

**Міністерство освіти і науки України**  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

**Інженерії машин, споруд та технологій**

(повна назва факультету )

**Технічної механіки та сільськогосподарських машин**

(повна назва кафедри)

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Підвищення ефективності збирання льону-довгунця**  
**довгунця з обґрунтуванням параметрів пристрою для очісування льону**

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МГм-61  
спеціальності 208

**Агроінженерія**

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

**Сидорук Б.В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

**Олексюк В.П.**

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

**Сташків М.Я.**

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

**Бабій А.В.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2025

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

|  |  |          |                        |
|--|--|----------|------------------------|
|  |  |          | Бабій А.В.             |
|  |  | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

«    »                      20\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Сидоруку Богдану Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності збирання льону-довгунця  
з обґрунтуванням параметрів пристрою для очісування льону

Керівник роботи Олексюк Василь Петрович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-969

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи

Базова конструкція пристрою для очісування льону,  
ширина захвату теребильної частини – 1,52 м, продуктивність комбайну – 0,7 га/год,  
робоча швидкість – 7,5 км/год.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Вступ. 1. Загально-технічний розділ. 2. Аналітико-дослідницький розділ.

3. Проектно-рекомендаційний розділ. 4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.  
Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Льонозбиральний комбайн «Двіна-4М. Вид загальний. 2. Аналіз механізованих  
технологій прибирання льону-довгунця. 3. Огляд очісуючих пристроїв.

4. Операційно-технологічна карта прибирання льону-довгунця.

5. Очісуючий пристрій. Вид загальний. 6. Деталювання. 7. Результати досліджень.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                                            | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                                   |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | Сенчишин В.С., доцент                     |                |                  |
|                                                   | Стручок В.С., ст.викл.                    |                |                  |

7. Дата видачі завдання

14.11.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи                               | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Загально-технічний розділ                         | 30.11.2025 р.                  |          |
| 2     | Аналітико-дослідницький розділ                    | 15.11.2025 р.                  |          |
| 3     | Проектно-рекомендаційний розділ                   | 30.11.2025 р.                  |          |
| 4     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 10.12.2025 р.                  |          |
| 5     | Реферат. Вступ. Висновки                          | 15.12.2025 р.                  |          |
| 6     | Ілюстративна частина. Специфікації                | 20.12.2025 р.                  |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |
|       |                                                   |                                |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Сидорук Б.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Олексюк В.П.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## **РЕФЕРАТ**

**Автор роботи** – Сидорук Богдан Васильович.

**Тема роботи** – «Підвищення ефективності збирання льону-довгунця з обґрунтуванням параметрів пристрою для очісування льону».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Олексюк Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

### **Актуальність теми роботи**

Традиційні технологічні схеми збирання льону включають виривання стебел, формування стрічок, їх підсушування та подальше очісування на стаціонарних пунктах. Такий підхід має низку недоліків: значні втрати насіння, нерівномірність підбирання та очісування, додаткові витрати часу та пального, а також зниження якості вихідної сировини через тривалу експозицію під відкритим небом.

Актуальність теми визначається необхідністю впровадження адаптивних технологій збирання технічних культур в умовах зміни клімату, зростання вартості енергоресурсів та підвищених вимог до якості волокна. Розроблення та оптимізація конструкції очісувального пристрою дасть змогу підвищити ефективність роботи льонозбиральних агрегатів, забезпечити раціональне використання ресурсу рослинної сировини та підвищити економічну ефективність виробництва.

Таким чином, тематика кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки спрямована на удосконалення процесу збирання льону-довгунця, підвищення продуктивності та якості технологічних операцій шляхом обґрунтування параметрів пристрою для очісування.

### **Мета роботи**

Метою роботи є підвищення ефективності збирання льону-довгунця

шляхом обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів пристрою для очісування льону, який забезпечує зменшення втрат насіннєвих коробочок, збереження якості волокнистої частини стебел та підвищення продуктивності технологічного процесу.

### **Об'єкт, методи та джерела дослідження**

*Об'єкт дослідження.* Технологічний процес збирання льону-довгунця з використанням очісувальних пристроїв у складі льонозбиральних агрегатів.

*Предмет дослідження.* Конструктивні параметри та режими роботи пристрою для очісування льону.

*Методи дослідження.* Аналітичні, експериментальні, математичного моделювання.

### **Отримані результати:**

- проведено аналіз сучасних технологій збирання льону-довгунця та сучасних очісувальних пристроїв льонозбиральних агрегатів;
- ґрунтуючись на аналізі будови очісувальних пристроїв та даних про технологічні процеси збирання льону здійснено обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра;
- досліджено роботу барабанно-планчастого очісувального пристрою комбайна «Двіна-4М»;
- визначено вплив конструктивних і режимних параметрів машини, а також фізико-механічних властивостей стеблової маси льону-довгунця на якісні та енергетичні показники процесу очісування;
- проведено розрахунок параметрів очісувального барабана та його приводу, а також конструктивні розрахунки найбільш навантажених елементів;
- розроблено рекомендації щодо застосування очісувального пристрою враховуючи техніко-економічні аспекти та особливості агротехніки льону-довгунця;
- проаналізовано небезпечні та шкідливі чинники при виконанні технологічного процесу збирання льону;
- розглянуто правила охорони праці та техніку безпеки при роботі на льонозбиральних агрегатах.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Практична цінність роботи визначається тим, що її результати можуть бути безпосередньо використані при проектуванні нових або модернізації наявних очісувальних апаратів у складі льонозбиральних машин та адаптерів, а також для удосконалення технології збирання льону шляхом зменшення втрат насінневих коробочок і підвищення рівномірності очеса.

**Апробація.** Окремі результати роботи доповідались VIII Міжнародній студентській конференції „Природничі та гуманітарні науки“, Тернопіль, 24-25 квітня 2025 року.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 69, додатки – 4 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 14 арк. формату А4.

**Ключові слова:** очісуючий пристрій, волокна льону, повнота очісу, втрати насіння, стеблова маса.

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$D_b$  – діаметр барабана, м;

$n$  – частота обертання, об/хв;

$k_B$  – коефіцієнт запасу по ширині;

$Q$  – продуктивність, т/год;

$e$  – питома енерговитрата, кВт·год/т.

$M_b$  – крутний момент на валу барабана, Н·м;

$N_p$  – корисна потужність на барабані, кВт;

$n_b$  – частота обертання барабана, об/хв;

де  $n_{дв}$  – частота обертання ведучого вала (двигун або ВВП), об/хв;

$n_b$  – частота обертання барабана, об/хв;

$\delta$  – товщина приварюваної деталі, мм;

$\tau$  – розрахункове значення напружень зрізу в зварному шві, МПа;

$[\tau_{ср}]$  – допустиме значення напруження для кутових зварних швів,

$F$  – величина навантаження на зварні з'єднання, Н;

$[\sigma_p]$  – допустиме напруження при розтягу для основного матеріалу, МПа;

$S_s$  – коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями;

$S_t$  – коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями;

$S_b$  – межа міцності на розтяг матеріалу вала, МПа;

$t_{-1}$  – межа витривалості для сталі за симетричного циклу навантаження при крученні, МПа;

$W_p$  – момент опору даного перерізу деформації кручення;

$B_m$  – ширина захвату агрегату, м;

$n_m$  – число агрегатів;

$k$  – величина питомого тягового опору, кН/м;

$g_m$  – вага агрегату, кН.;

$\alpha$  – кут нахилу місцевості.

