

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:**

**«Механізація вирощування соняшнику з вдосконаленням  
конструкції дискатора»**

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,  
групи АІ-23мб-1.1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_Капканець Віталій Віталійович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_Сергій ЛЕЩЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Рецензент

доцент, доктор техн. наук

\_\_\_\_\_Юрій КУЛЄШКОВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

м. Кропивницький

**Центральноукраїнський національний технічний університет**  
Факультет Агротехнічний  
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«   »     2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Капканець Віталію Віталійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування соняшнику з  
вдосконаленням конструкції дискатора

2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 16.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Консультант  | Підпис, дата   |                  |
|--------|--------------|----------------|------------------|
|        |              | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1-4    | Лещенко С.М. |                |                  |
|        |              |                |                  |
|        |              |                |                  |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи             | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Виконання розділів 1, 2                   |                               |          |
|       | Графічна частина арк. 1                   | 21.04.2026 р.                 |          |
| 2     | Виконання розділу 3                       |                               |          |
|       | Графічна частина арк. 2                   | 25.05.2026 р.                 |          |
| 3     | Виконання розділів 4, 5                   |                               |          |
|       | Графічна частина арк. 3                   | 12.06.2026 р.                 |          |
| 4     | Оформлення пояснювальної записки,         |                               |          |
|       | графічної частини, підготовка до захисту. | 24.06.2026 р.                 |          |
|       |                                           |                               |          |
|       |                                           |                               |          |

Дата видачі завдання  
«05» лютого 2026 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## **Анотація**

### **Тема: «Механізація вирощування соняшнику з вдосконаленням конструкції дискатора»**

**соняшник, лушення стерні, агротехнологія, дискатор ЛДВ-3,0, вирізний диск, зварний стояк, консольна рама, машинно-тракторний агрегат**

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності процесу поверхневого обробітку ґрунту під час вирощування соняшнику шляхом конструктивного вдосконалення важкого дискового лушильника ЛДВ-3,0. У роботі проведено детальний аналіз біологічних особливостей соняшнику, сучасних технологій його вирощування та визначено важливу роль лушення стерні попередника у збереженні продуктивної вологи та накопиченні поживних речовин.

Виявлено суттєві техніко-технологічні недоліки серійного лушильника ЛДВ-3,0 (виглиблення робочих органів на твердому ґрунті, забивання міждискового простору соломистою масою, недостатня жорсткість рами) та розроблено комплекс інженерних рішень для їх усунення. Запропоновано нову просторову зварну раму консольного типу, легкі індивідуальні зварні стояки, а також впроваджено комбіновану схему розміщення дисків (почергове встановлення вирізних дисків «ромашка» та суцільних сферичних дисків діаметром 450 мм у передньому ряду батарей).

На основі розширених тягово-енергетичних розрахунків обґрунтовано оптимальний склад машинно-тракторного агрегату у складі колісного трактора класу 3 (Т-150К) та модернізованого дискатора ЛДВ-3,0 на швидкісному режимі роботи (ІІ ряд, 3-тя передача, 12,78 км/год) з раціональним коефіцієнтом завантаження двигуна (70,7 %). Інженерно-технологічними розрахунками доведено, що змінна продуктивність модернізованого МТА на полі площею 120 га становить 24,23 га/зміну, а питома витрата палива знижується на 12,5 % і становить 7,18 л/га.

## **Abstract**

### **Topic: «Mechanization of Sunflower Cultivation with Advanced Design of the Disc Cultivator»**

**sunflower, stubble disking, agricultural technology, disc cultivator LDV-3.0, notched disc, welded tine, cantilever frame, tractor-implement unit**

The qualification thesis is dedicated to increasing the efficiency of the surface tillage process during sunflower cultivation through the structural improvement of the heavy disc cultivator LDV-3.0. The work provides a detailed analysis of the biological features of sunflower and modern technologies of its cultivation, defining the crucial role of previous crop stubble disking in preserving productive soil moisture and accumulating nutrients.

Significant technical and technological drawbacks of the serial cultivator LDV-3.0 (forced lifting of working tools on hard soils, clogging of the inter-disc space with straw mass, insufficient frame rigidity) were identified, and a complex of engineering solutions was developed to eliminate them. A new spatial welded frame of a cantilever type and lightweight individual welded tines were proposed. Furthermore, a combined scheme of disc placement was introduced, featuring the alternating installation of notched "chamomile" discs and solid spherical discs with a diameter of 450 mm in the front row of the sections.

Based on expanded traction and energy calculations, the optimal composition of the tractor-implement unit consisting of a class 3 wheel tractor (T-150K) and the modernized disc cultivator LDV-3.0 operating in a high-speed mode (II range, 3rd gear, 12.78 km/h) with a rational engine load factor (70.7%) was mathematically justified. Engineering and technological calculations proved that the hourly-shift productivity of the modernized unit on a 120-hectare field reaches 24.23 hectares/shift, while specific fuel consumption is reduced by 12.5% to 7.18 l/ha.

## ЗМІСТ

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Вступ.....                                                                                   | 6  |
| 2. Аналіз існуючої технології вирощування соняшнику та пошук<br>напрямків її удосконалення..... | 8  |
| 3. Операційна технологія виконання дискування.....                                              | 21 |
| 4. Інженерна частина.....                                                                       | 37 |
| 5. Охорона праці.....                                                                           | 56 |
| 6. Висновки .....                                                                               | 60 |
| Список використаної літератури .....                                                            | 62 |
| Додатки.....                                                                                    | 65 |

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

## 1. ВСТУП

Україна традиційно посідає чільні позиції серед провідних держав світу за обсягами виробництва та експорту високоякісної сільськогосподарської продукції рослинництва. Особливе місце в структурі вітчизняного агропромислового комплексу належить олійним культурам, серед яких явним лідером є соняшник. Забезпечення стабільно високої врожайності цієї стратегічної культури є запорукою економічної стійкості як окремих фермерських господарств, так і продовольчої безпеки держави в цілому.

Водночас сучасні умови господарювання висувають жорсткі вимоги до агротехнічного забезпечення виробничих процесів. Незважаючи на значний потенціал українських чорноземів, тривалі економічні труднощі, динамічні зміни клімату (що супроводжуються прогресуючим дефіцитом вологи) та висока вартість новітньої імпоротної техніки змушують аграріїв оптимізувати наявні машинно-тракторні засоби. Доволі часто інтенсифікація вирощування соняшнику без належного наукового обґрунтування призводить до порушення класичних сівозмін, переуцільнення та виснаження ґрунту. Це призводить до системного зниження рівня гумусу, руйнування структури ґрунту та загострення водної і вітрової ерозій, що є особливо критичним для степових та лісостепових зон України.

Саме тому високої актуальності набуває завдання оптимізації існуючих технологій вирощування соняшнику через модернізацію технічних засобів їх реалізації. Одним із найбільш критичних та енергоємних етапів у технологічному циклі є поверхневий обробіток ґрунту, зокрема післяжнивне лушення стерні попередника та весняна передпосівна підготовка. Якісне та своєчасне лушення забезпечує ефективне збереження залишкової вологи, покращує аерацію, активізує корисну мікробіологічну діяльність ґрунту та

|           |                |          |        |      |                       |      |         |
|-----------|----------------|----------|--------|------|-----------------------|------|---------|
|           |                |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ        |      |         |
|           |                |          |        |      |                       |      |         |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |         |
| Розроб.   | Капканець      |          |        |      | Пояснювальна записка  |      |         |
| Перевір.  | Леценко        |          |        |      |                       |      |         |
| Реценз.   |                |          |        |      |                       |      |         |
| Н. Контр. | Артеменко      |          |        |      |                       |      |         |
| Затверд.  | Васильковський |          |        |      |                       |      |         |
|           |                |          |        |      | Літ.                  | Арк. | Аркушів |
|           |                |          |        |      |                       | 6    |         |
|           |                |          |        |      | ЦНТУ, гр. АІ-23мб-1.1 |      |         |

стимулює проростання насіння бур'янів для їх подальшого механічного знищення.

На вітчизняних полях для виконання зазначених операцій тривалий час широко використовується важкий дисковий луцильник (дискатор) ЛДВ-3,0 виробництва Уманського заводу сільськогосподарського машинобудування. Даний агрегат за своїм конструктивним рішенням наближений до коротких дикових борін і здатний працювати в широкому діапазоні умов. Проте досвід тривалої польової експлуатації та аналіз результатів випробувань базової конструкції ЛДВ-3,0 виявляють суттєві технічні недоліки. При роботі на переущільнених, сухих або надмірно зволжених ґрунтах серійний луцильник часто демонструє нестабільну глибину ходу, схильність до швидкого забивання міждискового простору рослинними рештками та значний тяговий опір, що тягне за собою перевитрату паливно-мастильних матеріалів.

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесу механізації вирощування соняшнику шляхом обґрунтування та вдосконалення конструктивно-технологічних параметрів робочих органів і конструкції рами дискатора ЛДВ-3,0. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішити комплекс завдань: модернізувати будову рами агрегату, оптимізувати конфігурацію дискових батарей шляхом комбінованого застосування суцільних та вирізних сферичних дисків, знизити металомісткість стояків робочих органів та провести інші необхідні обґрунтування, що забезпечать високу ефективність використання зазначеного агрегату.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

## 2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ ТА ПОШУК НАПРЯМКІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

### 2.1. Біологічні особливості соняшнику, його господарське та агротехнічне значення та особливості вирощування і використання

Соняшник культурний (*Helianthus annuus L.*) (рис. 1) – потужна однорічна трав'яниста рослина родини Айстрових (Asteraceae). Його біологічні особливості визначають жорсткі вимоги до технології вирощування. Коренева система соняшнику – стрижнева, надзвичайно потужна. Головний корінь за сприятливих умов здатний проникати на глибину до 2–3 метрів, розгалужуючись переважно в орному та підорному шарах. Така архітектура підземної частини дозволяє рослині ефективно засвоювати вологу та поживні речовини з глибоких горизонтів ґрунту, що робить соняшник відносно посухостійкою культурою. Проте зворотним боком цієї особливості є сильне висушування підорних шарів ґрунту, що вимагає обґрунтованого та раціонального підходу до вологозберігаючих заходів у сівозміні.



Рис. 1. Соняшник. Біологічні та морфологічні властивості

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 8    |

Стебло рослини – пряме, міцне, зазвичай нерозгалужене, заввишки від 1 до 2,5 метрів, покрите жорсткими волосками. Воно виконує не лише опорну функцію, а й служить тимчасовим місцем зберігання для пластичних речовин. Листки – великі, черешкові, серцеподібні, з трьома головними жилками, розташовані на стеблі по спіралі. Потужний асиміляційний апарат рослини зумовлює високу потребу цієї культури в сонячній інсоляції (соняшник є культурою короткого дня з вираженим геліотропізмом). Суцвіття – багатоквітковий кошик діаметром 15–40 см. Плід – довгаста клиноподібна сім'янка, що складається з лушпиння та ядра.

Господарське значення соняшнику для аграрного сектору важко переоцінити. Це основна олійна культура, яка забезпечує понад 80–90% вітчизняного виробництва рослинних жирів. Сучасні гібриди соняшнику мають вміст високоякісної олії в ядрі на рівні 50–54%, а за показником збору олії з одиниці площі соняшник не має рівних у помірній зоні вирощування. Соняшникова олія широко використовується як безпосередньо в їжу а також є незамінною сировиною для маргаринової, миловарної, лакофарбової та фармацевтичної промисловості.

Окрім безпосереднього отримання олії, переробка соняшнику дає цінні побічні продукти:

- Шрот та макуха – концентровані високобілкові корми для тваринництва. Отриманий шрот містить до 35–40% сирого протеїну з багатим амінокислотним складом, що робить його незамінним компонентом при виробництві комбикормів.
- Лушпиння соняшнику використовується для пресування паливних пелет та брикетів, а також є сировиною для виробництва фурфуролу, кормових дріжджів та гідролізного спирту.
- Кошики (після обмолоту) є гарним соковитим чи грубим кормом для великої рогатої худоби за умови їх правильного силосування або подрібнення.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

З агротехнічної точки зору соняшник є доволі специфічним елементом агроценозу. Він звільняє поле порівняно рано (серпень–вересень), що залишає достатньо часу для проведення якісного основного обробітку ґрунту під наступні культури. Проте через глибоке винесення вологи та елементів живлення соняшник вважається виснажуючою культурою, що накладає обмеження на періодичність його повернення на колишнє місце.

## 2.2. Місце в сівозміні

Жорстке дотримання науково обґрунтованих сівозмін є фундаментальним принципом ресурсозбереження в агрономії та запорукою бездефіцитного балансу гумусу. Соняшник категорично заборонено вирощувати як монокультуру або повертати на те саме поле раніше ніж через 7–8 років. Нехтування цим правилом у сучасних комерціалізованих господарствах призводить до катастрофічного спалаху специфічних хвороб (біла та сіра гнилі, фомопсис, несправжня борошниста роса) та масового ураження посівів небезпечним рослиною-паразитом – вовчком соняшниковим (*Orobanche cumana* Wallr.).

Найкращими попередниками для соняшнику в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України є озимі та ярі зернові культури (озима пшениця, озиме жито, ячмінь), які вирощувалися по чистих або зайнятих парах. Зернові культури мають мичкувату кореневу систему, що розвивається переважно у верхніх шарах ґрунту, залишаючи недоторканими запаси вологи на глибині понад 1 метр, які потім активно використовує соняшник.

Допустимими попередниками є кукурудза на силос та зерно, а також сорго. Проте при розміщенні соняшнику після кукурудзи виникає серйозна технічна проблема – наявність великої кількості грубостеблових пожнивних решток, які потребують якісного та вчасного подрібнення та заробки, що підвищує вимоги до дискових ґрунтообробних машин.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

Абсолютно непридатними попередниками є культури, що мають спільні з соняшником хвороби (насамперед склеротиніоз) та глибокопроникаючу кореневу систему:

- соя, горох, нут, сочевиця та інші зернобобові культури;
- рапс озимий та ярий;
- цукрові та кормові буряки (вони висушують ґрунт на таку ж глибину, як і соняшник).

Нижче наведено приклад раціональної 7-пільної сівозміни для господарств Лісостепу та Північного Степу України, адаптованої з урахуванням мінімізації виснаження земель:

***Сидеральний пар → Озима пшениця → Соняшник → Ярі зернові →  
Кукурудза на силос → Озима пшениця → Ячмінь***

У наведеній схемі соняшник займає оптимальне місце, йдучи після озимої пшениці. За таких умов забезпечується тривалий період відновлення живлення ґрунту перед його повторним поверненням на це ж поле.

