Рис. 11.4 – Робочий орган дискового знаряддя на спіральній стійці.



Зазначається, що робочі органи на спіральній стійці, як і решта рухомих підвісок, добре захищені від поломок при наїзді на перешкоди, знижують опір за рахунок вібрації і підвищують технологічну надійність. У робочого органу дискового знаряддя (рис. 11.5) [15] підшипниковий вузол розташований із зовнішнього боку сфери диска, а спіраль орієнтована так, що від сил, що діють на диск, витки пружини скручуються і наближаються один до одного. При цьому жорсткість системи підвищується, що сприяє заглибленню робочого органу.

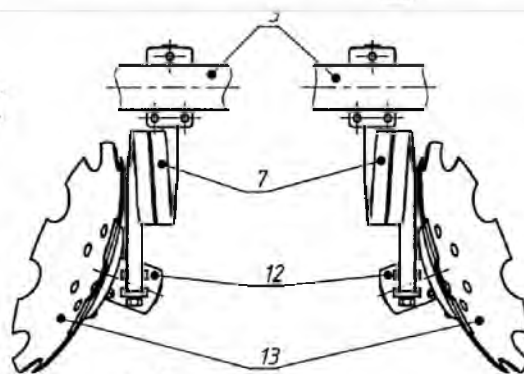


Рис. 11.5 - Робочий орган дискової збори за патентом № 104008 (Росія). Аналогічну роль грає дугподібна стійка, що застосовується на багатьох дискових боронах і мульчувальниках фірми Sunflower (США), ВАТ «Белагромашсервіс», «Промагро»1 та ін. (рис.11.6).

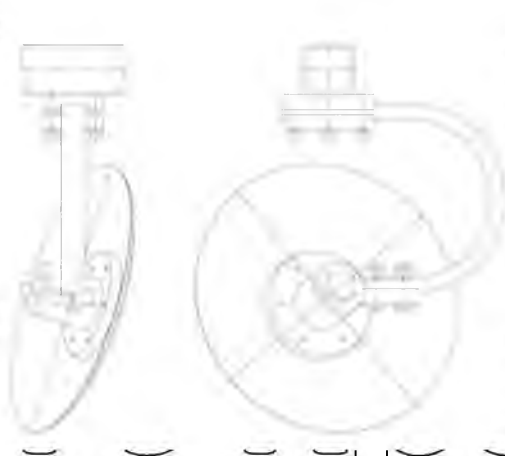


Рис. 11.6 - Робочий орган дискової борони, що мульчує, Д-820 «Домінанта» (Промагро).

Окремі виробники дискових борін та мульчувальників, намагаючись приховати неякісне копіювання та нерівномірність глибини обробки ґрунту



при демонстрації потенційним замовникам, збільшують глибину обробітку ґрунту та практично ніколи не розкривають дно борозни для оцінки. Для досягнення вищих показників за рівномірністю глибини обробітку ґрунту необхідно враховувати, як про це вже згадувалося, умови роботи знарядь - рельєф поля, наявність у ґрунті каміння та інших твердих включень, стан ґрунту.

Для оцінки рельєфу поля необхідно провести профіль його поверхні, за результатами якого можна знайти переважну довжину хвилі, що може бути достатньою обставиною для встановлення ширини рами.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦЯХ ПО ВІДНОВЛЕННЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДИСКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Система заходів з охорони праці повинна базуватися на виконанні комплексу наступних вимог: технічних, санітарних та правових. Для ознайомлення та постійного контролю знань робітників з правилами техніки безпеки на підприємстві, включаючи дільницю, на якій проводяться роботи по відновленню працездатності дискових агрегатів ґрунтообробних машин, повинні проводитись наступні види інструктажів: вступний, первинний, щоденний, періодичний. Всі робочі місця, побутові приміщення повинні відповідати санітарним нормам [5, 3].

До самостійної роботи допускаються особи, які ознайомилися з особливостями та прийомами безпечного виконання робіт та пройшли стажування протягом 2 - 14 змін під наглядом майстра чи бригадира (залежно від трудового стажу, досвіду та характеру робіт).

Дозвіл на самостійне виконання робіт (після перевірки отриманих знань та навичок) дає керівник робіт. Слід виконувати інструкції з охорони праці, правила внутрішнього розпорядку, вказівки керівника, працівників служби охорони праці та техніки безпеки та громадських інспекторів з охорони праці.