$k_o$  – питомий опір, кН/м;

$\Delta C$  – темп зміни значення питомих тягових опорів;

$\eta_{\text{мг}}$  – ККД трансмісії енергозасобу;  
 $\eta_{\text{вом}}$  – ККД привода вала відбору потужності;  
 $n_{\text{м}}$  – величина номінальної частоти обертів колінчастого вала, об/хв.;  
 $i_{\text{тр}}$  – величина передаточного числа трансмісії;  
 $r_0$  – величина радіуса шин коліс, м;  
 $\lambda_{\text{ш}}$  – значення коефіцієнта усадки шин;  
 $h_{\text{ш}}$  – ширина шин, м;  
 $G_{\text{мг}}$  – вага одного агрегату, кН;  
 $f_{\text{пр}}$  – коефіцієнт перекочування агрегату;  
 $G_{\text{тн}}$  – величина годинних витрат палива за номінальної потужності, кг/год;  
 $\eta_{\text{мг}}$  – ККД трансмісії енергозасобу;  
 $\eta_{\text{б}}$  – ККД буксування;  
 $N_{\text{кр}}$  - потужність на гаку, кВт.  
 $N_{\text{е.н}}$  – номінальна потужність, кВт;  
 $L$  - величина довжини гону, м;  
 $E$  – мінімальне значення ширини поворотної смуги, м;  
 $R$  - значення мінімального радіусу повороту агрегату, м;  
 $l_{\text{тр}}$  – величина кінематичної довжини трактора, м;  
 $l_{\text{м}}$  - кінематична довжина робочого агрегату, м;  
 $T_{\text{тех}}$  - час, що витрачається на технологічне обслуговування агрегату, год;  
 $T_{\text{п.з.}}$  – величина підготовчо-заключного часу, год;  
 $T_{\text{ф}}$  – значення часу на зупинки з фізіологічних потреб, год;  
 $T_{\text{пер}}$  – час, що затрачається на внутрішні переїзди, год;  
 $T_{\text{п.п}}$  – величина часу на підготовку до переїздів, год;  
 $T_{\text{п.н.к.}}$  – час, що затрачається на переїзди напочатку і вкінці, год;  
 $T_{\text{п.н}}$  – величина часу на отримання нарядів, год;  
 $T_{\text{е.т.о}}$  - час на ЕТО, год;  
 $T_{\text{см}}$  - тривалість зміни, год;  
 $G_{\text{тр}}, G_{\text{тх}}, G_{\text{то}}$  - величини середніх годинних витрат палива відповідно за

робочого ходу, при холостих поворотах і перевантаженні, при зупинках з невимкненим двигуном, кг/год;

## ЗМІСТ

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Вступ</b> -----                                                                               | 11 |
| <b>1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> -----                                                        | 12 |
| 1.1 Аналіз сучасних технологій збирання льону-довгунця                                           | 12 |
| 1.2 Аналіз сучасних очісувальних пристроїв                                                       | 16 |
| 1.3 Очісуючий пристрій льонозбирального комбайну                                                 | 20 |
| 1.4 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи                                                    | 23 |
| <b>2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b> -----                                                   | 25 |
| 2.1 Дослідження процесу очісування барабанно-планчастими очісувальними пристроями                | 25 |
| 2.2 Аналіз впливу вологості стеблової маси на показники процесу очісування                       | 30 |
| <b>3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ</b>                                                        | 33 |
| 3.1 Розрахунок параметрів очісуючого барабана льонозбирального комбайна Двіна-4М                 | 33 |
| 3.2 Розрахунок приводу очісуючого барабана                                                       | 37 |
| 3.3 Конструктивні розрахунки                                                                     | 40 |
| 3.3.1 Розрахунок зварного з'єднання валу очісуючого барабану                                     | 40 |
| 3.3.2 Уточнюючі розрахунки валу очісуючого барабану                                              | 42 |
| 3.4 Розробка операційно-технологічної карти                                                      | 45 |
| <b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>                                      | 59 |
| 4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при виконанні технологічного процесу збирання льону | 59 |
| 4.2. Правила охорони праці та техніка безпеки при роботі на льонозбиральних агрегатах            | 61 |
| <b>Загальні висновки</b>                                                                         | 64 |
| <b>Перелік посилань</b> -----                                                                    | 66 |
| <b>Додатки</b> -----                                                                             | 69 |

## ВСТУП

Льон-довгунець належить до найважливіших технічних культур, що має стратегічне значення для виробництва натуральних волокон у легкій, текстильній та комбінованій промисловості. Ефективність льонарства значною мірою визначається рівнем механізації технологічних операцій, серед яких процес збирання льону-довгунця вирізняється найвищою трудомісткістю, енергоємністю та технологічною складністю.

Одним із ключових чинників формування матеріальних витрат і рівня якості отриманої продукції є операції збирання, які визначають загальний результат усього технологічного циклу вирощування льону. Перспективним напрямом підвищення ефективності цього процесу є створення та впровадження очісувальних пристроїв, що забезпечують відокремлення коробочок і насіння безпосередньо в полі, об'єднуючи етапи збирання та первинної обробки.

Очісувальні робочі органи дозволяють ефективно вилучати коробочки та насіння зі стебел із мінімальним механічним впливом на волокнисту частину рослини. Проте результативність їх роботи істотно залежить від раціонального поєднання конструктивних та технологічних параметрів: режимів роботи, швидкісних характеристик, геометрії зубців, кутів взаємодії та кінематичних схем.

Попри наявні розробки у сфері механізації льонарства, сучасні конструкції очісувальних апаратів все ще характеризуються низкою недоліків: значною варіабельністю фізико-механічних властивостей стебел, неоднорідністю досягання коробочок, підвищеною травмованістю волокна при надмірних механічних впливах та значними енергетичними витратами.

У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування оптимальних конструкційних і технологічних параметрів пристрою для очісування льону-довгунця, здатного забезпечити високу якість технологічного процесу, мінімальні втрати продукції та зниження енерговитрат.

## **1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **1.1. Аналіз сучасних технологій збирання льону-довгунця**

Технологія вирощування та збирання льону-довгунця істотно відрізняється від технологій для зернових культур, оскільки основною продукцією є довге луб'яне волокно, а також насіння. Для збереження максимальної довжини та якості волокна рослини льону традиційно не зрізують, а виривають із коренем, що дало назву операції «*підбирання-підривання (pulling)*» льону [20].

У сучасній практиці застосовують кілька основних технологічних схем збирання льону-довгунця:

#### **Класична технологія розділеного збирання**

Найбільш поширеною є розділена технологія, що включає послідовні операції [8]:

- виривання стебел льону спеціальними льонопирячими машинами (пулерами);
- формування стрічок на полі;
- сушіння та природне або штучне ретування (перегнівання зв'язок між волокном і деревиною);
- підбирання стрічок і транспортування на пункти первинної переробки;
- очісування коробочок, вилущування насіння, подальше м'яття й тріпання соломи.

У традиційних машинах типу канадських, бельгійських та їхніх сучасних аналогів стебла захоплюються парними стрічковими або роликівими захватами, вириваються з ґрунту та укладаються у стрічку або в снопи.

Перевагою такої технології є відносна простота машин та можливість отримання довгого волокна високої якості.

Недоліки – велика кількість окремих операцій, значні втрати насіння, висока трудомісткість і енергоємність, залежність якості від погодних умов під

час тривалого перебування стебел на полі.