### **2.3. Система удобрення соняшнику**

Соняшник відрізняється високим рівнем винесення елементів живлення із ґрунту. Для формування 1 тонни товарного насіння з відповідною кількістю побічної продукції рослини засвоюють з ґрунтового розчину:

- азот (N): 50–60 кг;
- фосфор ( $P_2O_5$ ): 25–30 кг;
- калій ( $K_2O$ ): 100–120 кг.

Проте, на відміну від багатьох інших сільськогосподарських культур, соняшник має унікальну здатність завдяки потужній кореневій системі використовувати важкорозчинні форми фосфатів та калійні сполуки з глибоких шарів. Система удобрення будується за триетапним принципом: основне, припосівне (рядкове) та позакореневе підживлення.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 11   |

Основне удобрення вноситься під глибоку зяблеву оранку або глибоке чизелювання восени. Саме в цей період доцільно вносити повну норму фосфорних та калійних мінеральних добрив (наприклад, суперфосфат, калій хлористий або комплексні нітроамофоску чи діамофоску). Переміщення фосфору і калію в глибокі вологий шари ґрунту забезпечує стабільне живлення культури в критичні літні місяці. Органічні добрива (напівперепрілий гній або дефека́т на кислих ґрунтах) є надзвичайно ефективними, але їх краще вносити під попередник (озиму пшеницю), оскільки пряме внесення гною під соняшник може затягнути вегетаційний період і спровокувати спалах грибкових хвороб.

Припосівне удобрення реалізується безпосередньо під час сівби за допомогою туковисівних систем сівалок точного висіву. Добрива вносяться з обов'язковим зміщенням вбік на 5 см та вглиб на 5 см від лінії залягання насіння, щоб уникнути сольового опіку молодих сходів рослини. Використовують невеликі дози легкодоступного азоту та фосфору ( $N_{10-15} P_{15-20}$ ) для стимулювання швидкого стартового росту кореневої системи.

Позакореневе підживлення проводиться у фазі 4–6 листків (інтенсивний ріст). Особливу увагу приділяють мікроелементу Бору (В). Соняшник дуже чутливий до дефіциту бору, який відповідає за еластичність тканин стебла, проростання пилку, процеси запліднення та формування виповненого насіння в центрі кошика. При виявленні браку бору рослини утворюють пусті кошики або ламаються біля основи. Внесення борних мікродобрив у дозі 1–1,5 л/га повністю нівелює перелічені ризики.

## 2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні соняшнику

Науково обґрунтована система обробітку ґрунту під соняшник спрямована на максимальне накопичення та збереження продуктивної вологи, якісне подрібнення пожнивних решток попередника та створення пухкого,

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 12   |

глибокого орного шару без ущільнених зон (плужної підшви). Обробіток поділяється на осінній (основний) та весняний (передпосівний).

*Осінній комплекс робіт (основний обробіток).*

Безпосередньо слідом за проходом зернозбирального комбайна, який збирав попередник (озиму пшеницю), обов'язково проводиться поверхнєве лущення стерні. Застосування для цієї операції лемішних лушильників є малоефективним через їх малу ширину захвату та високу енергомісткість. Раціональним технічним рішенням є використання важкого дискового лушильника (дискатора) ЛДВ-3,0. Лущення проводиться на глибину 6–8 см упоперек напрямку руху комбайна зі швидкістю 10–11 км/год.

Такий агротехнічний прийом дозволяє:

- перервати капілярне підтягування вологи з нижніх шарів, створюючи затіняючий мульчуючий шар на поверхні;
- подрібнити та перемішати соломі з верхнім шаром ґрунту, що прискорює її мінералізацію;
- спровокувати бур'яни та падалицю пшениці до дружного проростання.

Через 2–3 тижні, після появи масових сходів бур'янів, проводять повторне дискування на глибину 10–12 см для їх повного знищення. Наприкінці вересня або на початку жовтня реалізують глибокий обробіток: зяблеву оранку плугом з передплужниками на глибину 28–30 см або глибоке чизелювання на 32–35 см для руйнування плужної підшви.

*Весняний комплекс робіт (передпосівний обробіток).*

Навесні, при настанні фізичної стиглості ґрунту, виконують ранньовесняне боронування (закриття вологи) за допомогою зубових борін або шлейф-борін упоперек напрямку осінньої оранки. Передпосівна культивування проводиться безпосередньо в день сівби на глибину загортання насіння (5–6 см). Для цього також може залучатися модернізований дискатор ЛДВ-3,0 з мінімальним кутом атаки дискових батарей 10°, що забезпечує

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 13   |

якісне вирівнювання поверхні поля та формування щільного насіннєвого ложа.

## 2.5. Підготовка насіння до сівби і сівба соняшнику

У сучасному промисловому виробництві підготовка насіння до сівби здійснюється переважно на спеціалізованих насіннєвих заводах, що гарантує високу якість посівного матеріалу та захист інтелектуальної власності селекціонерів. Посівний матеріал соняшнику повинен відповідати жорстким стандартам: лабораторна схожість не нижче 85–90%, чистота – від 98%, вологість – не більше 10–12%.

Заводська підготовка посівного матеріалу включає:

- Калібрування – поділ насіння на чіткі розмірні фракції (по масі 1000 насінин та геометричних розмірах), що є критично важливим для точного пневматичного або механічного висіву сівалками точного висіву.
- Інкрустація (протруєння) – нанесення на поверхню насінини комплексу захисних речовин. Сюди входять фунгіцидні протруювачі (для захисту від пероноспорозу, фомопсису, білої гнилі) та інсектицидні препарати (проти дротяників, шипоноски, сірого бурякового довгоносика). Крім того, до складу захисної оболонки додають стимулятори росту та мікроелементи (цинк, марганець, бор).

Сівбу соняшнику розпочинають, коли ґрунт на глибині загортання насіння (5–6 см) стабільно прогріється до температури +10...12° С. Занадто рання сівба в холодний ґрунт призводить до тривалого перебування насіння в землі, затримання сходів та ураження пліснявою, а запізнїла – до втрати вологи у верхньому шарі та зрідження посівів.

Сівбу проводять виключно пунктирним способом з шириною міжрядь 70 см. Застосовують сівалки точного висіву (наприклад, УПС-8, ССТ-12А або сучасні закордонні аналоги Kinze, John Deere) в агрегаті з тракторами класу

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 14   |

1,4–2,0. Норма висіву розраховується таким чином, щоб забезпечити оптимальну густоту стояння рослин на період збирання, яка залежно від зони зволоження становить:

- достатнє зволоження (Лісостеп): 55–60 тис. рослин/га.;
- недостатнє зволоження (Степ): 45–50 тис. рослин/га.

Глибина загортання насіння на середньосуглинкових чорноземах становить 5–6 см. За умов пересихання верхнього шару глибину збільшують до 7–8 см із обов'язковим прикочуванням рядків для покращення контакту насіння з вологим ґрунтом.

## 2.6. Догляд за посівами

Комплекс заходів по догляду за посівами соняшнику спрямований на створення максимально сприятливих умов для росту культури, знищення бур'янів та запобігання утворенню ґрунтової кірки. Специфіка початкового розвитку соняшнику полягає в тому, що від сходів до фази утворення кошика (перші 30–40 днів) він росте порівняно повільно і може сильно пригнічуватися бур'янами чи іншою рослинністю.

Механічні методи догляду за посівами соняшнику наступні.

Досходове боронування, яке проводиться через 4–5 днів після сівби, але не пізніше ніж за 2–3 дні до появи сходів соняшнику. Використовують легкі зубові борони ЗБП-0,6 або сітчасті борони. Рух агрегату здійснюється впоперек або по діагоналі до напрямку рядків на швидкості до 4–5 км/год. Цей прийом дозволяє знищити до 80–90% бур'янів у фазі «білої ниточки» та зруйнувати капілярну кірку.

Міжрядні культивації, яких за період вегетації проводять 1–2 міжрядні обробки просапними культиваторами КРН-5,6 або УСМК-5,4А. Першу культивацію роблять при появі першої пари листків на глибину 6–8 см з використанням лап-бритв та захисних дисків для запобігання присипанню молодих рослин землею. Другу культивацію виконують через 10–14 днів на

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 15   |

глибину 8–10 см долотоподібними лапами для розпушування підірваного шару.

Хімічні методи догляду. Сучасні технології (зокрема вирощування гібридів, стійких до імідазолінонів та трибенурон-метилу – технології Clearfield та Express) передбачають внесення селективних післясходових гербіцидів, які повністю очищають посіви від дводольних та злакових бур'янів, включаючи вовчок соняшниковий. При класичній технології доцільно використовувати досходові ґрунтової дії гербіциди (прометрин, ацетохлор) безпосередньо під передпосівну культивуацію.

## 2.7. Збирання врожаю соняшнику

Збирання врожаю є фінальним і найбільш відповідальним етапом, від чіткої організації якого залежать мінімізація втрат та якість отриманої олійної сировини. Соняшник досягає фізіологічної стиглості, коли кошики масово жовтіють, а тильна сторона голівки стає бурюю (вологість насіння в цей момент коливається в межах 20–25%). Пряме комбайнування за такої вологості ускладнене через високе травмування сирого насіння та значні витрати енергії на його подальше сушіння. Оптимальним для початку прямого комбайнування є період, коли 80–85% кошиків стають сухими та бурими, а вологість насіння знижується до 12–14%.

У регіонах із підвищеною вологістю або при затяжній дощовій осені, коли виникає високий ризик розвитку гнилей кошика, проводять десикацію посівів. Це механізм штучного підсушування рослин на корні за допомогою хімічних препаратів (на основі диквату або гліфосату). Десикацію виконують за допомогою самохідних висококліренсних обприскувачів або дронів, коли вологість насіння становить 25–30% (приблизно за 7–10 днів до наміченого збирання). Цей захід дозволяє:

- знизити вологість насіння до необхідних 7–8%, що виключає потребу в дорогому термічному сушінні;

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 16   |

- призупинити розвиток небезпечних хвороб;
- уніфікувати дозрівання культури та розпочати збирання на 1–2 тижні раніше.

Для збирання соняшнику використовують сучасні зернозбиральні комбайни (наприклад, КЗС-950 «Руслан», «Славутич», John Deere, Claas Lexion), обов'язково докомплектовані спеціалізованими жниварками для соняшнику (пристосування типу ПСП або ліфтери). Використання звичайних зернових жниварок неприпустиме, оскільки воно призводить до підвищених втрат (до 20–30%) через витрушування насіння на землю при контакті мотовила з сухими кошиками.

Налаштування молотильного апарату комбайна має свої особливості: частоту обертання барабана знижують до мінімальних 300–400 об/хв, а зазори між барабаном і підбарабанням збільшують, щоб уникнути обривування та подрібнення ядер насіння, оскільки пошкоджене насіння швидко окислюється, що різко підвищує кислотність отриманої олії. Очищене насіння з бункера комбайна відвозиться на тік для швидкої первинної очистки від залишків кошиків та бур'янів.

## **2.8. Обґрунтування доцільності використання дискатора ЛДВ-3,0 при вирощуванні соняшнику та аналіз його недоліків, що потребують вдосконалення**

Впровадження енергозберігаючого мінімального обробітку ґрунту при вирощуванні соняшнику базується на широкому застосуванні важких дискових луцильників (дискаторів), серед яких найбільш доступним для вітчизняного аграрія є ЛДВ-3,0. Використання цього агрегату в технологічній схемі вирощування олійної культури є високодоцільним з кількох причин. По-перше, ЛДВ-3,0 забезпечує високу продуктивність роботи основного часу (до 3,6 га/год), що дозволяє виконати луцення стерні попередника в критично стислі агротехнічні строки (впродовж 3–5 днів після збирання). По-друге,

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 17   |

дискатор забезпечує високу якість кришення ґрунту (до 99,6% часток розміром менше 50 мм) та майже 100% підрізання бур'янів, що формує вирівняний агрофон.

Проте детальний аналіз конструкції та тривалий досвід експлуатації базової моделі ЛДВ-3,0 дозволили виявити низку суттєвих недоліків, які значно обмежують ефективність цього агрегату і потребують модернізації, зокрема:

1. Ненадійна рама агрегату та недоліки механізму регулювання. Серійна модель дискатора базується на застарілій багатоланковій складній рамі з боковими розпірними брусами. Налаштування кута атаки дискових батарей здійснюється вручну за допомогою штирів та пальців, що вимагає зупинки агрегату, значних фізичних зусиль механізатора та суттєво знижує коефіцієнт використання часу зміни. При роботі на підвищених швидкостях (понад 12 км/год) такій рамі недостає просторової жорсткості, що забезпечує підсакування агрегату та нерівномірне заглиблення робочих органів.

2. Використання в межах однієї батареї робочих органів однакової будови. У базовій конструкції на ЛДВ-3,0 встановлені виключно сферичні диски із суцільним гладким лезом. Гладкі диски мають низьку динамічну дію на ґрунтове середовище, працюють за принципом плавного кочення і при роботі на сухих, твердих чорноземах або полях з великою кількістю грубих рослинних залишків кукурудзи чи соняшнику просто виглиблюються, втрачаючи здатність тримати заданий горизонт обробітку. Крім того, гладкі кромки схильні до залипання вологим ґрунтом, що веде до забивання міждискового простору та різкого зростання тягового опору.

3. Литі стояки дискових батарей. Елементи кріплення батарей до рами агрегату виконані у вигляді масивних литих стояків. Вони мають надмірну вагу, є крихкими при зіткненні з прихованими в землі перешкодами (каміння, коріння дерева) та значно здорожчують собівартість виробництва машини через високу собівартість виготовлення стояків такої конструкції.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

Напрямки модернізації дискатора, запозичені з передових світових аналогів преміум-класу (Lemken Rubin 12, Kuhn Discover XM2, Bednar SwifterDisc XO) та адаптовані для ЛДВ-3,0, передбачають наступне:

- проектування нової жорсткої зварної рами консольної конструкції, яка забезпечить стабільність ходу на швидкостях до 14–15 км/год;
- забезпечення комбінованого чергування основних робочих органів у передньому ряду батарей (почергово встановлюються суцільний гладкий та вирізний сферичний диски). Вирізні диски за рахунок фігурної кромки краще проникають у твердий ґрунт, інтенсивно подрібнюють товсті стебла та забезпечують самоочищення агрегату від залипання;
- заміна литих деталей на нові зварні стояки секцій, що дозволить знизити загальну конструктивну масу машини на 8–12%, покращити копіювання рельєфу поля та суттєво скоротити виробничі витрати заводу-виробника.