У процесі виробничої діяльності на працівників впливають такі небезпечні та шкідливі фактори: рухомі машини та механізми; рухомі частини виробничого устаткування; матеріали конструкції, що руйнуються; - відлітають уламки; підвищена або знижена температура поверхонь обладнання та матеріалів; підвищена напруга електричної мережі, при замиканні якої струм може пройти через тіло людини; гострі кромки, задирки, шорстка поверхня заготовок, інструменту та обладнання;

Щодо вимог до робочого місця ремонтної майстерні: розташування робочого місця на висоті щодо поверхні землі (підлоги); підвищені запиленість та загазованість робочої зони; підвищені рівень шуму та вібрації на робочому місці; підвищена або знижена вологість повітря; підвищена або

знижена температура повітря робочої зони; знижена чи підвищена рухливість повітря; недостатня освітленість робочого місця; підвищений рівень ультрафіолетового або інфрачервоного випромінювання; слизькі поверхні, забруднені хімічними речовинами, радіацією та пестицидами поверхні обладнання, машин та матеріалів.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори реалізуються в травми або захворювання при небезпечному стані машин, обладнання, інструментів, середовища та скоєння працівниками небезпечних дій.

Небезпечний стан машин, обладнання: відкриті обертові та рухомі частини машин та обладнання; слизькі поверхні; зашарашеність робочого місця сторонніми предметами; забруднення хімічними речовинами, радіацією та пестицидами машин, обладнання, інструменту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Згідно теми магістерської кваліфікаційної роботи «Дослідження технічного стану деталей дискових агрегатів та забезпечення їх надійності як складних систем» проведено комплекс досліджень.

1. Виконано аналіз існуючих конструкцій дискових агрегатів вітчизняного та закордонного виробництва, проаналізовані переваги та недоліки.

2. Проаналізовані конструкції дисків борін, встановлені причини виникнення відмов основних механізмів дискових агрегатів ґрунтообробних машин та зроблено аналіз закономірностей їх розподілу. Проведено аналіз технологій виробництва та відновлення працездатності дисків борін.

3. Виконано структурний аналіз надійності дискового агрегату як складної системи, вказані резерви підвищення показників безвідмовності та довговічності.

4. Приведені результати обґрунтування граничних та допустимих зносів деталей при ремонті, проведено прогнозування необхідної кількості резервних елементів дискових агрегатів ґрунтообробних машин. Розроблена конструкторсько-технологічні заходи підвищення надійності дискових знарядь.

5. Приведено комплекс заходів з охорони праці при відновленні працездатності дискових борін.

6. Обґрунтовано техніко-економічні показники забезпечення надійності при експлуатації дискових агрегатів. При впровадженні результатів магістерської роботи у виробництво буде одержаний річний прибуток у розмірі 6304 грн. при відновленні 200 дисків борін в умовах ремонтної майстерні.

7. За результатами магістерської роботи опубліковані тези доповідей в Збірниках тез на Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання», 2021 р..

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Novitskyi, S. Tarasenko Classification of monitoring systems for maintenance and repair of agriculture equipment. International periodic scientific journal «SWorld». Issue j116 (10), Volume 10, May 2016 . P. 35-37.

2. Андрей Новицкий. Логико-вероятностное моделирование надежности сложной сельскохозяйственной техники / Андрей Новицкий, Александр Банний // Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2016. – Vol. 14, №3. – P. 187 – 196.

3. Аттестация рабочих мест в колхозах и совхозах / В. Е. Ильченко, А. А. Колбасин, В. Я. Поддуонный, В. Д. Росляков. - Днепропетровск: Промінь, 1986. – 70 с.

4. Бабичев А. П., Бабичев И. А. Основы вибрационной технологии. — Ростов-на-Дону, 2008. — 694 с.

5. Бабусенко С.М. Проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий / С.М. Бабусенко // . – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 352с.: ил.

6. Банний О.О., Карабиньш С., Новицький А.В. Пневматичні сівалки та їхнє використання. Журнал Пропозиція, 2014, №4. – С. 148 – 152.

7. Банний А.А. Посев со знаком качества. / А.А. Банний, А.В. Новицький, С.С. Карабиньш // Журнал Зерно, 2013, №7. – С. 161 – 168.

8. Біловод О. І., Дудніков А. А. К вопросу износоустойкости рабочих органов свеклоуборочных комбайнов // Вісн. Харк. держ.техн. ун-ту ім. П. Василенка. Механізація сільського господарства. — 2007. — Вып. 59, Т. 1. — С. 288–293.

9. Боль А. А., Лесков С. П. Индукционная наплавка деталей в сельскохозяйственном машиностроении // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 72–75.

10. Бондарев С.І. Новицький А.В., Марченко В.В. Важкі дискові ґрунтообробні агрегати. – Agroexpert, 2021, №39. – С. 64–69.



11. Вишнеvский А. А., Костылев Ю. А., Остров Д. Д. Технология изготовления наплавленных дисковых ножей // Наплавка деталей металлургического и горного оборудования: Реф. сб. — М.: НИИ Информтяжмаш, 1978. — С. 15–18.

12. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини // Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилук. — К.: Урожай, 1994, — 241 с.

13. Волков Д. А. Удосконалення технології економнодегерованого наплавлення зносостійкого сплаву з використанням порошкового дроту: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Краматорськ, 2012. — 21 с.

14. Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А. Плазменная наплавка. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 292 с.

15. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол, В.Ю. Черкун — К., Урожай. — 1998. — 208 с.

16. Денисенко М. І., Войтюк В. Д. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин. Наук. вісник НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК, 2011. Вип. 166, Ч. 1. С. 274–284.

17. Денисенко М., Опальчук А. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин // Вісн. Терноп. нац. техн. ун-ту. 2011. Ч. 2. С. 201–210.

18. Дисковий копач коренезбиральної машини: Д.п. 56556А Україна, МКВ А01Д25/04/ Мартиненко В.Я., Козаченко О.В., Сичов І.П., Блезнюк О.В., Вовк Я.Ю., Павлов Я.А., Безпальок А.П. (Україна). 2002076009; Заявл. 19.07.2002; Опубл. 15.05.2003, Бюл. №5. — 2 с.

19. Дудников А. А., Горбенко О.В., Вилород О. И. Упрочняющая обработка вибрационным деформированием // Зб. наук. праць Луган. нац. аграрн. ун-ту. 2006. №68/91. С. 86–88.

20. Дюкарев А. И. Проектирование предприятий технического сервиса: методические указания / А. И. Дюкарев, Н. И. Зенкова // Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2012. – 51 с.

21. Карабиньош С.С. Мельник В.І., Новицький А.В. Гальванічні покриття – засіб відновлення працездатності деталей. Agroexpert, 2014, № 7. С. 56 – 60.

22. Кобець А. С., Пугач А. М. Методи і способи підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів // Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту. — 2010. — № 1. — С. 61–63.

23. Козаченко О.В., Блезнюк О.В. Новий метод зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин // Праці І Міжнародної науково-практичної конференції ТДТУ. Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин. – Тернопіль: ТДТУ, 2004. – С. 632 – 636.

24. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. Ч. 1. М.: ГОСНИТИ, 1985. – 144с.

25. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Підручник // А.І. Бойко, В. Ф. Гамалій, М. А. Зіновік, М. М. Косінов–Кіровоград: КНГУ, 2008. – 459 с.

26. Контактное плакирование рабочих органов почвообрабатывающих машин / Г. Е. Мамулия, Г. Ф. Муров, В. П. Тюленев, Г. Д. Диборова // Свароч. пр-во. — 1984. — № 2. — С. 37–39.

27. Кузнецов Ю. А., Гончаренко В. В. Восстановление и упрочнение лемехов плугов металлокерамическими пластинами // Вест. Рос. гос. аграр. заочн. ун-та. — 2007. — № 2. — С. 122–123.

28. Левитский И.С. Организация ремонта и проектирование сельскохозяйственных ремонтных предприятий М.: Колос, 1977. – 240 с.

29. Лехман С.Д., Рубльов В.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. К.: Урожай, 1993. 272 с.

30. Миклуш В.П. Ремонт машин. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие / Под общ. ред. В.П. Миклуша. Мн.: Издательство «БГАТУ», 2004. 496 с.

31. Мишин М.М. Проектирование предприятий технического сервиса: Учебное пособие / М.М. Мишин, П.Н. Кузнецов – Мичуринск : Изд-во МичАУ, 2008. 213 с.

32. Николаенко М. Р., Рымов Е. В. Новые технологические процессы электродуговой и электроконтактной наплавки быстроизнашивающихся деталей строительных и дорожных машин. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. 157 с.

33. Новицкий А.В. Мониторинг показателей качества работы персонала при обеспечении надежности сельскохозяйственной техники / А.В. Новицкий, С.Е. Тарасенко, И.С. Харьковский // Сборник научных трудов «SWorld». Том 2, выпуск №1 (42), 2016 г. С. 69 - 72.

34. Новицкий А.В. Формирование профессионально важных качеств слесарей-ремонтников при ТО и ремонте мобильных энергетических средств / А.В. Новицкий, Ю.А. Новицкий, А.И. Остапенко // Сборник научных трудов «SWorld». 2016. Том 2, выпуск №1 (42), С. 19 - 25.

35. Новицкий А.В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК, 2018. Випуск 282, С. 236-244.

36. Новицкий А.В. Логіко-імовірнісна модель надійності засобів для приготування і роздавання кормів / А.В. Новицкий, Ю.А. Новицкий // Сумський національний аграрний університет. – Суми, 2016. – С. 137 – 141.

37. Новицкий А.В. Мониторинг надійності людини-оператора при дослідженні складних технічних систем в сільському господарстві – Збірник наукових праць ЖНАУ, з нагоди ХУ Міжнародної наукової конференції

«Сучасні проблеми землеробської механіки» – Житомир, ЖНАУ, №2 (45), Т.4, Ч.2. – 2014. – С.110 – 120.