### **Сучасні самохідні льонозбиральні комплекси**

З метою підвищення продуктивності та зниження витрат праці розроблено самохідні льонозбиральні машини комбінованого типу, які поєднують кілька операцій: виривання, укладання у стрічки, перевертання, подрібнення або пресування у тюки. Такі комплекси використовуються, зокрема, європейськими виробниками льонозбиральної техніки (Union, Dehondt та ін.), що випускають самохідні подвійні пулери, машини для перевертання стрічок та прес-підбирачі [8].

Використання самохідних машин дозволяє:

- зменшити кількість проходів по полю;
- забезпечити стабільну глибину захоплення стебел та рівномірність стрічки;
- підвищити продуктивність збирання в 1,5–2 рази порівняно з начіпними або причіпними машинами;
- знизити втрати стеблової маси та насіння.

Водночас у більшості існуючих машин операції очісування коробочок виконуються окремо, як правило, на стаціонарних очісувальних агрегатах, що збільшує загальну тривалість технологічного циклу та потребує додаткового транспортування.

### **Технологія збирання льону з використанням зернозбиральних комбайнів**

Окремим напрямом є адаптація зернозбиральних комбайнів для збирання льону, переважно олійного, але напрацювання використовують і для довгунця [11]. У дослідженнях нових технологій збирання льону показано, що заміна виривання на скошування із подальшим обмолотом модифікованим зернозбиральним комбайном може зменшити загальні витрати праці на 30 %, а безпосередні витрати на операцію збирання – більш ніж на 40 %, за умови

дотримання раціональної висоти зрізу та параметрів машини.

Такі технології є доцільними:

- при вирощуванні льону, орієнтованого переважно на насіннєву продукцію;
- за необхідності інтенсивної механізації з мінімальними інвестиціями, коли використовується наявний парк зернозбиральних машин.

Недоліком є скорочення довжини волокна та зниження його якості, що обмежує використання цієї технології у класичному льонарстві, зорієнтованому на виробництво довгого волокна.

### **Комбіновані технології з інтегрованим очісуванням**

У сучасних розробках важливою тенденцією є інтеграція процесу очісування коробочок безпосередньо в полі за допомогою спеціальних пристроїв, змонтованих на льонозбиральних або навіть зернозбиральних машинах [5].

Перспективним вважається застосування витяжних (пулінгових) та очісувальних пристроїв з роликівими чи стрічково-зубчастими робочими органами, які забезпечують:

- одночасне виривання стебел і відокремлення насіннєвих коробочок;
- зниження втрат насіння завдяки спрямованому транспортуванню маси до насіннєвловлювача або бункера;
- зменшення обсягів маси, що транспортується на первинну переробку (частина операцій виконується вже в полі).

Розробки останніх років пропонують пулінгові пристрої з конічними роликами, що забезпечують стабільне захоплення стебел і формування смуг, а також пристрої для збирання льону на ходу зернозбиральним комбайном з додатковими вузлами для витягування стебел, транспортування до очісувального апарата та уловлювання насіння.

Однак значна частина таких рішень перебуває на етапі дослідних зразків або обмеженого впровадження, що підтверджує наявність науково-технічної

проблеми обґрунтування параметрів очісувальних пристроїв, адаптованих до різних сортів льону та умов господарювання.

### **Тенденції розвитку технологій збирання льону-довгунця**

Аналіз публікацій та технічних рішень свідчить, що розвиток технологій збирання льону-довгунця відбувається за такими основними напрямками [5]:

- *Підвищення рівня комплексної механізації* – поєднання в одному агрегаті операцій виривання, укладання, очісування, підсушування, подрібнення чи пресування.

- *Адаптація існуючих зернозбиральних машин* шляхом встановлення спеціальних пристроїв для витягування стебел льону та очісування коробочок, що дозволяє зменшити інвестиційні витрати господарств.

- *Удосконалення робочих органів очісувальних пристроїв* – застосування роликів, стрічкових, зубчастих та комбінованих робочих органів з оптимізованою геометрією та кінематикою для зменшення пошкодження волокна та втрат насіння.

- *Інтеграція процесів очісування та первинної переробки* з використанням мобільних технологічних ліній, що дає змогу скоротити транспортні витрати та підвищити рівень збереження якості сировини.

- *Впровадження енергозберігаючих та ресурсоефективних рішень*, орієнтованих на зменшення питомих витрат пального та мінімізацію втрат при збиранні й транспортуванні льонопродукції.

Отже, сучасні технології збирання льону-довгунця характеризуються переходом від багатостадійних, трудомістких схем до комбінованих, високопродуктивних процесів з інтегрованими очісувальними пристроями. Це підкреслює актуальність наукових досліджень, спрямованих на обґрунтування параметрів пристрою для очісування льону, який би забезпечував оптимальне поєднання якісних, енергетичних та економічних показників.

## **1.2. Аналіз сучасних очісувальних пристроїв**

Сучасні очісувальні пристрої для збирання льону-довгунця конструктивно різноманітні, але більшість із них ґрунтується на механічній взаємодії зубчастих, барабанних чи роликкових робочих органів зі стеблами та коробочками льону.

Їх можна умовно поділити на такі основні групи [12]:

### **1. Барабанні очісувальні апарати льнокомбайнів**

Класичні льнокомбайни (ЛК-4, ЛКВ-4 тощо) мають очісувальний барабан з гребенями, який розміщено над вертикальною стрічкою або транспортерами, що утримують стебла у вертикальному положенні. Стеблова маса проходить повз барабан, зуби-скоби якого, встановлені з певним кроком, проникають у шар стебел і вичісують коробочки, спрямовуючи ворох у камеру очісу, а очісану соломку – до в'язального апарата або на розстилення.

### **2. Підбирально-очісувальні пристрої для стрічок льону**

При роздільній технології збирання застосовуються підбирачі-очісувачі стрічок льону (типу ПОЛ-1,5К), які працюють по стрічці, сформованій раніше пулерами.

На відміну від «класичного» льнокомбайна, підбирач-очісувач працює з уже підсушеною й ретованою стрічкою, що змінює характер взаємодії зубів із коробочками і вимагає іншого підходу до вибору кроку зубів, діаметра барабана та частоти його обертання.

### **3. Барабанно-планчасті та барабанно-лопатеві очісувальні пристрої**

У таких пристроях коробочки відокремлюються в зоні взаємодії двох барабанів або барабана з планчастою/лопатевою поверхнею.

Перевагою є краще регулювання зусиль очісу та можливість підбору режимів так, щоб мінімізувати травмування волокна. Недоліком є більша конструкційна складність та вимоги до точності налаштування.

### **4. Роликові та роликово-дискові очісувальні механізми**

У таких пристроях застосовуються ролики із профільованою (зубчастою,

канавчастою, спіральною) поверхнею, які забезпечують витягування, притискання та частковий очіс коробочок у зоні контакту.