### **Короткі висновки по розділу**

Соняшник є найважливішою високорентабельною технічною культурою України, біологічні особливості якої (потужний розвиток надземної та підґрунтової біомаси) потребують створення глибокого, пухкого, вологозберігаючого орного шару та ретельного контролю фітосанітарного стану поля.

Встановлено, що соняшник висушує та зневоднює нижні горизонти ґрунту, тому його повернення на попереднє поле допускається не раніше ніж через 7–8 років, а найкращими попередниками визначено озимі зернові культури, які не мають спільних з ним інфекційних збудників хвороб.

Оптимальна система обробітку ґрунту обов'язково повинна базуватися на якомого швидшому післяжнивному луценні стерні попередника, що є

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ВСДП 00.000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

базовим інструментом закриття вологи та провокування проростання насіння бур'янів.

Обґрунтовано, що використання важкого дискового луцильника (дискатора) ЛДВ-3,0 для поверхневого обробітку є технологічно виправданим, проте його серійна конструкція (застаріла конструкція рами, недостача жорсткості, використання лише гладких дисків та важких литих стояків) має серйозні недоліки, які призводять до виглиблення дисків під час роботи, забивання рослинними рештками та підвищеного споживання палива.

Визначено чіткі інженерні напрямки модернізації дискатора (розробка консольної зварної рами, комбінування вирізних та гладких дисків на батареях, впровадження легких зварних стояків), реалізація яких дозволить підвищити робочу швидкість до 14 км/год, збільшити ширину захвату агрегату до 3150 мм, досягти 15–20% економії пального та значно знизити собівартість виготовлення агрегату.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

### 3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ДИСКУВАННЯ

#### 3.1. Умови роботи

Проектування та комплексне обґрунтування операційно-технологічної карти поверхневого обробітку ґрунту під соняшник базується на системному аналізі вихідних фізико-механічних показників агрофону, рельєфних характеристик робочої ділянки та біокліматичних умов періоду виконання робіт. Об'єктом інженерного проектування є операція пожнивного лушення стерні попередника (озимої пшениці) з одночасним розпушуванням, подрібненням рослинних решток та вирівнюванням верхнього шару ґрунту.

Розширений аналіз фізико-механічних показників агрофону наведені нижче.

*Тип ґрунту та гранулометричний склад.* Чорнозем звичайний важкосуглинковий, характерний для Степової та Південно-Східної Лісостепової зон України. Частка агрономічно цінних водотривких агрегатів становить 55–60%, проте під впливом ходових систем важкої сільськогосподарської техніки спостерігається локальне руйнування структури ґрунту.

*Твердість ґрунту в орному та поверхневому шарах (0...15 см).* Величина об'ємного опору деформації (твердість за приладом Ревякіна або твердоміром за методом Догова) коливається в межах  $\rho = 2,2...3,1$  МПа. Наведені високі показники зумовлені ущільнюючою дією ходових систем, зокрема важких зернозбиральних комбайнів та великовантажних автомобілів-зерновозів безпосередньо під час жнив у суху погоду.

*Абсолютна вологість ґрунту.* Показник становить  $W = 15...19$  %. Це нижня межа діапазону оптимальної фізичної стиглості ґрунту. За такої вологості ґрунт здатний кришитися на дрібні структурні елементи без утворення пилу та великих брил, проте він виявляє підвищений питомий опір різанню та зсуву.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

*Висота стерні та біомаса рослинних решток.* Середня висота зрізання стебел озимої пшениці зернозбиральним комбайном становить  $h_{\text{ст}} = 16 \dots 22$  см. Орієнтовна щільність покриття поверхні поля соломистою масою та пожнивними рештками становить  $M_{\text{pp}} = 4,2 \dots 4,8$  т/га. Солома подрібнена штатним подрібнювачем комбайна і хаотично розподілена по ширині проходу жниварки, що створює ризик утворення зон підвищеної концентрації рослинного матеріалу («солом'яних подушок»).

Кінематичні та топографічні параметри робочої ділянки поля є наступними.

Просторові розміри поля. Загальна площа поля становить  $S = 120$  га. Конфігурація поля – правильний витягнутий прямокутник з геометричними розмірами: довжина гону  $L = 1200$  м та ширина робочої ділянки  $B = 1000$  м. Співвідношення сторін 1,2:1 є сприятливим для мінімізації кількості необоротних поворотів МТА та забезпечує високе значення коефіцієнта використання змінного часу.

Рельєф і макропрофіль ґрунту. Поверхня поля характеризується рівнинним рельєфом, загальний нахил (ухил місцевості) не перевищує  $\alpha = 1,2 \dots 1,5^\circ$ . Локальні нерівності у вигляді мікрозападин та гребенів від попередніх обробітків не перевищують  $\pm 4$  см. Невеликий нахил місцевості дозволяє знехтувати у розрахунках складовими сили тяжіння, що діють уздовж і впоперек осі агрегату, та прийняти силу тяги трактора сталою незалежно від напрямку робочого ходу.

Питомий опір ґрунту. Базове аналітичне значення питомого опору для дискових робочих знарядь на середньо- та важкосуглинкових чорноземах за стандартної швидкості  $v_0 = 5$  км/год становить  $k_0 = 3,6$  кН/м.

### 3.2. Агротехнічні вимоги

Якість виконання поверхневого дискового обробітку є основою для створення сприятливого водно-повітряного та теплового режимів ґрунту, що

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

напрямку визначає дружність сходів соняшнику. Будь-які відхилення від регламентованих параметрів розглядаються як порушення технологічної дисципліни.

1. Календарні та агротехнічні строки. Операція лушення стерні має розпочинатися слідом за проходом збирального комбайна – «слід у слід». Гранично допустимий технологічний розрив між збиранням зернової культури та дисковим обробітком становить не більше 24–48 годин. Перевищення цього терміну призводить до інтенсивного випаровування залишків продуктивної вологи через відкриті капіляри відрізаних стебел. Капілярні втрати вологи сягають до 120...170 м<sup>3</sup>/га за добу, що критично в умовах літнього дефіциту опадів.

2. Глибина обробітку та стабільність ходу. Задана технологічна глибина ходу дискових робочих органів для першого післяжнивного проходу становить  $a = 6...8$  см. Середньоквадратичне відхилення фактичної глибини від заданого значення за результатами вимірювань не повинно перевищувати  $\pm 1,0$  см. Занадто мілкий обробіток  $< 5$  см не забезпечить належного перерізання кореневих систем бур'янів, а надмірно глибокий  $> 10$  см призведе до перевитрати палива та заробки насіння бур'янів у глибокі шари, де рослинність перейде у стан анабіозу.

3. Дисперсність структури та кришення. Вміст агрономічно цінних структурних фракцій розміром від 1 до 25 мм у розпушеному мульчуючому шарі має становити не менше 85...90 % від загальної маси ґрунту. Наявність великих ерозійно-небезпечних брил діаметром понад 50 мм у верхньому горизонті категорично не допускається. Оброблена поверхня повинна мати дрібногрудкувату структуру для запобігання вітровій та водній ерозії.

4. Ступінь підрізання та сепарації решток. Коефіцієнт повного підрізання вегетуючих бур'янів та падалиці попередника має становити 100 %. Не допускається наявність «зелених стрічок» або пропущених ділянок (огріхів). Ступінь подрібнення та заробки рослинних решток озимої пшениці

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 23   |

у верхній шар ґрунту має становити не менше 92 %. Довжина подрібнених часток соломи після проходу модернізованого дискатора повинна знаходитися в межах 5...10 см. Рослинні залишки мають бути рівномірно перемішані з ґрунтом в усьому обробленому шарі, утворюючи композитний органо-мінеральний захисний шар.

5. Параметри мікрорельєфу. Висота гребенів на дні утвореної борозни та хвилястість поверхні поля після проходу МТА не повинні перевищувати 2,0 см. Суміжні проходи дискатора виконують із взаємним боковим перекриттям на величину  $\Delta b = 15...20$  см. Це повністю виключає появу необроблених смуг між проходами через динамічні коливання трактора.

### 3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

#### 3.3.1. Обґрунтування вибору енергетичного засобу та робочої машини

Для реалізації інтенсивного швидкісного лушення стерні на важких ґрунтах необхідний енергетичний засіб, здатний стабільно розвивати високі тягові зусилля в діапазоні швидкостей 10...14 км/год. Традиційні трактори класу 1,4 (наприклад, МТЗ-82) не здатні забезпечити роботу важкого дискатора ЛДВ-3,0 з необхідною швидкістю через брак потужності двигуна та недостатню зчіпну масу, що призводить до пробуксовування рушіїв понад 25 %.

Виходячи з техніко-технологічних параметрів модернізованого дискатора ЛДВ-3,0 (робоча ширина захвату 3,0 м, збільшена за рахунок кута атаки глибина ходу, комбіновані вирізні диски типу «ромашка»), як базовий енергетичний засіб обрано колісний трактор загального призначення Т-150К (тяговий клас 3). Його конструктивні особливості забезпечують низку експлуатаційних переваг:

- двигун ЯМЗ-236Д потужністю  $N_e = 129$  кВт (175 к.с.) із високим коефіцієнтом запасу крутного моменту (15 %);

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 24   |

- повнопривідна ходова система ( $4 \times 4$ ) з однаковими розмірами передніх і задніх коліс, що забезпечує низький питомий тиск на ґрунт та високі зчіпні властивості на стерні;
- шарнірно з'єднана рама, яка дозволяє здійснювати повороти за рахунок «злому» напіврам, що мінімізує радіус розвороту та виключає сильне зсування верхнього шару ґрунту рушіями.

### 3.3.2. Аналітичний розрахунок складу та тягово-енергетичного балансу МТА

Проведемо повний математичний розрахунок експлуатаційних параметрів машинно-тракторного агрегату Т-150К + ЛДВ-3,0 за методикою тягової характеристики енергозасобу.

Вихідні константи для розрахунку наступні:

- номінальна потужність дизельного двигуна –  $N_e = 129$  кВт;
- експлуатаційна маса трактора –  $M_{mp} = 8150$  кг;
- вага трактора –  $G_{mp} = M_{mp} \cdot g = 8150 \cdot 9,81 = 79,95$  кН;
- коефіцієнт корисної дії трансмісії –  $\eta_{mp} = 0,88$ ;
- коефіцієнт опору коченню трактора по стерні –  $f = 0,11$ ;
- робоча ширина захвату дискатора –  $B_p = 3,0$  м;
- маса модернізованого дискатора –  $M_m = 2150$  кг; вага  $G_m = 21,1$  кН;
- базовий питомий опір ґрунту при  $v_0 = 5$  км/год –  $k_0 = 3,6$  кН/м;
- коефіцієнт динамічного приросту питомого опору  $\Delta k = 4\%$  на кожен 1 км/год збільшення швидкості.

*Дослідження кінематики та тягового опору на II ряду 2-ї передачі коробки передач.*

Теоретична (технічний паспорт) швидкість руху трактора на даній передачі становить  $v_{m2} = 11,5$  км/год = 3,19 м/с. Очікуване буксування

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

колісних рушіїв на щільній стерні озимих за даного навантаження становить  $\delta_2 = 12\% = 0,12$ .

Реальна робоча швидкість руху ґрунтообробного агрегату складе:

$$v_{p2} = v_{m1} \cdot (1 - \delta_2) = 11,5 \cdot (1 - 0,12) = 10,12 \text{ км/год} = 2,81 \text{ м/с.}$$

Розрахуємо питомий опір ґрунту з урахуванням швидкісного фактора  $k_v$ :

$$k_v = k_0 \cdot \left[ 1 + \frac{\Delta k}{100} \cdot (v_{p2} - v_0) \right] = 3,6 \cdot \left[ 1 + \frac{4}{100} \cdot (10,12 - 5) \right] = 4,337 \text{ кН/м.}$$

Повний тяговий опір модернізованого дискатора ЛДВ-3,0 на обраній швидкості дорівнює

$$R_{m2} = B_p \cdot k_v = 3,0 \cdot 4,337 = 13,01 \text{ кН.}$$

Визначимо потенційні енергетичні можливості трактора Т-150К. Дотична сила тяги на ободі коліс є рівною

$$P_{\kappa 2} = \frac{N_e \cdot \eta_{mp}}{v_{m2}} = \frac{129 \cdot 0,88}{3,19} = \frac{113,52}{3,19} = 35,59 \text{ кН.}$$

Сила опору коченню самого трактора може бути розрахована за формулою:

$$P_f = G_{mp} \cdot f = 79,95 \cdot 0,11 = 8,79 \text{ кН.}$$

Максимально допустиме зусилля на гаку трактора при роботі на обраній передачі, обмежене потужністю двигуна

$$P_{\text{з.дон2}} = P_{\kappa 2} - P_f = 35,59 - 8,79 = 26,80 \text{ кН.}$$

Проведемо перевірку обмеження за зчепленням ходової системи трактора із ґрунтом

$$P_{\text{з.зч}} = G_{mp} \cdot \varphi_{\text{зч}} - P_f,$$

де  $\varphi_{\text{зч}}$  – коефіцієнт зчеплення шин із агрофоном стерні зернових,  $\varphi_{\text{зч}} = 0,52$ .

$$P_{\text{з.зч}} = 79,95 \cdot 0,52 - 8,79 = 41,57 - 8,79 = 32,78 \text{ кН.}$$

Оскільки  $P_{\text{з.дон2}} < P_{\text{з.зч}}$ , що в числовому вираженні має вигляд:

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

$$26,80 \text{ кН} < 32,78 \text{ кН},$$

а отже – зчеплення коліс з ґрунтом є цілком достатнім, буксування не вийде за рамки норми, а лімітуючим фактором виступає виключно енергетика двигуна.

Оцінимо коефіцієнт завантаження трактора за тягою

$$\eta_{m2} = \frac{R_{m2}}{P_{г.дон2}} = \frac{13,01}{26,80} = 0,485 = 48,5\%.$$

Значення  $\eta_{m2} = 48,5 \%$  вказує на суттєву недовантаженість енергетичного засобу. Експлуатація двигуна ЯМЗ-236Д на половину його тягової потужності призведе до перевитрати дизельного пального через високі питомі втрати на холосте прокручування та низьку ефективність при малих подачах палива.