38. Новицький А.В. Моніторинг показників якості роботи персоналу при технічному обслуговуванні і ремонті сільськогосподарської техніки / А.В. Новицький // Науковий вісник НУБіПУ. Серія “Техніка та енергетика АПК” 241, частина 1. К., 2015. - С. - [www.spsl.nsc.ru/win/isitr/str\\_13h.htm](http://www.spsl.nsc.ru/win/isitr/str_13h.htm)

39. Новицький А.В., Марченко В.В. Лушильники, дискатори чи дискові брани: що обрати. Agroexpert, 2021, №3. С. 62 –70.

40. Новицький А.В., Соломка В.О., Соломка О.В. Моніторинг забезпечення сільськогосподарських підприємств технікою для кормо виробництва. - Науковий вісник НУБіПУ – Серія: техніка та енергетика АПК / – К., 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С.376 – 382

41. Обґрунтування граничних і допустимих при ремонті зносів деталей. Методичні вказівки // А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружило, С.С. Карабінюш, В.А. Сиволапов, О.О. Банний - К.: Видавничий центр НУБіПУ. – 2013. – 30 с.

42. Оборудование для текущего ремонта сельскохозяйственной техники. Справочник под ред. Черепанова С.С. – М.: Колос, 1981. – 256 с.

43. Оборудование для технического обслуживания и ремонта МТП. М.: ГОСНИТИ, 1988. – 48 с.

44. Основні напрямки індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, О. І. Король // Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту — 2008. — 13, № 4. — С. 100–109.

45. Пат. 59994 UA, МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин; Заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — № 201013152; Заявл. 05.11.2010; Опубл. 10.06.2011; Бюл. № 11.

46. Пат. 64371 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення сталевих деталей / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин; Заявник і власник Терноп. нац. техн.

ун-т ім. І. Пулюя. № 201103195; Заявл. 18.03.2011; Опубл. 10.11.2011;  
Бюл. № 21.

47. Пулюк Ч. В. Наплавка робочих узлов почвообробляючої и  
уборочної сільськогосподарської техніки (Обзор) // Автомат. сварка. —  
2003. - № 8. - С. 36–41. 5. Рабинович А. Ш. Самозатачивающиеся плужные  
лемехи и другие почворезущие детали машин. — М.: ГОСНИИ, 1962. —  
165 с.

48. Пулюк Ч. В. Технологічна та енергетична ефективність  
індукційного наплавлення тонких сталевих дисків: Автореф. дис. ... д-ра  
техн. наук. К., 2006. 37 с.

49. Ремонт машин і обладнання : підручник / О. І. Сідашченко, О. А.  
Науменко, Т. С. Скобло та ін.; за ред. проф. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка.  
— К.: Аграр Медіа Груп, 2014. — 632 с.

50. Ремонт машин. Підручник // К. А. Ачкасов, Е. И. Базаров, А. Н.  
Батинцев, Б. О. Богачев. М.: Агропромиздат, 1992. 561 с.

51. Ремонт машин. Підручник // Сідашченко О.І., Науменко О.А.,  
Поліський А.Я та інші. — К.: Урожай, 1994. — 394с.

52. Розроблення енергоощадних нагрівальних систем для  
індукційного наплавлення деталей сільськогосподарських машин / О. М.  
Шаблій, Ч. В. Пулюк, В. С. Сенчишин, В. Я. Гаврилук // Те саме. — 2011. —  
№ 4. — С. 107–120.

53. Ружило З.В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень  
надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного  
обслуговування і ремонту. Науковий журнал «Технічний сервіс  
агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків, 2016,  
Вип. 2. С. 223 – 231.

54. Серый И.С. Курсовое и дипломное проектирование по  
надежности и ремонту машин // И.С. Серый, А.Г. Смелов. — М.:  
Агропромиздат, 1991. — 308 с.



55. Соловух Е. К., Аулін В. В., Бобрицький В. М. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2005. Вип. 35. С. 153–159.

56. Сычёв И.П. Повышение долговечности режущих рабочих органов свеклоуборочных машин путём оптимизации параметров наплавленного слоя // Тракторы и сельхозмашины. 1985. №11. С. 48–51.

57. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.

58. Черноиванов В. И. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебное пособие / В. И. Черноиванов, В. В. Бледных, А. Э. Северный и др., под ред. В.И. Черноиванова – Москва-Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 992 с.

59. Электроконтактная наплавка дисковых ножей / В. П. Туркин, В. Г. Путилин, М. Р. Николаенко и др. // Автомат. сварка. 1978. № 2. С. 74–76.

60. Новицький А. В., Яковенко Д.О., Харьковський І.С. Аналіз особливостей зношування дискових робочих органів. Матеріали III Міжнародної наукової інтернет-конференції «Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice», 20-22 жовтня 2021 р. С. 316-317.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України