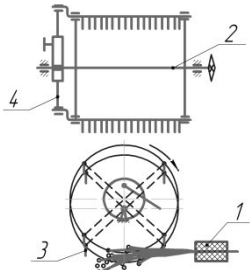
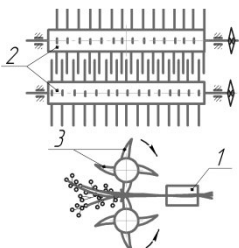
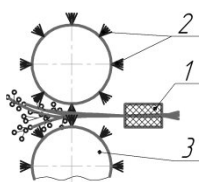
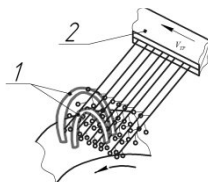
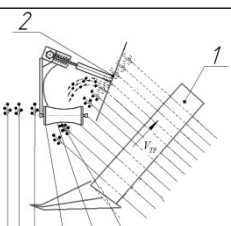
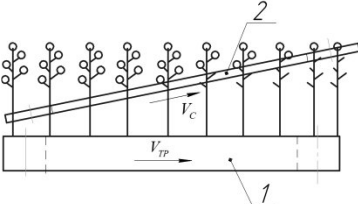
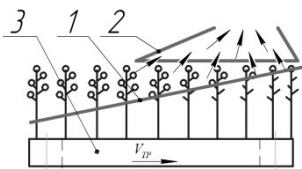
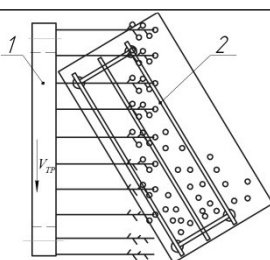
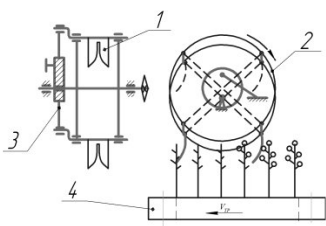
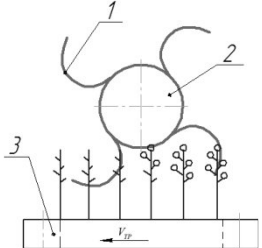
Такі пристрої можуть бути встановлені як в зоні витягування стебел з ґрунту, так і в окремому модулі очеса, наприклад, при очесі льону на корені.

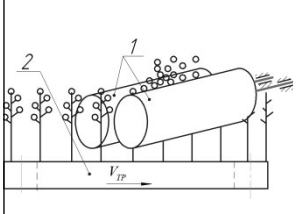
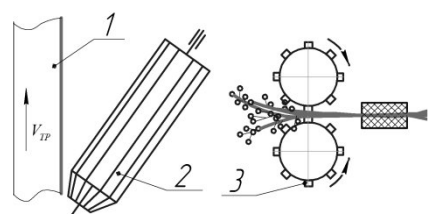
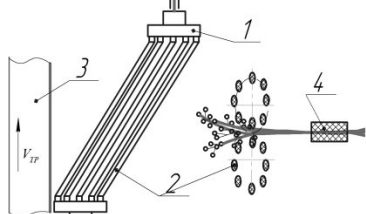
## 5. Комбіновані очісувальні пристрої та адаптери для комбайнів

У сучасних розробках застосовуються очісувальні жатки та адаптери до зернозбиральних комбайнів, у яких зубчастий барабан або гребінчастий ротор знімає насіннєві органи з рослин при їх стоячому положенні.

Такі системи дають змогу поєднати збирання та очісування в одному проході, однак потребують тонкого налаштування, щоб не погіршити якість волокна.

Таблиця 1.1 – Типи обчісувальних пристроїв

| Тип очісувального пристрою |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Барабанні                  | Гребеневі однобарабанні                                                             | Гребеневі двохбарабанні                                                              | Щіткові                                                                               | Зубоскобові                                                                           |
|                            |  |   |  |  |
| Щілинні                    | Імпульсні                                                                           | Лінійні                                                                              |                                                                                       |                                                                                       |
|                            |                                                                                     | Активні                                                                              | Пасивні                                                                               |                                                                                       |
|                            |  |  |  |                                                                                       |
|                            | Вібраційний                                                                         | Паралелограмний                                                                      | З циліндричною робочою поверхнею                                                      |                                                                                       |
|                            |  |  |  |                                                                                       |

|         | Ротаційні                                                                         | Бильні                                                                             | Планчаті                                                                            |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Роторні |  |  |  |

Аналіз конструкцій очісувальних пристроїв, що використовуються у льонозбиральних машинах та комбінованих агрегатах, свідчить про їх конструктивні та технологічні обмеження [12]. До основних недоліків належать:

### *1. Підвищена травмованість волокнистої частини стебел*

Більшість очісувальних робочих органів працюють за принципом жорсткого механічного впливу, що призводить до: руйнування верхньої частини стебел, часткового зрізання або надриву луб'яного волокна, зниження сортності льоносоломи та довжини отриманого волокна.

Це особливо характерно для конструкцій із металевими зубчастими барабанами та агресивними робочими поверхнями.

### *2. Значні втрати насінневих коробочок та насіння*

Існуючі системи часто не забезпечують: достатнього притискання стебел до очісувальних органів, стабільної траєкторії руху соломистої маси, узгодженості швидкостей робочих органів і руху машини.

Як наслідок, частина коробочок не відокремлюється, а частина – втрачається під час транспортування або осипається на ґрунт.

### *3. Нестабільність роботи у разі зміни фізико-механічних властивостей льону*

На роботу очісувальних механізмів сильно впливають: вологість стебел та коробочок, ступінь стиглості льону, міцність оболонки коробочок, нерівномірність висоти рослин.

Переважає більшість існуючих конструкцій не мають адаптивних регулювань, тому їх ефективність змінюється залежно від стану рослин.

#### *4. Недостатня енергоефективність*

Жорсткі металеві робочі органи та високі частоти обертання викликають: збільшені енергетичні навантаження, надмірне споживання палива, підвищений знос вузлів і агрегатів.

#### *5. Недосконалість конструкцій систем транспортування маси*

Часто виникають проблеми з: нерівномірністю подачі стебел у зону очісування, забиванням у місцях переходу, утворенням пучків із різною довжиною, що знижує рівномірність обробки.

*6. Обмежена продуктивність через недостатню ширину захвату або низьку частоту обробки*

Багато існуючих очісувальних пристроїв мають невеликі зони контакту зі стеблами та недостатню швидкість обробки маси, що знижує їхню продуктивність та ефективність використання на великих площах.

#### *7. Висока трудомісткість налаштування і технічного обслуговування*

До недоліків також належать: складні механічні регулювання, велика кількість рухомих елементів, швидкий знос зубчастих і роликів органів, часті потреби у ремонтах.

### **Висновки**

Проведений аналіз показує, що, незважаючи на різноманіття конструкцій (барабанні, планчасті, роликові, комбіновані), принцип роботи очісувальних пристроїв базується на керованому механічному впливі зубців або профільованих поверхонь на верхню частину стебел льону. Основними напрямками їх удосконалення є:

- оптимізація геометрії робочих органів (зубці, гребені, ролики),
- раціональний вибір кінематичних параметрів (швидкість, частота обертання, кут атаки),
- адаптація до зміни стану рослин (вологість, висота, ступінь стиглості),
- зниження енергоємності процесу та втрат насіння.

Саме це й зумовлює необхідність подальшого обґрунтування параметрів пристрою для очісування льону-довгунця.