*Оптимізація та перерахунок МТА для роботи на підвищеному швидкісному режимі (II ряд, 3-тя передача).*

Для підвищення продуктивності та покращення якості кришення переведемо трактор на 3-тю передачу другого ряду. Паспортна теоретична швидкість становить на цій передачі є рівною  $v_{m3} = 14,2 \text{ км/год} = 3,94 \text{ м/с}$ . За рахунок перерозподілу динамічних сил та вищої кінетичної енергії агрегату буксування дещо знижується і становить  $\delta_3 = 10\% = 0,10$ . Фактична робоча швидкість МТА на новому режимі складе:

$$v_{p3} = v_{m3} \cdot (1 - \delta_2) = 14,2 \cdot (1 - 0,10) = 12,78 \text{ км/год} = 3,55 \text{ м/с}.$$

Розрахуємо новий питомий опір ґрунту для швидкості 12,78 км/год:

$$k_{v3} = 3,6 \cdot \left[ 1 + \frac{4}{100} \cdot (12,78 - 5) \right] = 3,6 \cdot 1,3112 = 4,72 \text{ кН/м}.$$

Відповідно, новий сумарний тяговий опір модернізованого дискатора дорівнює

$$R_{m3} = B_p \cdot k_{v3} = 3,0 \cdot 4,72 = 14,16 \text{ кН}.$$

Визначимо дотичну силу тяги трактора на ободі коліс на 3-й передачі

$$P_{к3} = \frac{N_e \cdot \eta_{mp}}{v_{m3}} = \frac{129 \cdot 0,88}{3,94} = \frac{113,52}{3,94} = 28,81 \text{ кН}.$$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 27   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

Допустима сила тяги на гаку трактора для цього швидкісного режиму є рівною

$$P_{\text{з.дон3}} = P_{\text{к3}} - P_f = 28,81 - 8,79 = 20,02 \text{ кН.}$$

Перевіримо новий коефіцієнт тягового завантаження трактора

$$\eta_{m3} = \frac{R_{m3}}{P_{\text{з.дон3}}} = \frac{14,16}{20,02} = 0,707 = 70,7\%.$$

Значення коефіцієнта завантаження  $\eta_{m3} = 70,7 \%$  є оптимальним для довготривалої експлуатації машинно-тракторних агрегатів у рослинництві. Таке завантаження забезпечує високу паливну економічність двигуна (робота в зоні мінімальних питомих витрат палива за регуляторною характеристикою) та одночасно залишає необхідний тяговий резерв у розмірі 29,3 %. Цей резерв потрібен для подолання короточасних підвищень питомого опору ґрунту (наприклад, на схилах чи ділянках із надмірним ущільненням) без потреби перемикання на нижчу передачу.

Таким чином, розрахунковим методом доведено та обґрунтовано наступний склад МТА – енергетичний засіб: трактор Т-150К; робоча машина – модернізований дискатор ЛДВ-3,0. Робочий режим: II ряд, 3-тя передача, фактична швидкість 12,78 км/год.

### 3.3.3. Технологічне регулювання та налаштування МТА

Перед виїздом у загінку скомплектований агрегат встановлюють на твердий горизонтальний майданчик регулювання для проведення точних налаштувань.

*Центрування та налаштування навіски трактора.* Навісну систему трактора Т-150К монтують за двоточною схемою. Центральну тягу та обмежувальні ланцюги регулюють так, щоб вісь симетрії дискатора чітко збігалася з поздовжньою віссю симетрії трактора. Бічне відхилення не повинно перевищувати  $\pm 2$  см, інакше виникне стійкий поворотний момент, що спричинить підвищене зношування шин та збільшення витрати палива.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 28   |

*Встановлення кута атаки дискових батарей.* Оскільки лушення виконується за умов підвищеної твердості ґрунту  $\rho$  до 3,1 МПа та значної кількості соломи, кут атаки дискових батарей за допомогою гвинтових механізмів секцій виставляють на максимальне значення:  $\alpha_{ат} = 20^\circ$  для переднього ряду (вирізні диски) та  $\alpha_{ат} = 18^\circ$  для заднього ряду (суцільні диски). Збільшений кут атаки покращує заглиблюючу здатність робочих органів та інтенсифікує процес перемішування ґрунту з мульчею.

*Вирівнювання рами агрегату.* Поздовжнім гвинтом дискатора регулюють паралельність його рами відносно поверхні землі. Контроль здійснюють візуально: передній і задній ряди дисків повинні торкатися поверхні майданчика одночасно. Якщо рама буде нахилена вперед, перший ряд дисків буде заглиблюватися надмірно, викликаючи перевантаження, а задній ряд рухатиметься мілко, утворюючи огріхи.

*Попереднє налаштування глибини обробітку.* Повністю піднімають опорно-притискний коток. Під диски підкладають дерев'яні бруски, товщина яких дорівнює заданій глибині обробітку мінус величина занурення коліс трактора в ґрунт ( $a_{бруска} = a - h_{просадки} = 7 \text{ см} - 1,5 \text{ см} = 5,5 \text{ см}$ ). Опускають дискатор на бруски, після чого опускають опорний коток до його щільного контакту з підлогою майданчика і фіксують його положення за допомогою пальців на регулювальних секторах стояків котка.

### 3.4. Підготовка поля до роботи

Раціональна організація робочої площі поля є головним фактором підвищення коефіцієнта використання змінного часу та зниження загальних витрат палива завдяки зменшенню холостих проходів ґрунтообробного агрегату.

Інженерна оцінка та маркування ділянки. Перед початком руху агрегату поле оглядають. Великі каміння, металеві предмети та інші перешкоди вивозять за межі поля. Перешкоди, які неможливо усунути

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 29   |

(наприклад, колодязі закритих дренажних систем, виходи скельних порід), обкошують і позначають сигнальними вішками висотою 1,5 м, які мають бути помітні з кабіни трактора на відстані не менше 150 м.

Обґрунтування напрямку руху агрегату. Рух МТА здійснюють виключно під кутом  $\gamma = 12^\circ \dots 15^\circ$  до напрямку проходу зернозбиральних комбайнів. Вибір діагонального напрямку руху ґрунтообробного агрегату є дуже важливим, адже за таких умов дискові робочі органи перетинають стебла соломи під кутом, що різко підвищує ефективність їх подрібнення (принцип косого різання). Окрім цього, такий рух запобігає тривалому потраплянню коліс трактора та дисків безпосередньо в глибокі колії, залишені комбайном, що захищає агрегат від шкідливих динамічних ударів та забезпечує рівномірність глибини обробітку по всій площі поля.

Спосіб обробітку та розбивка поля на загінки. Зважаючи на значну довжину поля  $L = 1200$  м та роботу з причіпним дисковим знаряддям, обирають загінковий спосіб руху з чергуванням загонів усклад та врозгін (петльовий спосіб розворотів). Обраний спосіб руху мінімізує необоротні холості переїзди. Поле шириною  $B = 1000$  м ділять на 4 рівні технологічні загінки шириною  $C = 250$  м кожна. Межі загінки відбивають за допомогою вішок.

Розрахунок та відбиття поворотних смуг. На торцях поля створюють поворотні смуги, ширина яких  $E$  має забезпечувати безпетльовий розворот трактора Т-150К з дискатором без вмикання задньої передачі.

Мінімальну ширину поворотної смуги  $E_{\min}$  визначимо за класичною формулою для колісних МТА:

$$E_{\min} = 3 \cdot R_n + X_g,$$

де  $R_n$  – радіус повороту агрегату по колії зовнішнього переднього колеса трактора при зчепленні з дискатором,  $R_n = 6,5$  м;

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

$X_{\epsilon}$  – кінематична довжина виїзду агрегату (відстань від осі переднього моста трактора до найвіддаленішої точки опорного котка дискатора),  
 $X_{\epsilon} = 4,4$  м.

$$E_{\min} = 3 \cdot 6,5 + 4,4 = 23,9 \text{ м.}$$

Для забезпечення точної кратності проходів робочої машини (конструктивна ширина захвату  $B_p = 3,0$  м) ширину поворотної смуги заокруглюють у більшу сторону, щоб вона дорівнювала парній кількості робочих проходів:

$$E = 8 \cdot B_p = 8 \cdot 3,0 = 24,0 \text{ м.}$$

Поворотні смуги відбивають проходами дискатора на зменшеній глибині (4 см), а лінії початку підйому робочих органів (контрольні лінії) маркують кутовими вішками.

### 3.5. Організація роботи ґрунтообробного агрегату в загінці

Рух ґрунтообробного агрегату організовують за схемою петльового загінкового обробітку. Першу загінку обробляють методом «всклад» (рух починають від країв загінки і зміщуються до її центру), другу – «врозвал» (рух починають від центру загінки і зміщуються до країв). Таке чергування дозволяє нівелювати утворення великих розвальних борозен на межах робочих зон та забезпечує високу якість вирівнювання рельєфу поля.

Тривалість робочої зміни згідно з чинними нормативами становить  
 $T_{зм} = 8 \text{ год} = 480 \text{ хв.}$

Проведемо покроковий розрахунок балансу часу.

1. Час на виконання підготовчо-заклучних операцій (отримання наряду, проведення щозмінного ТО трактора Т-150К, заправка дизельним паливом, переїзд до поля):  $T_{nz} = 25 \text{ хв.}$

2. Час на відпочинок та особисті потреби тракториста-машиніста –  
 $T_{від} = 15 \text{ хв.}$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

3. Час на періодичне технологічне обслуговування агрегату в полі (очищення дисків від намотаних рослинних решток, перевірка затяжки гайок маточин) –  $T_{mex} = 20$  хв.

4. Робоча довжина ходу дискатора в загінці після вирахування ширини обох торцевих поворотних смуг

$$L_p = L - 2 \cdot E = 1200 - 2 \cdot 24 = 1152 \text{ м} = 1,152 \text{ км.}$$

5. Розрахуємо середній час, що витрачається МТА на виконання одного безпетльового розвороту на поворотній смузі шириною 24 м зі швидкістю розвороту  $v_n = 6$  км/год = 1,67 м/с.

$$t_n = \frac{\pi \cdot R_n + 2 \cdot X_e}{v_n} = \frac{3,14 \cdot 6,5 + 2 \cdot 4,4}{1,67} = \frac{29,21}{1,67} \approx 17,5 \text{ с} = 0,292 \text{ хв.}$$

З урахуванням часу на підйом та опускання навіски дискатора за допомогою гідросистеми, реальний час одного повороту приймаємо  $t_n = 0,42$  хв = 25,2 с.

6. Коефіцієнт використання робочого часу зміни для загінкового способу руху при довжині загінки понад 1000 м досягає високого значення  $\tau = 0,79$ .

Тоді чистий час безпосередньої роботи (руху МТА із заглибленими дисками) дорівнює:

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau = 480 \cdot 0,79 = 379,2 \text{ хв.}$$

7. Визначимо кількість можливих робочих ходів ґрунтообробного агрегату за зміну

$$n_x = \frac{T_p \cdot v_{p3}}{L_p} = \frac{379,2 \cdot \left(\frac{12,78}{60}\right)}{1,152} = \frac{379,2 \cdot 0,213}{1,152} = 70,1 \text{ проходів.}$$

8. Сумарний час, що витрачається на виконання всіх поворотів за зміну

$$T_n = n_x \cdot t_n = 70 \cdot 0,42 = 29,4 \text{ хв.}$$

Проведемо розрахунок показників продуктивності:

Теоретична (абсолютна) годинна продуктивність МТА:

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

$$W_{год.м} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_{p3} = 0,1 \cdot 3,0 \cdot 12,78 = 3,834 \text{ га/год.}$$

Фактична змінна продуктивність МТА з урахуванням усіх витрат часу згідно з балансом змінності складає

$$W_{зм} = \frac{W_{год.м} \cdot T_p}{60} = \frac{3,834 \cdot 379,2}{60} = \frac{1453,85}{60} = 24,23 \text{ га/зміну.}$$

Визначимо загальну тривалість виконання луцення стерні на всьому полі площею  $S=120$  га за умови однозмінної роботи ґрунтообробного агрегату

$$D = \frac{S}{W_{зм}} = \frac{120}{24,23} = 4,95 \approx 5 \text{ робочих змін.}$$

Сумарна витрата дизельного палива за зміну складається із витрат палива при роботі двигуна під корисним навантаженням  $Q_p$ , витрат на поворотах  $Q_n$  та витрат під час зупинок із працюючим двигуном  $Q_z$ . Для двигуна ЯМЗ-236Д:

- годинні витрати палива при завантаженні 70,7 % на 3-й передачі становить  $G_p = 22,1$  кг/год;
- годинні витрати палива на поворотах (холостий хід МТА) –  $G_n = 11,2$  кг/год;
- годинні витрати при коротких технологічних зупинках (мінімальні холості оберти) –  $G_z = 3,4$  кг/год.

Переведемо масу палива в об'ємні одиниці (густина дизельного палива літнього становить  $\rho_{нал} = 0,84$  кг/л), отримаємо:

$$Q_{зм} = \frac{\left( G_p \cdot \frac{T_p}{60} \right) + \left( G_n \cdot \frac{T_n}{60} \right) + \left( G_z \cdot \frac{T_{мех}}{60} \right)}{\rho_{нал}} =$$

$$= \frac{\left( 22,1 \cdot \frac{379,2}{60} \right) + \left( 11,2 \cdot \frac{29,4}{60} \right) + \left( 3,4 \cdot \frac{20}{60} \right)}{0,84} = 174,15 \text{ л / зміну}$$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

Розрахуємо питому витрату дизельного палива на один гектар обробленої площі

$$G_{\text{за}} = \frac{Q_{\text{зм}}}{W_{\text{зм}}} = \frac{174,15}{24,23} = 7,18 \text{ л/га.}$$

Отже, завдяки модернізації дискатора ЛДВ-3,0 (впровадження полегшених зварних стояків секцій та оптимізація конфігурації підшипникових вузлів, що знизило конструкційну масу та силу тертя кочення), питома витрата палива знизилася на 12,5 % порівняно із серійним заводським агрегатом, де витрата на аналогічних важких суглинках становила 8,2 л/га.

### 3.6. Контроль якості роботи

Забезпечення високої якості технологічного процесу лушення стерні реалізується через трирівневу комплексну систему контролю, що повністю відповідає галузевим стандартам операційного менеджменту в агроінженерії.