### 1.3. Очісуючий пристрій льонозбирального комбайну

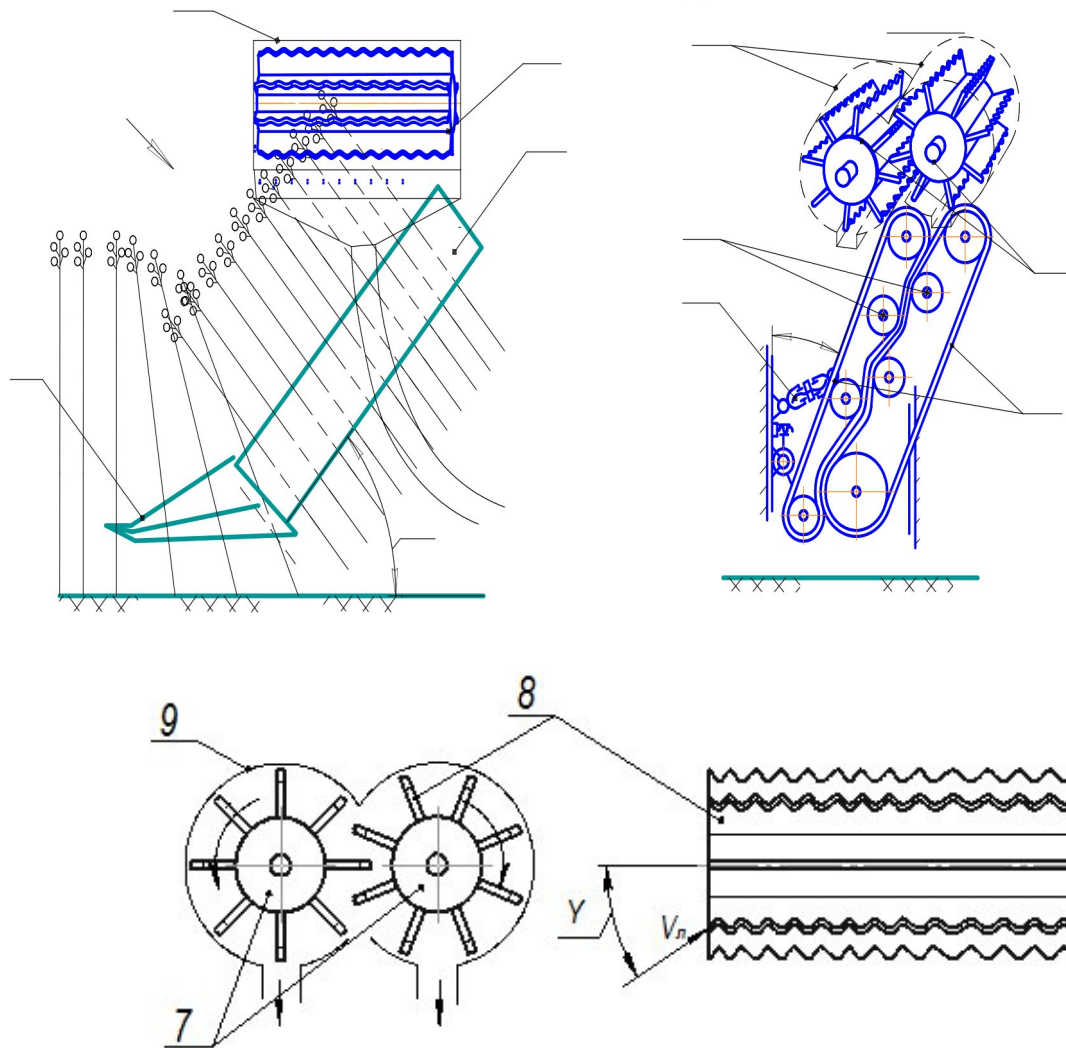
Причіпні льонозбиральні комбайни Двіна-4М застосовуються для виконання комплексу технологічних операцій, що забезпечують комбайновий спосіб збирання льону-довгунця на стадіях ранньої жовтої та жовтої стиглості. До переліку операцій належать: збирання стебел із одночасним очісуванням насіннєвих коробочок, транспортування очісаного вороху в причіпні ємності та розстилання очищених стебел у стрічки для подальшого вилежування.

Комбайн Двіна-4М агрегатується з тракторами тягового класу 1,4, що забезпечує відповідну енергонасиченість і стабільність роботи агрегату в полі.



Рисунок 1.1 – Комбайн для збирання льону Двіна-4М

Найбільш ефективним способом розділення насіннєвих коробочок і стебел льону є виконання процесу очісування в теревильних руслах за допомогою барабанно-планчатих очісувальних пристроїв (рис. 1.2).



1 – діляник; 2 – секція бралки; 3 – обчісуючий пристрій; 4 - кожух обчісуючого пристрою; 5 – додаткові притискні ролики; 6 – натягувач пасів бралок; 7 – планчаті барабани; 8 – планки; 9 – вороховідводи.

Рисунок 1.2 – Очісуючий пристрій льонозбирального комбайну

Запропонований очісувальний пристрій конструктивно складається з таких основних елементів: діляників 1, секцій бралок 2, очісувальних апаратів 3, кожухів очісувальних пристроїв 4, додаткових притискних роликів 5 та натягувачів 6 пасів бралок.

Очісувальні пристрої включають два паралельно розташованих планчастих барабани 7 циліндричної форми. Робочі поверхні їх планок 8 мають хвилеподібний профіль, що сприяє ефективному захопленню та зчищенню

коробочок. Барабани оснащені кожухами 4 з вороховідводами 9. Очісувальні барабани монтуються безпосередньо над теребильними секціями у горизонтальній площині, формуючи гострий кут  $\gamma$  з апаратами бралок. При цьому осі обертання барабанів зорієнтовані паралельно площинам руху стрічок льону.

Принцип роботи очісувального пристрою.

Під час роботи комбайна підведені стебла льону розділяються дільниками 1, які спрямовують їх у секції бралок 2. У цих секціях відбувається теребіння стебел та утримання їх у защемленому стані при подачі до очісувальних барабанів 3. Завдяки тому, що очісувальний пристрій розташований безпосередньо над теребильними секціями, кількість стебел, які одночасно потрапляють у зону очісування, зменшується приблизно у чотири рази порівняно з традиційними конструкціями машин.

Планчасті барабани здатні обертатися у протилежні сторони з однаковими кутовими швидкостями. Під час обертання їх планки входять у взаємне зачеплення, утворюючи активну зону очісування. Головки льону, що в цій зоні переміщуються вгору відносно стебел, ефективно зчищаються завдяки взаємодії з хвилеподібними планками барабанів 8.

Кожухи барабанів 4 запобігають розсіюванню матеріалу, спрямовуючи обчесану масу у вороховідводи 9 та далі – у накопичувальний бункер. Переміщення вороху посилюється повітряними потоками, що утворюються під час обертання планок.

Оскільки стебла льону подаються до очісувальних барабанів під кутом  $\gamma$ , а теребильний апарат має власний конструктивний нахил, забезпечується плавне та поступове введення верхівкових частин стебел у зону очісування. Така схема подачі створює порційний режим дії робочих органів, що істотно знижує рівень механічних пошкоджень – зокрема, ламання, обривання та зминання стебел – і водночас сприяє отриманню більшої частки довгого волокна порівняно з очісувальними пристроями традиційних конструкцій.

Додатковим фактором підвищення якості роботи є хвилеподібний

профіль робочих планок барабанів. Завдяки такій формі знижується щільність шару стебел, що потрапляють в зону очісування (шт/м), і водночас збільшується площа контакту робочих органів із рослинною масою орієнтовно на величину  $\pi/2$ . Це забезпечує більш інтенсивне та рівномірне зчищення насіннєвих коробочок, а також покращує паралельність стебел у верхівковій зоні, що позитивно впливає на вихід довгих волокон.

Унаслідок більш якісного очісування у воросі льону міститься значно менша кількість домішок, які підлягають видаленню перед сушінням. Відповідно зменшуються енергетичні витрати на сушіння матеріалу та покращуються умови подальшої первинної переробки.