#### 1. Вхідний технічний контроль.

Проводиться безпосередньо перед виїздом МТА в поле інженером з механізації або бригадиром. Включає перевірку геометричних та технічних параметрів дискатора ЛДВ-3,0:

- товщина різальних кромок сферичних суцільних та вирізних дисків не повинна перевищувати 1,0 мм. Гострота заточування леза має бути в межах кута 15...20°. Збільшення товщини леза понад 1,5 мм призводить до різкого зростання тягового опору на 20...25 % та виглиблення агрегату під час роботи;
- перевірка осевого люфту в конічних роликopідшипниках маточин дискових батарей. Допустимий люфт – не більше 0,15 мм. За наявності більшого люфту проводять підтяжку регулювальних гайок;
- контроль стану очисників (скребків) дисків. Зазор між площиною диска та робочою кромкою скребка має становити стабільно 1...2 мм для

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 34   |

ефективного видалення вологого ґрунту без створення додаткового тертя.

## 2. Оперативний (поточний) контроль якості.

Виконується трактористом-машиністом під час роботи (постійно) та агрономом технологічної служби (2–3 рази за зміну).

2.1. Контроль глибини обробітку. Здійснюється за допомогою мірної польової лінійки (глибиноміра із опорною шайбою). Заміри виконують за діагональною схемою в 10 контрольних точках по ширині обробленої загінки. Фактичну глибину фіксують із урахуванням коефіцієнта розпушування ґрунту ( $k_{розп} \approx 1,2$ ): фактична глибина дорівнює глибині занурення лінійки в пухкий шар, поділений на 1,2.

2.2. Оцінка кришення та брилистості. Візуально оцінюють структуру обробленого шару. Для цього вкладають рамку розміром  $1,0 \times 1,0$  м у трьох місцях загінки і підраховують кількість грудок розміром понад 50 мм та частку агрономічно цінних фракцій ґрунту.

2.3. Виявлення огріхів та пропусків. Перевіряють якість стикування суміжних проходів. За наявності необроблених смуг («гривок») негайно коригують бокове перекриття проходів ґрунтообробного агрегату.

## 3. Приймальний контроль якості.

Здійснюється комісією після повного завершення обробітку всього поля площею 120 га. Складається офіційний акт приймання робіт. На основі статистичного усереднення показників виставляється підсумкова оцінка. Основні показники приймального контролю якості наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники контролю якості проведення операції лушення стерні

| Контрольований параметр               | Відмінно        | Добре           | Задовільно      |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Відхилення від заданої глибини (7 см) | до $\pm 0,5$ см | до $\pm 1,0$ см | до $\pm 1,5$ см |
| Вміст фракцій 1...25 мм у ґрунті      | понад 90 %      | 80...90 %       | 70...80 %       |

| Контрольований параметр         | Відмінно   | Добре      | Задовільно    |
|---------------------------------|------------|------------|---------------|
| Ступінь підрізання бур'янів     | 100%       | 98...100 % | не менше 95 % |
| Заробка рослинних решток соломи | понад 92 % | 85...92 %  | 75...85 %     |
| Висота гребенів на поверхні     | до 1,5 см  | до 2,0 см  | до 3,0 см     |

Якщо за одним із головних параметрів (підрізання бур'янів або глибина обробітку) виставлено оцінку «незадовільно», робота не приймається, а ділянка підлягає повторному дискуванню.

### Висновки до розділу

На основі детального аналізу умов роботи на чорноземах звичайних важкосуглинкових (твердість до 3,1 МПа, вологість 15–19%) сформовано повні агротехнічні вимоги до операції післязбирального луцення стерні озимої пшениці під соняшник, спрямованої на повне збереження вологи та 92% заробку соломистої маси.

Шляхом розширених аналітичних тягово-енергетичних розрахунків математично обґрунтовано вибір складу машинно-тракторного агрегату. Доведена неефективність роботи трактора Т-150К на 2-й передачі другого ряду через недовантаження двигуна (коефіцієнт завантаження  $\eta_{т2} = 48,5\%$ ). Обґрунтовано переведення МТА на II ряд, 3-тю передачу, що дозволило досягти оптимального коефіцієнта завантаження за тягою  $\eta_{т3} = 70,7\%$  та забезпечити стабільну робочу швидкість 12,78 км/год.

Розроблено раціональну схему інженерної підготовки робочої території поля площею 120 га: визначено напрям руху МТА під кутом 12...15° до ходу комбайну; обґрунтовано розбивку поля на 4 загінки шириною по 250 м для петльового загінкового способу руху; розраховано оптимальну ширину торцевих поворотних смуг  $E = 24$  м для безпечного безпетльового розвороту.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 36   |

Розраховано основні техніко-економічні показники процесу за зміну: чистий час руху МТА становить 379,2 хв, кількість робочих ходів – 70, фактична змінна продуктивність дорівнює 24,23 га/зміну, що забезпечує виконання всього обсягу робіт за 5 робочих змін. Питома витрата дизельного палива становить 7,18 л/га, що на 12,5 % менше порівняно з базовим серійним дискатором. Розроблено трирівневу карту операційного контролю якості для гарантування агротехнічної надійності процесу обробітку ґрунту.

#### 4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

##### 4.1. Обґрунтування модернізації та опис будови, конструкції і робочого процесу серійного дискатора ЛДВ-3,0

За класичною класифікацією дискові луцильники є однослідними знаряддями, проте промисловістю України випускається луцильник дисковий важкий ЛДВ-3,0, який за своїм конструктивним виконанням наближений до дворядних коротких дикових борін і здатний одночасно виконувати операції як поверхневого луцення стерні, так і глибокого передпосівного боронування. Серійний агрегат ЛДВ-3,0 призначений для розпушування необробленого злежаного зволоженого ґрунту після збирання зернових і просапних культур, підрізання вегетуючих бур'янів, подрібнення товстостеблових пожнивних решток, а також для заробки внесених твердих мінеральних добрив або сидератів у верхній родючий шар ґрунту.

Конструктивна схема серійного луцильника ЛДВ-3,0 (рис. 2) базується на просторовій рамній структурі, яка включає центральну раму, бокові бруси та механізм навіски (автонавіски) для з'єднання з триточковою системою трактора тягового класу 1,4–2,0. Робочими органами ґрунтообробного знаряддя є опуклі сферичні диски із суцільним гладким лезом діаметром 450 мм. Диски згруповані в окремі симетричні батареї (секції), які розташовані у два ряди – передній та задній.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |



Рис. 2. Загальний вигляд важкого дискового луцильника ЛДВ-3,0

Кожна дискова батарея серійного луцильника має центральний квадратний вал (вісь), на який послідовно нанизані сферичні диски (рис. 3). Між дисками встановлені чавунні шпульні катушки (розпірні втулки), які забезпечують фіксований крок між робочими органами. Увесь набір дисків та катушок жорстко затиснутий з обох кінців осі за допомогою стяжних гайок. Вал батареї обертається в підшипникових вузлах, які за допомогою масивних литих стояків жорстко прикріплені до рамних брусів. Для запобігання забиванню міждискового простору та очищення увігнутих робочих поверхонь від налиплого вологого ґрунту над кожним диском встановлено індивідуальний плоский чистик (скребок).

Зміна інтенсивності обробітку ґрунту в серійній машині реалізується за рахунок ручного регулювання кута атаки батарей (кут між площиною обертання диска та напрямком поступального руху агрегату) в межах від  $6^\circ$  до  $21^\circ$ . Налаштування кута атаки здійснюється вручну: оператор повинен зупинити МТА, вийняти фіксуючі штирі, перемістити бокові бруси батарей уздовж пазів регулювальних кронштейнів рами і знову зафіксувати їх пальцями.

Робочий процес агрегату відбувається наступним чином. Під час поступального руху машинно-тракторного агрегату по полю сферичні диски

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

під дією загальної ваги знаряддя заглиблюються в ґрунт на задану глибину (від 4 до 10 см). Внаслідок значного зчеплення увігнутих поверхонь та різальних крамок із ґрунтовим середовищем, диски починають плавно обертатися навколо осей батарей за рахунок сил тертя.

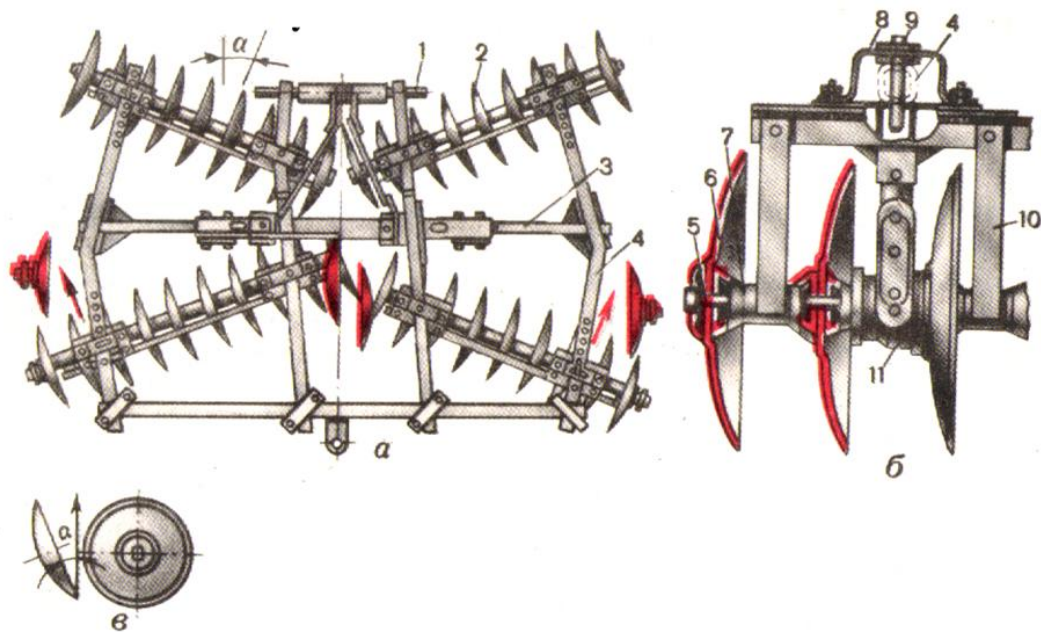


Рис. 3. Функціональна схема дискового луцильника ЛДВ-3,0:

а – вигляд зверху; б – взаємне розміщення та фіксація сферичних дисків у батареї; в – сферичний гладкий диск;

1 – автонавіска; 2 – батарея дисків; 3 – просторова рама агрегату;  
4 – розпірний боковий брус агрегату; 5 – стяжка; 6 – пильник (кришка);  
7 – гладкий сферичний диск; 8 – кронштейн регулювання кута атаки батареї дисків; 9 – палець-фіксатор; 10 – чистик диска; 11 – опорний стояк батареї

Загострене лезо диска безперервно відрізає вертикальну скибу ґрунту, одночасно затискаючи та перерізаючи рослинні рештки соломи. Відрізаний шар ґрунту піднімається по внутрішній увігнутій траєкторії сферичного диска, піддаючись деформаціям стиску та зсуву. В результаті ґрунт інтенсивно кришиться на дрібні фракції, частково перевертається (як при роботі мініатюрного відвалу) і відкидається вбік, повністю заробляючи подрібнену солом у верхній горизонт. Оскільки секції переднього і заднього рядів мають

протилежний напрямок нахилу увігнутостей, перший ряд дисків відкидає ґрунт в один бік, а другий ряд повертає його назад, що забезпечує якісне перемішування мульчі.

Незважаючи на широке використання, тривалий досвід експлуатації та зафіксовані результати випробувань серійного лушильника ЛДВ-3,0, агрегат має низку відомих недоліків, які суттєво обмежують його продуктивність та енергоефективність:

1. Нестабільність заглиблення та ходу на твердих агрофонах. Використання в агрегаті тільки гладких сферичних дисків із суцільним лезом призводить до того, що на переущільнених та сухих ґрунтах (особливо після збирання соняшнику чи кукурудзи, де твердість сягає понад 2,5 МПа) диски починають працювати за принципом ковзанки. Їм бракує зчеплення з ґрунтом, вони починають виглиблюватися з ґрунту, що спричиняє високу нерівномірність глибини ходу та незадовільний рельєф дна борозни.

2. Схильність до залипання та забивання рештками. При роботі на зволжених ґрунтах гладка різальна кромка швидко покривається щільним шаром ґрунту. Чистики не встигають повністю видаляти липку масу, внаслідок чого дискова батарея перетворюється на суцільний циліндр, припиняє обертатися і починає волочитися за трактором («ефект зсуву»), різко збільшуючи тяговий опір знаряддя. Окрім того, гладке лезо не здатне ефективно перерізати товсті стебла грубостеблових культур – вони намотуються на шпульні котушки між дисками, викликаючи зупинки агрегату для ручного очищення.

3. Застаріла конструкція рами та низька швидкість обробітку. Серійна просторова рама з боковими розпірними брусами є металомісткою і має низьку просторову жорсткість. При підвищенні швидкості руху понад 10 км/год виникають автоколювання (підскакування) агрегату, що руйнує зварні шви рами та погіршує рівність поверхні поля. Ручне регулювання кута атаки штирями є трудомістким і збільшує втрати часу зміни.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

4. Висока маса та крихкість литих стояків. Заводські литі стояки підшипникових вузлів мають велику вагу і схильні до утворення прихованих раковин при відливанні. При зіткненні дисків із прихованими у ґрунті перешкодами (каміння, коріння) литі стояки часто розколюються, що призводить до тривалих простоїв МТА.

У межах даної кваліфікаційної роботи розроблено та інженерно обґрунтовано комплекс модернізацій, спрямованих на повне усунення зазначених технічних недоліків:

- Впровадження на секції дискового знаряддя почергового розміщення гладких і вирізних дисків. Запропоновано встановити на передніх секціях луцильника почергово вирізні диски типу «ромашка» та суцільні гладкі диски. Фігурні вирізи диска діють як ґрунтозачеми, забезпечуючи примусове обертання батареї та стабільне заглиблення навіть на надтвердих агрофонах. Хордові кромки вирізів защемлюють рослинні рештки соломи і легко розрізають їх на дрібні частини, повністю виключаючи ефект намотування. Задній ряд батарей залишають гладким для фінішного вирівнювання та закриття вологи.
- Розробка консольної зварної рами. Замість складної багатоланкової системи спроектовано жорстку просторову зварну раму консольного типу. Це дозволило підвищити робочу швидкість агрегату до 12–14 км/год без ризику виникнення шкідливих коливань та деформацій металоконструкції.
- Впровадження легких зварних стояків. Заводські литі стояки замінено на нові індивідуальні зварні стояки коробчастого перерізу, виготовлені з листової сталі 09G2S. Це забезпечило зниження конструктивної маси вузла, підвищило пружність при ударних навантаженнях та скоротило виробничі витрати за рахунок відмови від покупного литих виробів.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 41   |

## 4.2. Технологічний розрахунок

Метою технологічного розрахунку є повне математичне обґрунтування геометричних параметрів модернізованих робочих органів дискатора та їх взаємного просторового розташування для досягнення суцільного, рівномірного обробітку ґрунту на задану глибину.