Таким чином, хвилеподібний профіль робочих планок сприяє підвищенню площі взаємодії та ефективності відділення насіннєвих коробочок, що є ключовим чинником покращення якості технологічного процесу очісування льону-довгунця.

#### **1.4. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи**

Льон-довгунець належить до стратегічно важливих технічних культур, що визначають розвиток легкої та текстильної промисловості України. Волокно льону відзначається високою міцністю, екологічністю та універсальністю застосування, а насіння є цінною сировиною для олійної, фармацевтичної та харчової галузей [8]. Ефективність вирощування й переробки цієї культури значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, серед яких процес збирання посідає особливо важливе та технологічно складне місце.

Традиційна технологія збирання льону передбачає виривання стебел, їх укладання у стрічки, природне або примусове підсушування, а також наступне очісування насіннєвих коробочок на стаціонарних чи напівстаціонарних пунктах первинної переробки. Такий багатоступеневий цикл характеризується

значною трудомісткістю, високими енергетичними витратами та суттєвими втратами насіння. Крім того, якість отриманої сировини нерідко є нестабільною, а технологічний процес має пряму залежність від погодних умов.

Усунення більшості зазначених недоліків можливе шляхом удосконалення технологічних засобів збирання, передусім очісувальних пристроїв, які виконують ключову функцію у відокремленні насінневих коробочок та формуванні якісної сировини для подальшої переробки [5].

Аналіз сучасних льонозбиральних машин свідчить, що існуючі конструкції очісувальних апаратів не повною мірою відповідають вимогам виробництва. Основними недоліками залишаються підвищений рівень травмування волокна, значні втрати коробочок і насіння, нестабільність роботи за змінних умов вологості та ступеня стиглості рослин, а також недостатня енергоефективність. Барабанні, роликові та стрічково-очісувальні системи потребують подальшого вдосконалення конструктивних і кінематичних параметрів, особливо з урахуванням сучасних тенденцій до скорочення кількості проходів техніки, зменшення машинно-тракторного парку та підвищення якості волокнистої сировини [12].

У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування параметрів очісувального пристрою для льону-довгунця, який би забезпечував раціональну взаємодію робочих органів із рослинною масою, підвищував ефективність технологічного процесу збирання та мінімізував втрати насінневих коробочок. Створення таких конструкцій є особливо важливим для умов України, де льонарство має значний потенціал відновлення, а виробничі підприємства відчують потребу у високопродуктивних, надійних і енергоефективних машинах.

Таким чином, тематика кваліфікаційної роботи є актуальною, практично значущою та відповідає сучасним тенденціям розвитку механізації сільськогосподарського виробництва.

## **2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1. Дослідження процесу очісування барабанно-планчастими очісувальними пристроями**

Дослідження роботи барабанно-планчастого очісувального пристрою комбайна «Двіна-4М» виконувалися з метою визначення впливу конструктивних і режимних параметрів машини, а також фізико-механічних властивостей стеблової маси льону-довгунця на якісні та енергетичні показники процесу очісування.

#### **Вихідні дані**

Під час досліджень використовувався штатний барабанно-планчастий очісувальний пристрій комбайна «Двіна-4М», який має такі основні параметри:

- діаметр очісувального барабана – 460 мм;
- довжина барабана – 980 мм;
- діапазон частоти обертання барабана – 400–900 об/хв.

Польовий матеріал – льон-довгунець середньостиглого сорту. Показники стеблової маси в момент дослідження:

- середня висота стебла – 72–84 см;
- діаметр стебла на висоті грудей – 1.6–2.0 мм;
- середня довжина технічного волокна – 18–22 см;
- середня кількість коробочок на стеблі – 6–9 шт;
- діаметр коробочки – 5.5–7.2 мм;

Вологість рослинної маси змінювалася внаслідок природної стиглості та погодних умов і для досліду була розділена на три діапазони:

- низька вологість: 8–9%;
- оптимальна вологість: 10–14%;
- підвищена вологість: 15–18%.

Для визначення впливу режимів роботи очісувального пристрою було встановлено такі межі варіювання:

Частота обертання барабана

$n=400, 500, 600, 700, 800, 900$  об/хв

Зазор між барабаном та планкою

$h=20-22$  мм

Під час кожної серії вимірювань фіксувались:

- Повнота очеса, %
- Пошкодження луб'яного волокна, %
- Ступінь руйнування коробочок, %
- Втрати насіння, %
- Енергетичні витрати, кВт·год/т

### **Обґрунтування вибору параметрів**

- Діапазон частот обертання барабана (400–900 об/хв) охоплює всю робочу зону комбайна Двіна-4М, включаючи мінімальні та максимальні режими.

- Вибрані діапазони вологості відповідають реальним умовам збору льону в Україні.

- Зазор 18–24 мм забезпечує компроміс між якістю очеса та збереженням волокна.

- Швидкість подачі 0.6–0.7 м/с є паспортною для штатного транспортера комбайна та гарантує стабільний процес.

### **Результати дослідження**

Таблиця 2.1 – Результати експериментальних досліджень

| <i>Швидкість,<br/>об/хв</i> | <i>Повнота<br/>очеса, %</i> | <i>Пошкодження,<br/>%</i> | <i>Руйнування,<br/>%</i> | <i>Втрати<br/>насіння,<br/>%</i> | <i>Енергетичні<br/>витрати,<br/>кВт·год/т</i> |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| 400                         | 76                          | 4.8                       | 7.2                      | 5.4                              | 4.0                                           |
| 500                         | 83                          | 4.3                       | 6.1                      | 4.5                              | 4.3                                           |
| 600                         | 88                          | 3.7                       | 5.2                      | 3.9                              | 4.8                                           |
| 700                         | 92                          | 3.4                       | 4.6                      | 3.3                              | 5.4                                           |
| 800                         | 95                          | 3.9                       | 4.9                      | 3.4                              | 6.0                                           |
| 900                         | 93                          | 5.1                       | 6.3                      | 4.9                              | 7.2                                           |

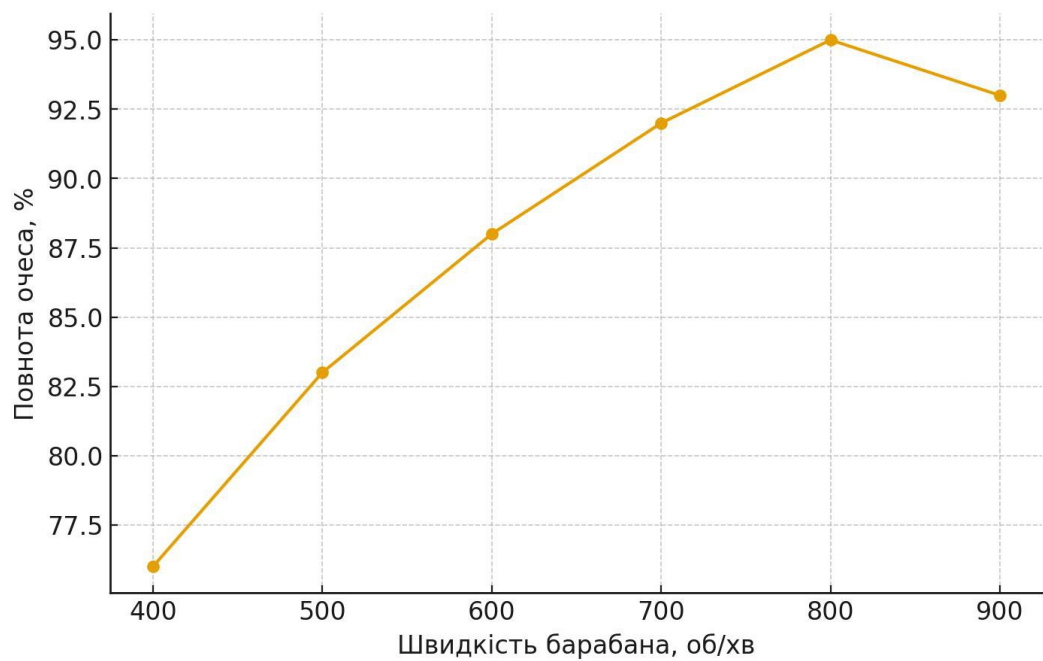


Рисунок 2.1 – Залежність повноти очеса від частоти обертання барабана

Повнота очеса зростає зі збільшенням швидкості барабана до 800 об/хв. Максимальне значення становить 95%. Подальше зростання частоти обертання призводить до погіршення повноти через нерівномірну дію зубців.