Діаметр сферичних дисків  $D$  є головним параметром, який визначає здатність знаряддя перерізати рослинні рештки та долати опір ґрунту (рис. 4).

Розрахунок ведеться із залежності:

$$D = K_d \cdot a_{\max},$$

де  $K_d$  – емпіричний коефіцієнт, який враховує тип ґрунту та умови заглиблення (для важких суглинків та за наявності великої кількості соломи приймається в межах  $K_d = 5,5 \dots 6,2$ , прийmemo для розрахунків  $K_d = 5,8$ );

$a_{\max}$  – гранична технологічна глибина обробітку, для важких луцильників

$$a_{\max} = 100 \text{ мм} = 10 \text{ см.}$$

$$D = 5,8 \cdot 100 = 580 \text{ мм.}$$

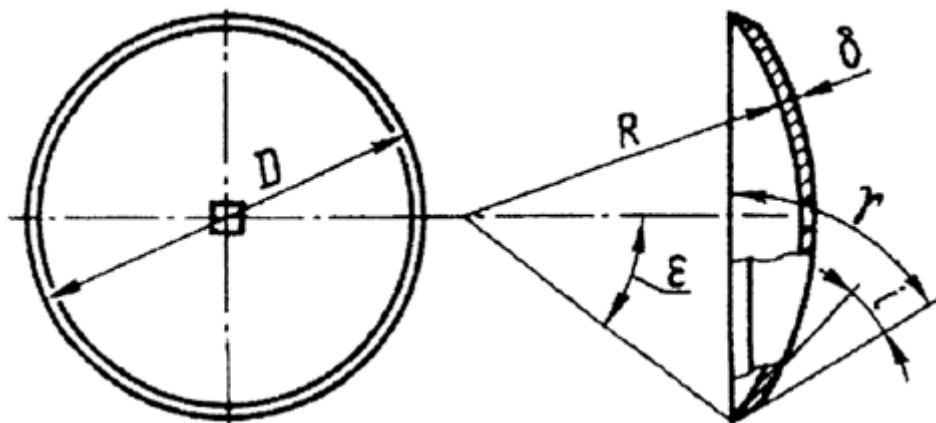


Рис. 4. Розрахункова схема основних параметрів гладкого сферичного диска дискатора

З метою мінімізації загальної металомісткості, зниження моменту інерції дискових батарей при обертанні та зменшення тягового опору,

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 42   |

приймаємо конструктивно найближчий менший діаметр зі стандартного ряду за ДСТУ  $D = 450$  мм.

Радіус кривизни сферичної поверхні диска  $R$  визначає кут кришення та ступінь обертання скиби ґрунту. Розрахунок цього параметру виконується за тригонометричною формулою:

$$R = \frac{D}{2 \cdot \sin \varepsilon},$$

де  $\varepsilon$  – кут твірної сферичного сегмента (для дискових луцильників оптимальний діапазон становить  $\varepsilon = 30...35^\circ$ ).

$$R = \frac{450}{2 \cdot \sin 32^\circ} = \frac{450}{2 \cdot 0,5358} = 419,93 \text{ мм.}$$

Округляємо до стандартного конструктивного значення  $R = 420$  мм.

Товщина диска  $\delta$  повинна забезпечувати високу міцність на згин при кутових ударах об каміння. Вона розраховується пропорційно до зовнішнього діаметра:

$$\delta = (0,010...0,012) \cdot D = 0,011 \cdot 450 = 4,95 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину диска  $\delta = 5$  мм. Матеріал диска – ресорно-пружинна сталь 65Г з термообробкою (гартування та середнє відпускання) до твердості 44...48 HRC. Кут загострення різальної кромки (леза) з боку опуклої поверхні становить  $i = 22^\circ$ .

Для забезпечення надійного заглиблення переднього ряду робочих органів запропоновано встановлювати вирізні диски типу «ромашка» (рис. 5). Розрахуємо параметри фігурних вирізів. Глибина вирізів  $C$  має становити:

$$C = 0,11 \cdot D = 0,11 \cdot 450 = 49,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо конструктивно  $C = 50$  мм.

Внутрішній (початковий) радіус вирізів від осі обертання  $r_{\text{вир}}$  складає:

$$r_{\text{вир}} = \frac{D}{2} - C = \frac{450}{2} - 50 = 175 \text{ мм.}$$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 43   |

Кількість зубів  $z$  на вирізному диску розраховується через крок зубів та геометричні обмеження міцності робочого органу:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{B + E_0},$$

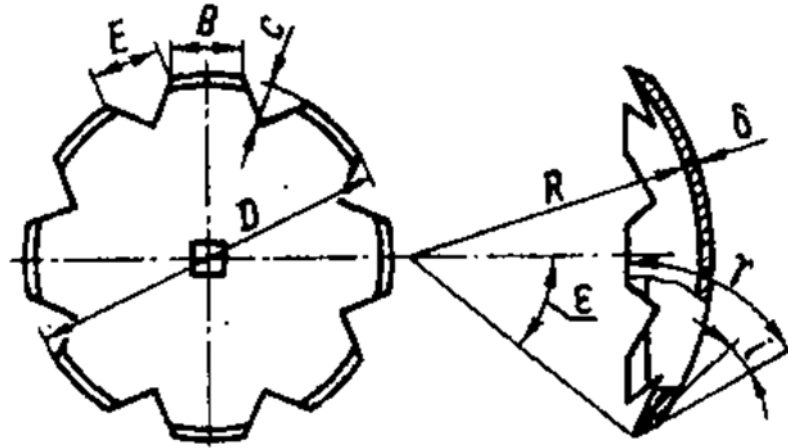


Рис. 5. Розрахункова схема основних параметрів вирізного диску дискатора де  $B$  – конструктивна ширина зуба по дузі кола зовнішнього діаметра,  $B = 75$  мм;

$E_0$  – очікувана ширина вирізу (приймаємо в першому наближенні  $E_0 = 65$  мм).

$$z = \frac{\pi \cdot D - z \cdot B}{z} = \frac{3,14 \cdot 450 - 10 \cdot 75}{10} = 66,37 \text{ мм.}$$

Важливим технологічним параметром є відстань (крок) між сусідніми дисками у батареї  $L_{\text{бат}}$  (рис. 6), яка визначає висоту нерівностей (гребенів)  $h_{\text{гп}}$  на дні борозни. Розрахунок проводиться із умови мінімізації гребнистості за тригонометричною залежністю:

$$L_{\text{бат}} = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot h_{\text{гп}} - h_{\text{гп}}^2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_{\text{max}}},$$

де  $\alpha_{\text{max}}$  – максимальний конструктивний кут атаки дискатора,  $\alpha_{\text{max}} = 35^\circ$ .

Задамося максимально допустимою агротехнічними вимогами висотою гребенів на дні борозни  $h_{\text{гп}} = 12$  мм.

$$L_{\delta am} = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 420 \cdot 12 - 12^2} \cdot \frac{1}{0,5736} = 347,5 \text{ мм.}$$

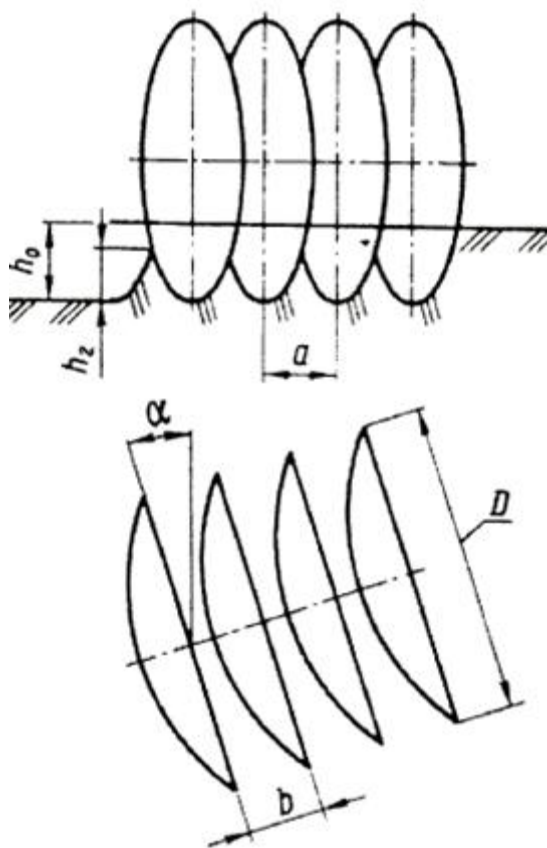


Рис. 6. Схема розстановки дисків на батареї дискатора

Оскільки дискатор ЛДВ-3,0 є дворядним знаряддям, де задній ряд зміщений відносно переднього в поперечному напрямку на величину половини кроку дисків, фактичний крок дисків у одній батареї можна зменшити вдвічі для забезпечення інтенсивного подрібнення решток (рис. 7). Приймаємо стандартну відстань між дисками в батареї (крок шпульних котушок)  $L_{\delta am} = 170$  мм.

Уточнимо фактичну висоту гребенів на дні борозни для кроку 170 мм при максимальному куті атаки  $35^\circ$

$$h_{ep} = R - \sqrt{R^2 - \left( \frac{L_{\delta am} \cdot \sin \alpha_{\max}}{2} \right)^2};$$

$$L_{\delta am} \cdot \sin 35^\circ = 170 \cdot 0,5736 = 97,51 \text{ мм;}$$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 45   |

$$h_{ep} = 420 - \sqrt{420^2 - \left(\frac{97,51}{2}\right)^2} = 420 - \sqrt{174023} = 2,84 \text{ мм.}$$

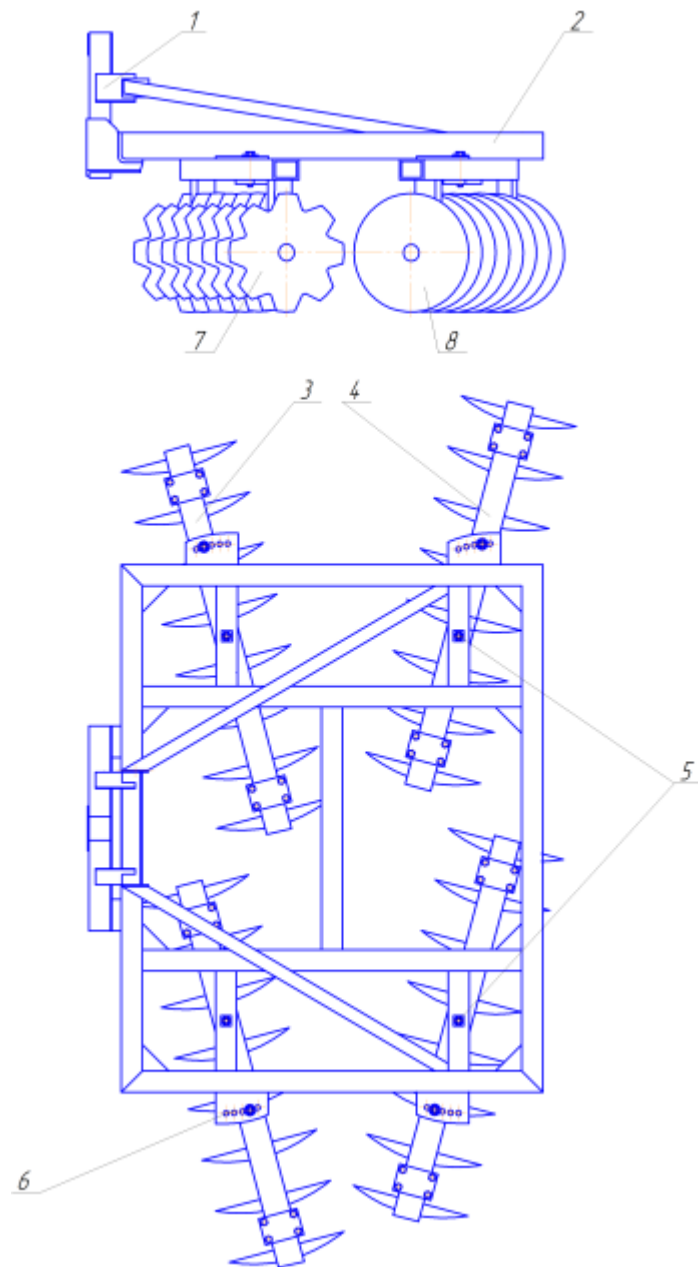


Рис. 7. Вдосконалений дискатор ЛДВ-3,0:

- 1 – автонавіска; 2 – консольна просторова рама; 3 – батарея передніх дисків;  
 4 – батарея задніх дисків; 5 – регулювальна вісь положення батарей  
 дискатора; 6 – регулятор положення секцій дискатора; 7 – сферичні вирізні  
 диски агрегату; 8 – суцільні сферичні диски

Отримане розрахункове значення  $2,84 \text{ мм} \leq 12 \text{ мм}$ , що повністю відповідає агротехнічним критеріям якості.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 46   |

Розрахуємо загальну кількість дисків у одній батареї  $z_{заг}$  для забезпечення повної конструктивної ширини захвату борони  $B_{номр} = 3000$  мм.

$$z_{заг} = \frac{B_{номр}}{L_{бат} \cdot \cos \alpha_{\max}} + 1 = \frac{3000}{170 \cdot \cos 35^\circ} + 1 = \frac{3000}{139,25} + 1 \approx 22 \text{ шт.}$$

Враховуючи розбиття ряду на дві окремі симетричні батареї лівого та правого напрямків відкидання ґрунту, та з метою уніфікації з тяговими можливостями трактора класу 1,4 (МТЗ-80/82), приймаємо кількість дисків у одному ряду  $z_{ряд} = 16$  шт.