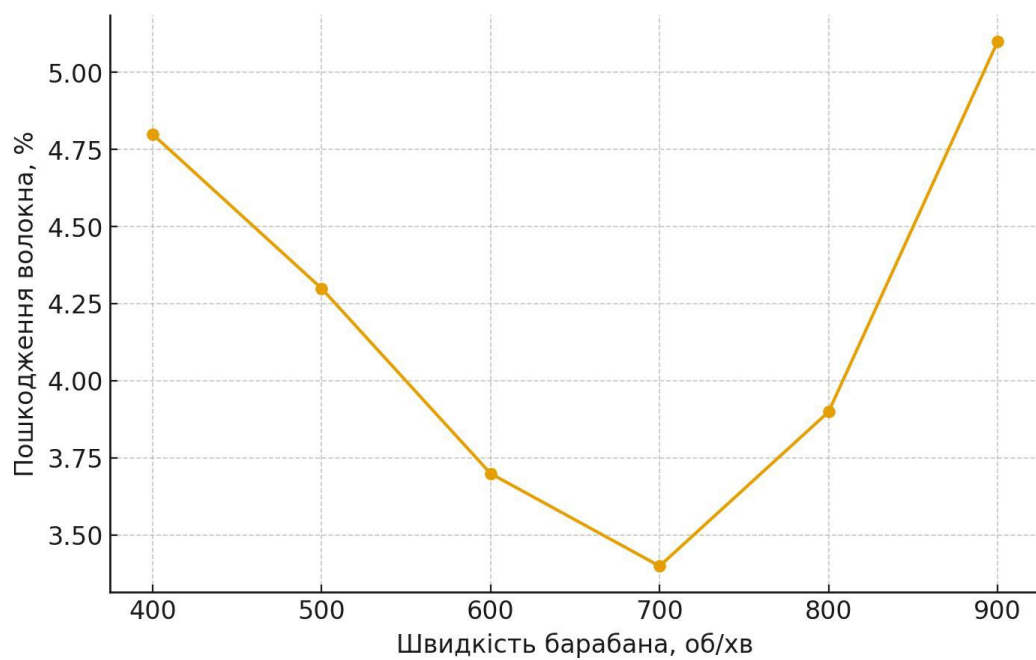


Рисунок 2.2 – Вплив частоти обертання барабана на пошкодження волокна

Пошкодження волокна мінімізується в діапазоні 600–700 об/хв. При 900 об/хв різко зростає до 5.1%, що свідчить про надмірну ударність.

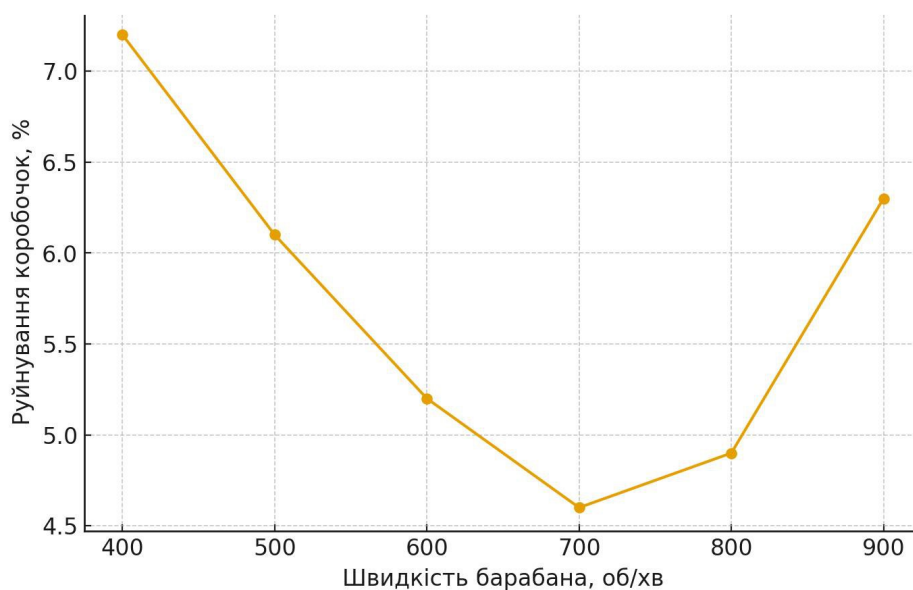


Рисунок 2.3 – Ступінь руйнування коробочок при різних частотах обертання

Руйнування коробочок має мінімум при 700 об/хв (4.6%). При низьких швидкостях коробочки відокремлюються частково, а при високих – руйнуються надмірно.

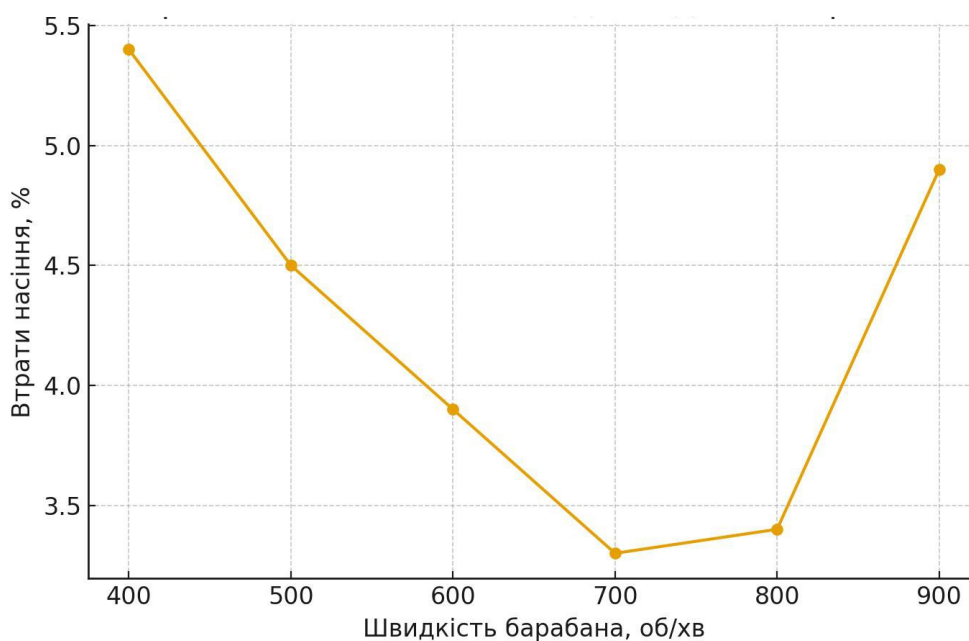


Рисунок 2.4 – Втрати насіння залежно від частоти обертання барабана

Втрати насіння зменшуються до мінімуму (3.3–3.4%) при 700–800 об/хв. При 900 об/хв частина насіння вилітає повз приймач.