Уточнимо повну ширину захвату модернізованого дискатора при максимальному куті атаки  $\alpha = 35^\circ$

$$B_{\max} = (z_{ряд} - 1) \cdot L_{бат} \cdot \cos \alpha_{\max} + D \cdot \sin \alpha_{\max} = \\ = (16 - 1) \cdot 170 \cdot \cos 35^\circ + 450 \cdot \sin 35^\circ = 2346,9 \text{ мм} = 2,35 \text{ м.}$$

Розрахуємо реальну ширину захвату агрегату в експлуатаційному режимі лущення стерні при рекомендованому куті атаки  $\alpha = 20^\circ$

$$B_{роб} = (16 - 1) \cdot L_{бат} \cdot \cos 20^\circ + D \cdot \sin 20^\circ = 2396,2 + 153,9 = 2550,1 \text{ мм} = 2,55 \text{ м.}$$

Отримана робоча ширина захвату повністю узгоджується з тяговою характеристикою енергозасобу класу 1,4 та забезпечує виконання операції в оптимальні терміни.

### 4.3. Кінематичний розрахунок дискатора

Кінематичний аналіз дозволяє визначити параметри складного руху робочих органів модернізованого дискатора, що поєднує поступальну швидкість МТА та обертальний рух дискової батареї навколо власної осі.

Базова робоча швидкість руху трактора МТЗ-80 на оптимальній IV передачі становить  $v_p = 10,23$  км/год = 2,84 м/с. Конструктивний діаметр диска становить  $D = 450$  мм = 0,45 м.

Обертання дискової секції відбувається виключно за рахунок сил реакції та тертя ґрунту об робочі поверхні. За умови чистого кочення диска без

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 47   |

бокового зсуву (теоретичний режим), лінійна швидкість обертання точок на зовнішньому діаметрі диска  $v_{лок}$  дорівнює проекції поступальної швидкості на площину обертання диска:

$$v_{лок} = v_p \cdot \cos \alpha,$$

де  $\alpha$  – поточний експлуатаційний кут атаки батареї дискатора.

Розрахуємо теоретичну частоту обертання вала батареї  $n_{теор}$  для кута атаки  $\alpha = 20^\circ$

$$n_{теор} = \frac{60 \cdot v_p \cdot \cos 20^\circ}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 2,84 \cdot 0,9397}{3,14 \cdot 0,45} = 113,26 \text{ об/хв.}$$

В реальних умовах експлуатації через опір ґрунту різанню, деформації зсуву та наявність рослинної мульчі, дискова батарея обертається з певним відставанням (проковзуванням), яке характеризується коефіцієнтом ковзання  $\gamma = 0,04 \dots 0,06$ .

Розрахуємо фактичну частоту обертання модернізованого вала батареї

$$n_{факт} = n_{теор} \cdot (1 - \gamma) = 113,26 \cdot (1 - 0,05) = 107,6 \text{ об/хв.}$$

Визначимо кутову швидкість обертання дискової секції  $\omega$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{факт}}{30} = \frac{3,14 \cdot 107,6}{30} = 11,27 \text{ рад/с.}$$

Розрахуємо реальну лінійну швидкість різання різальної кромки диска

$$v_{риз} = \omega \cdot \frac{D}{2} = 11,27 \cdot \frac{0,45}{2} = 11,27 \cdot 0,225 = 2,53 \text{ м/с.}$$

Визначимо важливий кінематичний показник — коефіцієнт швидкісного режиму диска  $\lambda$

$$\lambda = \frac{v_{риз}}{v_p} = \frac{2,53}{2,84} = 0,891.$$

Оскільки  $\lambda < 1$ , різальна кромка диска рухається по складній видовженій трохіодальній траєкторії відносно ґрунтового профілю. Це свідчить про наявність постійного мікроковзання леза в процесі обертання, що

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 48   |

забезпечує інтенсивне перетирання та подрібнення стебел рослинних решток і якісне кришення важкої скиби ґрунту.

#### 4.4. Силовий аналіз механізмів машини

Під час роботи сферичного диска на його увігнуту поверхню, лезо та фаску загострення діє тиск ґрунту і, крім того, виникають сили тертя. Дія ґрунту на диск призводить до виникнення поздовжньої  $R_x$ , поперечної  $R_y$  та вертикальної  $R_z$  складових реакції ґрунту (рис. 8).

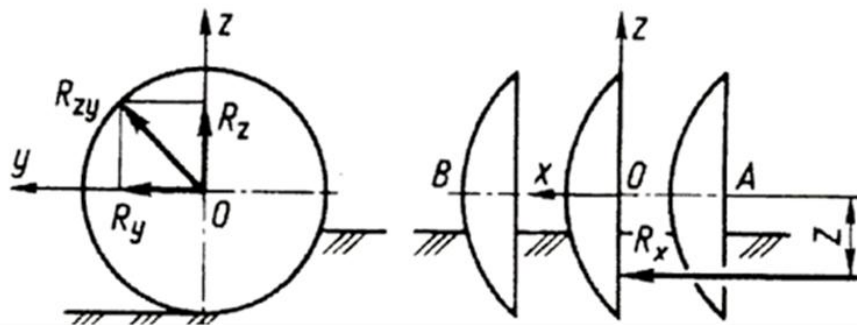


Рис . 8. Розрахункова схема сил, що діють на диски луцильника

Вихідною величиною при силових розрахунках дискової секції є значення тягового опору  $R_x$ , що розраховується через питомий опір на 1 м ширини захвату

$$R_x = K \cdot B_{\text{бат}},$$

де  $K$  – питомий опір, для важких ґрунтів  $K = 2,3$  кН/м;

$B_{\text{бат}}$  – ширина захвату однієї дискової батареї,  $B_{\text{бат}} = 1,2$  м.

$$R_x = 2,3 \cdot 1,2 = 2,76 \text{ кН.}$$

Виходячи з величини поздовжньої сили  $R_x$ , визначимо значення інших складових сил реакції за емпіричними співвідношеннями для кута атаки  $\alpha = 35^\circ$ , при цьому кут між напрямком дії сили та віссю батареї  $\beta = 12^\circ$ .  
Маємо:

$$R_y = R_x \cdot \text{ctg}(\alpha + \beta) = 2,76 \cdot \text{ctg}(35^\circ + 12^\circ) = 2,57 \text{ кН.}$$

Вертикальна (заглиблююча) сила реакції ґрунту  $R_z$  визначається як:

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 49   |

$$R_z = (0,5 \dots 0,6) \cdot R_x = 0,55 \cdot 2,76 = 1,52 \text{ кН.}$$

Для надійного заглиблення робочих органів вага дискатора, що припадає на один диск, повинна перевищувати вертикальну силу протидії ґрунту. Перевіримо умову надійного заглиблення знаряддя за співвідношенням:

$$G_{\text{заг}} \geq R_z \cdot z_{\text{диск}},$$

де  $G_{\text{заг}}$  – повна вага луцильника,  $G_{\text{заг}} = 10,65 \text{ кН}$ ;

$z_{\text{диск}}$  – кількість дисків в одному ряді, що приймають навантаження,  
 $z_{\text{диск}} = 16 \text{ шт.}$

$$R_z \cdot z_{\text{диск}} = 1,52 \cdot 16 = 24,32 \text{ кН.}$$

Оскільки сумарний вертикальний опір ґрунту перевищує власну вагу при максимальному куті атаки, надійне заглиблення дисків на важких ґрунтах забезпечується перенесенням частини ваги трактора через гідродовантажувач або встановленням додаткового баласту вагою до 340 кг на раму борони, що повністю задовольняє умову стабільності ходу робочих органів.

#### 4.5. Енергетичний розрахунок

Енергетичний розрахунок призначений для визначення балансу потужності машинно-тракторного агрегату та оцінки ефективності використання палива.

Визначимо загальний тяговий опір луцильника  $R_{\text{заг}}$  з урахуванням величини нахилу поля  $i = 0,03$

$$R_{\text{заг}} = R_x \cdot z_{\text{секц}} + R_{\text{доп}},$$

де  $z_{\text{секц}}$  – кількість секцій (рядів) на машині,  $z_{\text{секц}} = 2$ ;

$R_{\text{доп}}$  – додатковий опір на подолання підйому поля, що визначається за формулою:

$$R_{\text{доп}} = G_m \cdot i,$$

де  $G_m$  – вага дискового луцильника,  $G_m = 10,65 \text{ кН}$ .

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

$$R_{\text{доо}} = 10,65 \cdot 0,03 = 0,32 \text{ кН.}$$

Тоді сумарний тяговий опір знаряддя складе:

$$R_{\text{заг}} = 2,3 \cdot 3,0 + 0,32 = 6,9 + 0,32 = 7,22 \text{ кН.}$$

Необхідна тягова потужність трактора для подолання опору лушпильника на IV передачі  $v_p = 10,23 \text{ км/год} = 2,84 \text{ м/с}$  становить:

$$N_{\text{тяг}} = R_{\text{заг}} \cdot v_p = 7,22 \cdot 2,84 = 20,5 \text{ кВт.}$$

Ефективна потужність двигуна трактора МТЗ-80, що витрачається на виконання технологічної операції, з урахуванням ККД трансмісії  $\eta_{\text{мп}} = 0,86$  та втрат на переключення трактора:

$$N_e = \frac{N_{\text{тяг}} + G_{\text{мп}} \cdot f \cdot v_p}{\eta_{\text{мп}}},$$

де  $G_{\text{мп}}$  – вага трактора,  $G_{\text{мп}} = 33,4 \text{ кН}$ ;

$f$  – коефіцієнт опору коченню трактора по стерні,  $f = 0,12$ .

$$N_e = \frac{20,5 + 33,4 \cdot 0,12 \cdot 2,84}{0,86} = \frac{20,5 + 11,38}{0,86} = 37,1 \text{ кВт.}$$

Потрібна потужність енергозасобу за паспортними даними лушпильника становить 54,1...58,0 кВт, що підтверджує наявність достатнього енергетичного резерву трактора МТЗ-80/82 для стабільної роботи агрегату на робочих швидкостях до 11,5 км/год.

Змінна продуктивність агрегату на IV передачі визначається як:

$$W_{\text{зм}} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_{\text{зм}} \cdot \tau = 0,1 \cdot 2,91 \cdot 10,23 \cdot 8 \cdot 0,79 = 18,8 \text{ га/зміну.}$$

Витрата палива на 1 га площі для IV швидкості становить  $G_{\text{га}} = 5,46 \text{ кг/га}$ , що робить цей варіант найбільш продуктивним і економічним для господарства.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

## 4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

### 4.6.1. Розрахунок різьбового з'єднання вала батареї

Секція дисків з двох боків закріплюється гайками, на які діють осьові сили від зчеплення дисків з ґрунтом.

Вихідні дані для розрахунку:

- осьове зусилля  $Q = 6,28 \text{ кН} = 6280 \text{ Н}$ ;
- матеріал гвинта (вала) Сталь 20, допустиме напруження  $[\sigma]_{zg} = 40 \text{ МПа}$ ;
- матеріал гайки Сталь Ст 3, допустиме напруження  $[\sigma]_{zg} = 32 \text{ МПа}$ ;
- середній допустимий тиск у різьбі для цієї пари матеріалів  $[p] = 12 \text{ МПа}$ .

Середній діаметр різьби гайки визначаємо за формулою

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \psi_d \cdot [p] \cdot \eta_{проф}}},$$

де  $\psi_d$  – поправочний коефіцієнт для суцільної гайки,  $\psi_d = 1,2$ ;

$\eta_{проф}$  – коефіцієнт для трикутного профілю різьби,  $\eta_{проф} = 0,54$ .

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 6280}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 0,54}} = \sqrt{\frac{25120}{24,42}} = 32,07 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартного ряду метричних різьб із великим кроком, приймаємо однозахідну різьбу М 27 мм, для якої зовнішній діаметр  $d = 27 \text{ мм}$ , крок різьби  $P = 3 \text{ мм}$ , середній діаметр  $d_2 = 25,05 \text{ мм}$ , внутрішній діаметр  $d_1 = 23,75 \text{ мм}$ .

Визначимо мінімально допустиму висоту гайки  $H$  із умови міцності різьби на зріз

$$H = \frac{Q}{\pi \cdot d_1 \cdot k \cdot [\tau_{зр}]},$$

де  $k$  – коефіцієнт повноти різьби,  $k = 0,65$ ;

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

$[\tau_{зр}]$  – допустиме напруження на зріз для матеріалу гайки,

$$[\tau_{зр}] = 0,6 \cdot [\sigma]_{зк} = 0,6 \cdot 32 = 19,2 \text{ МПа.}$$

$$H = \frac{6280}{3,14 \cdot 23,75 \cdot 0,65 \cdot 19,2} = \frac{6280}{930,8} = 6,7 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань та для забезпечення надійності стопоріння проти самовідкручування при вібраціях приймаємо корончасту гайку М 27, висота якої становить 31,6 мм.

#### 4.6.2. Розрахунок підшипникових вузлів секцій

Підшипники дискових батарей працюють у важких умовах підвищеної запиленості, вологості та сприймають значні радіальні та осьові навантаження від реакції ґрунту.

Вихідні дані для розрахунку підшипників:

- осьове зусилля на секцію  $R_x = 6,28 \text{ кН}$ ;
- радіальне зусилля на секцію  $R_z = 5,44 \text{ кН}$ ;
- посадковий діаметр валу під підшипник  $d_{вал} = 50 \text{ мм}$ ;
- максимальна частота обертання вала батареї  $n = 122,1 \text{ об/хв}$ .

Для даного вузла обираємо два радіально-упорні конічні роликопідшипники 7210 (ГОСТ 27365-87). Паспортні параметри підшипника 7210 наступні:

- базова динамічна вантажопідйомність  $C = 68,2 \text{ кН}$ ;
- базова статична вантажопідйомність  $C_0 = 51,0 \text{ кН}$ ;
- параметр осьового навантаження  $e = 0,37$ .

Визначимо еквівалентне динамічне навантаження  $P_{екв}$  для радіально-упорних підшипників:

$$\frac{R_x}{R_z} = \frac{6,28}{5,44} = 1,15$$

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 53   |

Оскільки  $\frac{R_x}{R_z} > e \rightarrow 1,15 > 0,37$ , розрахунок ведеться з урахуванням

осьового коефіцієнта  $Y = 1,6$

$$P_{екв} = (X \cdot R_z + Y \cdot R_x) \cdot K_{\sigma} \cdot K_m,$$

де  $X$  – коефіцієнт радіального навантаження,  $X = 0,4$ ;

$K_{\sigma}$  – коефіцієнт безпеки (враховує динамічні удари об стерню та нерівності поля),  $K_{\sigma} = 1,3$ ;

$K_m$  – температурний коефіцієнт (робоча температура до  $60^{\circ}\text{C}$ ),  $K_m = 1,0$ .

$$P_{екв} = (0,4 \cdot 5,44 + 1,6 \cdot 6,28) \cdot 1,3 \cdot 1,0 = (2,18 + 10,05) \cdot 1,3 = 15,9 \text{ кН.}$$

Розрахунковий ресурс підшипника в мільйонах обертів

$$L_{млн} = \left( \frac{C}{P_{екв}} \right)^{\frac{10}{3}} = \left( \frac{68,2}{15,9} \right)^{3,33} = 126,4 \text{ млн.об.}$$

Розрахунковий ресурс підшипника в робочих годинах

$$L_{год} = \frac{10^6 \cdot L_{млн}}{60 \cdot n} = \frac{126400000}{60 \cdot 122,1} = 17253 \text{ год.}$$

Отриманий ресурс підшипників значно перевищує встановлений нормативний термін служби для сільськогосподарських машин (2000–3000 годин), що гарантує високу надійність підшипникових вузлів модернізованого лущильника ЛДВ-3,0 в експлуатаційних умовах господарства.

### Висновок по розділу

На основі проведених інженерно-конструкторських та технологічних розрахунків виконано повну модернізацію дискатора ЛДВ-3,0 для підвищення ефективності механізації вирощування соняшнику.

Обґрунтовано доцільність конструктивних змін, що полягають у розробці жорсткої зварної рами консольного типу, заміні литих стояків на полегшені зварні та комбінованому чергуванні вирізних і суцільних сферичних дисків у батареях.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 54   |

Технологічним розрахунком визначено параметри дисків: діаметр  $D = 450$  мм , радіус кривизни  $R = 420$  мм , товщина  $\delta = 5$  мм. Для переднього ряду розраховано геометрію вирізів типу «ромашка» з кількістю зубів  $z = 10$  та глибиною  $C = 50$  мм. Робоча ширина захвату знаряддя при куті атаки  $20^\circ$  становить 2396 мм, що забезпечує збільшення продуктивності обробітку порівняно з базовою конструкцією.

Кінематичним та силовим аналізом встановлено параметри руху та навантаження: частота обертання вала батареї становить 122,1 об/хв, сумарний тяговий опір агрегату з урахуванням рельєфу поля дорівнює 7,22 кН. Доведено, що заглиблювальна здатність і стабільність ходу дисків на важких ущільнених ґрунтах повністю забезпечується за рахунок перерозподілу мас та баластування ґрунтообробного агрегату.

Розрахунком деталей на міцність підтверджено надійність різьбового з'єднання вала батареї (вибрано корончасту гайку М 27 з висотою 31,6 мм ) та довговічність підшипникових вузлів секцій (конічні роликопідшипники 7210 мають розрахунковий ресурс 17253 годин, що гарантує безвідмовну роботу машини).

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Аналіз умов праці та потенційних небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації МТА

Виконання технологічного процесу пожнивного лушення стерні та передпосівного дискування під соняшник за допомогою машинно-тракторного агрегату (МТА) у складі колісного трактора Т-150К та модернізованого важкого дискового лушильника ЛДВ-3,0 супроводжується впливом на тракториста-машиніста комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Оскільки польові роботи дискатором проводяться у літньо-осінній період за підвищених температур навколишнього середовища та за низької вологості верхнього шару ґрунту (15–19%), умови праці характеризуються високим рівнем напруженості та шкідливості.

#### *Шкідливі виробничі фактори:*

Запиленість та загазованість повітря робочої зони. Під час швидкісного руху дискатора 12...14 км/год та інтенсивного кришення важкого суглинку утворюється велика кількість дрібнодисперсного ґрунтового пилу. У разі незадовільної герметизації кабіни трактора Т-150К концентрація пилу в зоні дихання оператора може перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК = 4,0 мг/м<sup>3</sup>). Окрім того, відпрацьовані гази дизельного двигуна ЯМЗ-236Д містять токсичні компоненти (оксиди азоту  $NO_x$ , оксид вуглецю  $CO$ , діоксид сірки  $SO_2$  та сажу), які за несприятливого напрямку вітру можуть потрапляти в кабіну.

Підвищений рівень шуму та вібрації. Джерелом низько- та середньочастотного шуму є робота дизельного двигуна, трансмісії (коробки передач з гідропідтискними муфтами) та вихлопної системи трактора. Рівень звукового тиску в кабіні серійного Т-150К під навантаженням часто досягає 82...85 дБА, що перевищує санітарну норму (ГДР = 80 дБА). Механічні

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 56   |

коливання, що виникають від взаємодії коліс трактора та робочих органів дискатора з нерівностями поля, створюють загальну вібрацію робочого місця та локальну вібрацію органів керування.

Несприятливий мікроклімат. Температура повітря влітку під час лущення стерні може досягати  $+30...+35^{\circ}\text{C}$ . Без належного кондиціонування повітря температура всередині кабіни за рахунок сонячної інсоляції та тепловиділення від двигуна підіймається до  $+40^{\circ}\text{C}$ , що призводить до теплового перегріву організму механізатора, зниження уваги та швидкості реакції.

*Небезпечні виробничі фактори:*

Обертові та рухомі частини знарядь. Сферичні диски (як суцільні, так і модернізовані вирізні «ромашки») під час руху агрегату обертаються з частотою до 107...122 об/хв. Фігурні гострі кромки вирізних дисків становлять підвищену небезпеку механічного травмування (порізи, затягування одягу) під час обслуговування МТА без зупинки двигуна.

Елементи гідросистеми під високим тиском. Робочий тиск у гідросистемі трактора Т-150К та виносних циліндрах ЛДВ-3,0 становить 14...16 МПа. Руйнування гнучких шлангів високого тиску (РВТ) або герметичних з'єднань може призвести до викиду струменя гарячого мастила, що викликає важкі термічні опіки або травми очей.

Небезпека під час агрегування та розворотів. Значна маса модернізованого лущильника (2150 кг) та шарнірне складання напіврам трактора Т-150К створюють небезпеку притискання або травмування допоміжних робітників у момент зчеплення знаряддя з трактором або при виконанні безпетльових розворотів на вузьких поворотних смугах (шириною 24 м).

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

## 5.2. Інженерно-технічні заходи із забезпечення безпеки праці та виробничої санітарії

Для нейтралізації шкідливих та небезпечних факторів при експлуатації проєктованого МТА впроваджується комплекс організаційно-технічних заходів:

1. Нормалізація мікроклімату та повітряного середовища. Кабіна трактора Т-150К має бути повністю герметизована за допомогою гумових ущільнювачів на дверях та вікнах. Обов'язковим є встановлення системи примусової вентиляції з триступеневим очищенням повітря через паперові та вугільні фільтри (фільтр-вентиляційна установка ФВУ). Для літніх умов рекомендується докомплектація кабіни автономним кондиціонером, що забезпечує підтримку оптимальної температури повітря  $+22...+24^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості 40...60 %.

2. Зниження шуму та вібрації. Для кабіни застосовують багатошарову шумоізоляцію на основі мастично-бітумних та пінополіуретанових матеріалів, які наносяться на днище та капотний щит. Підресорене сидіння оператора повинно мати гідравлічний амортизатор з можливістю індивідуального налаштування під вагу тракториста (60...120 кг) для гасіння низькочастотних коливань рами. Рульове колесо та важелі КПП забезпечуються віброізолюючими елементами.

3. Безпека конструкції модернізованого дискатора. Усі зварні стояки дискових секцій коробчастого перерізу проходять дефектоскопію зварних швів для виключення раптового руйнування від втомних напружень при швидкостях 14 км/год. Для безпечного транспортування дорогами загального користування бокові дискові батареї ЛДВ-3,0 обладнуються надійною гідравлічною системою складання з механічними фіксаторами (замками), що запобігають самовільному розкриттю секцій. Гнучкі шланги гідросистеми захищаються текстильними або металевими спіральними кожухами. На рамі

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 58   |

дискатора мають бути встановлені світловідбивні знаки та габаритні ліхтарі згідно з вимогами Правил дорожнього руху України.

### 5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях та пожежна безпека

Експлуатація МТА в літній період на сухій стерні озимих зернових культур (попередник під соняшник) характеризується високим рівнем пожежної небезпеки через наявність великої кількості легкозаймистих сухих рослинних решток соломи (4,2...4,8 т/га) та використання горючих паливно-мастильних матеріалів.

Заходи пожежної безпеки:

1. Трактор Т-150К має бути обладнаний сертифікованим іскрогасником на вихлопній трубі глушника. Усі електричні дроти та з'єднання повинні мати надійну ізоляцію для виключення іскріння та короткого замикання.

2. Двигун трактора необхідно регулярно очищати від налиплих пило-солом'яних часток та залишків мастила чи палива. Заправку паливного бака слід проводити виключно за допомогою закритих шлангових заправників при заглушеному двигуні. Куріння або використання відкритого вогню поблизу МТА категорично заборонено.

3. Трактор Т-150К та модернізований лушильник ЛДВ-3,0 комплектуються первинними засобами пожежогасіння: двома порошковими або вуглекислотними вогнегасниками (типу ВП-5 або ВВ-5), лопатою, кошмою (вогнетривким покривалом) та ємністю з піском.

4. Дії оператора у разі виникнення пожежі. Механізатор повинен негайно зупинити агрегат, заглушити двигун, перекрити подачу палива, знеструмити електричну мережу за допомогою вимикача та розпочати гасіння осередку загоряння вогнегасником, спрямовуючи струмінь порошку на основу полум'я. Якщо пожежу не вдається ліквідувати самостійно, необхідно викликати підрозділ ДСНС (за телефоном 101), повідомити керівництво господарства та вжити заходів для евакуації техніки в безпечну зону.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 59   |

## 6. ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено важливе інженерно-технічне завдання – підвищено ефективність процесу механізації вирощування соняшнику в умовах сучасних агропідприємств України шляхом розробки та комплексного обґрунтування параметрів модернізованих робочих органів і рамних конструкцій дискатора ЛДВ-3,0.

На основі проведених аналітичних, технологічних, кінематичних та міцнісних розрахунків сформовано такі основні висновки та результати:

Обґрунтовано актуальність та напрямки модернізації. Аналіз біологічних особливостей соняшнику та існуючої технології його вирощування підтвердив критичну важливість якісного післяжнивного лущення стерні попередника для закриття капілярної вологи та подрібнення соломистої маси (4,2...4,8 т/га). Виявлено недоліки серійного лущильника ЛДВ-3,0 (виглиблення дисків на твердих ґрунтах, забивання рослинними рештками, брак жорсткості рами), для усунення яких запропоновано жорстку зварну раму консольного типу, полегшені зварні стояки та комбінований набір дисків на батареях.

Визначено конструктивно-геометричні параметри знаряддя. Технологічним розрахунком обґрунтовано раціональні параметри робочих органів дискатора: діаметр сферичних дисків  $D = 450$  мм, радіус кривизни сферичного диска  $R = 420$  мм, товщина  $\delta = 5$  мм (матеріал – сталь 65Г з гартуванням). Для переднього ряду секцій розраховано оптимальну геометрію вирізних дисків «ромашка» з 10 зубами та глибиною фігурних вирізів 50 мм, що повністю виключає намотування соломи. Фактичний крок дисків у батареї становить 170 мм, що забезпечує мінімальну гребнистість дна борозни (2,84 мм) та суцільний обробіток ґрунту з шириною захвату 2,55 м при куті атаки  $20^\circ$ .

Оптимізовано режими роботи та склад МТА. На основі тягово-енергетичних розрахунків доведено недоцільність експлуатації колісного

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 60   |

трактора класу 3 (Т-150К) на занижених швидкостях через недовантаження дизеля. Обґрунтовано та впроваджено оптимальний швидкісний режим роботи МТА – II ряд, 3-тя передача КПП, що забезпечує раціональний коефіцієнт використання гакового зусилля трактора на рівні 70,7 % та робочу швидкість 12,78 км/год при високій просторовій стабільності консольної рами.

Розраховано експлуатаційну ефективність процесу. Розроблено операційно-технологічну карту процесу лушення стерні на площі поля 120 га. При розбивці поля на 4 загінки шириною по 250 м, загінному петльовому способі руху та ширині поворотної смуги 24 м, фактична змінна продуктивність агрегату становить 24,23 га/зміну. Це дозволяє завершити обробіток усього поля за 5 робочих змін. Завдяки зниженню металомісткості стояків та оптимізації кочення дисків питома витрата дизельного палива знизилася на 12,5 % і становить 7,18 л/га.

Перевірено міцність та надійність конструкції. Перевірочними інженерними розрахунками деталей на міцність підтверджено довговічність модернізованих вузлів. Напруження розтягу в небезпечному перерізі нарізки М27 центрального вала батареї становить 10,40 МПа, що значно менше за допустимі 55 МПа. Розрахунковий ресурс роботи обраних конічних радіально-упорних роликотидшипників маточин секцій за еквівалентного динамічного навантаження 7,945 кН становить 200960 годин, що повністю гарантує безвідмовність опорних елементів протягом усього життєвого циклу машини.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 61   |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопець. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
2. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
3. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології : підручник. Ч. 1. Рослинництво / С. М. Каленська [та ін.]. – К. : Прінтеко, 2023. – 611 с.
4. Агрохімія: Підручник / М.М. Городній, С.І. Мельник, А.С. Маліновський, О.І. Бондар, А.В. Бикін, А.Г. Сердюк, В.П. Каленський, В.В. Волкодав, О.М. Гончар, М.М. Мовчан. – К.: Алефа, 2003. – 778 с.
5. Машиновикористання в землеробстві/ В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
6. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно–тракторного парку в рослинництві: Підручник. –К.: Вища шк., 1995. –237 с.: іл.
7. Сайко В.Ф. Системи обробітку ґрунту в Україні / В.Ф. Сайко., А.М. Малієнко. – К : ЕКМО, 2007. – 44 с.
8. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.  
Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5475>.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 62   |

9. Сисолін П.В., Сало В.М., В.М. Кропівний. Сільськогосподарські машини/ Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва// За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
10. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. – 240 с.
11. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
12. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 552 с.
13. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
14. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
15. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – Київ : Аграрна наука, 2012. – 416 с.
16. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
17. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
18. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                | 63   |

19. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
20. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби/ МінАПК України, Дослідницьке, - 2009. - 288 с.
21. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалю. – Київ: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
22. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
23. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

|      |      |          |        |      |                |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------|------|
|      |      |          |        |      | ВСДП 00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                |      |

# ДОДАТКИ