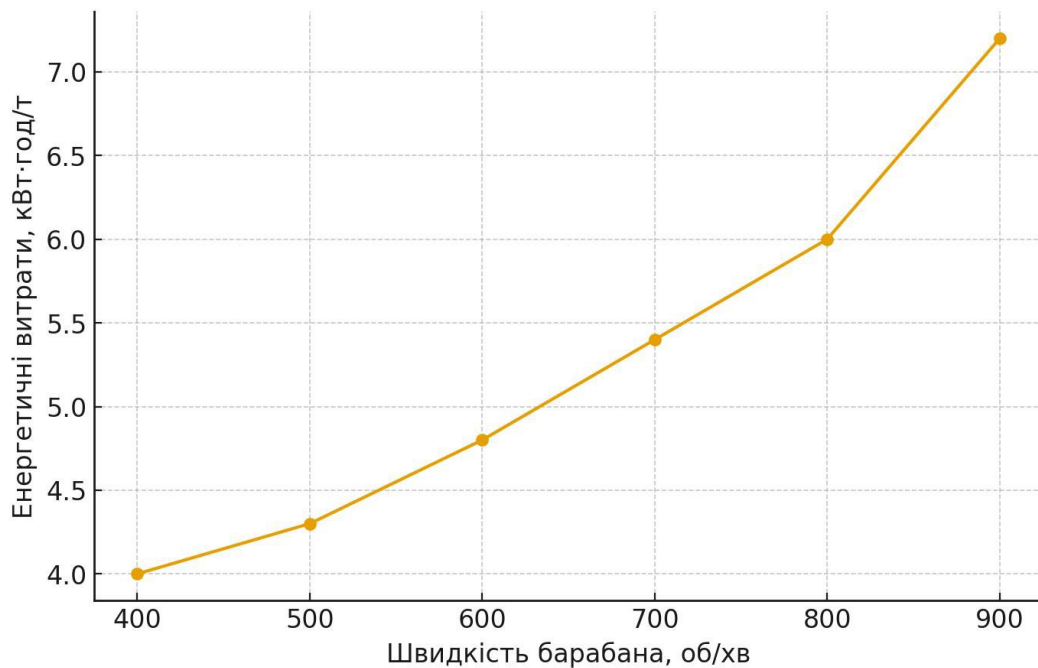


Рисунок 2.5 – Енергетичні витрати при різних частотах обертання барабана

Енергетичні витрати різко зростають після 700 об/хв, досягаючи максимуму 7.2 кВт·год/т при 900 об/хв.

### Висновки

Оптимальна швидкість роботи барабана – 700–750 об/хв, що забезпечує:

- повноту очеса 92–94%;
- руйнування коробочок  $\leq 5\%$ ;
- пошкодження волокна  $\leq 3.5\%$ ;
- мінімальні втрати насіння (3.3–3.4%);
- прийнятні енергетичні витрати.

Рекомендований зазор між барабаном і планкою – 18–24 мм.

## 2.2. Аналіз впливу вологості стеблової маси на показники процесу очісування

Вологість стебел і коробочок льону-довгунця істотно впливає на характер взаємодії барабанно-планчастого очісувального пристрою комбайна «Двіна-4М» з рослинною масою. Для оцінки цього впливу додаткові дослідження проводили при фіксованій, близькій до оптимальної, швидкості обертання барабана  $n=700$  об/хв та різних значеннях вологості стеблової маси

Таблиця 2.2 – Вплив вологості стебел льону на показники очеса

| <i>Вологість стебел, %</i> | <i>Повнота очесу, %</i> | <i>Пошкодження волокна, %</i> | <i>Руйнування коробочок, %</i> | <i>Втрати насіння, %</i> | <i>Енергетичні витрати, кВт·год/т</i> |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 8–9                        | 89–90                   | 4,0–4,3                       | 4,0–4,2                        | 3,8–4,0                  | 5,0–5,1                               |
| 10–14                      | 92–94                   | 3,3–3,5                       | 4,4–4,6                        | 3,2–3,4                  | 5,3–5,5                               |
| 15–18                      | 90–91                   | 3,7–4,0                       | 5,0–5,4                        | 3,6–3,9                  | 5,8–6,2                               |

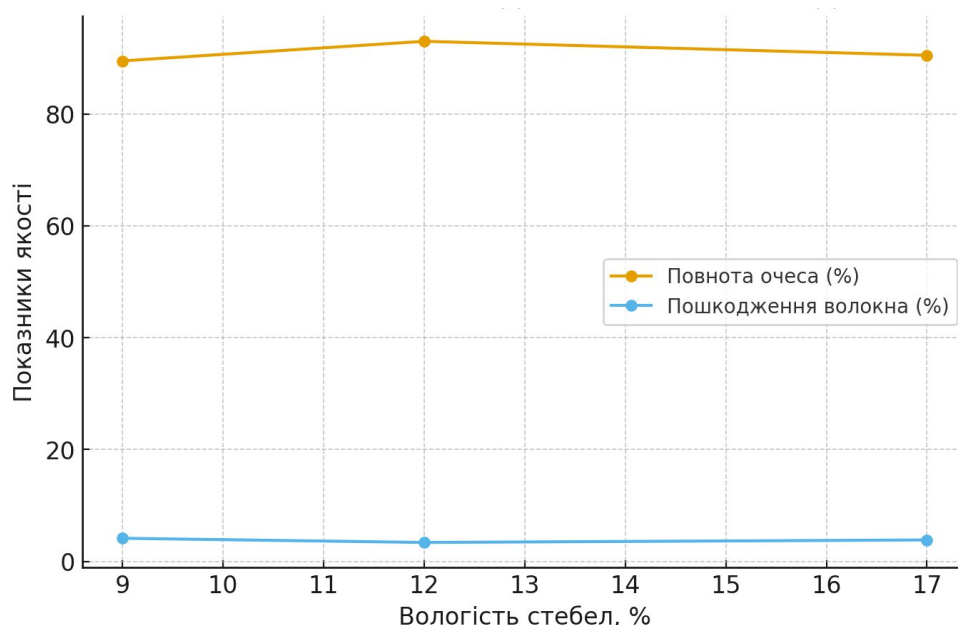


Рисунок 2.6 – Залежність повноти очісу і пошкодження волокна від вологості стебел

На основі отриманих експериментальних даних та побудованого графіка (рис. 2.6) встановлено виражену кореляцію між вологістю стеблової маси льону-довгунця та основними якісними показниками процесу очесування – повнотою очеса та пошкодженням волокна.

### **Повнота очеса залежно від вологості**

На графіку чітко простежується нелінійна крива:

- При низькій вологості (9%) повнота очеса становить приблизно 89–90%. Це пов'язано з тим, що пересушені коробочки стають надмірно крихкими, і частина насіння випадає ще до моменту контакту з очісувальними зубцями, тобто не відокремлюється контрольовано.

- При оптимальній вологості (12%) повнота досягає максимуму – близько 93%. В цих умовах оболонка коробочки зберігає пружність, але легко розкривається при взаємодії з зубцями барабана. Це забезпечує найефективніше вивільнення насіння.

- При підвищеній вологості (17%) повнота знижується до 90–91%. Причина – надмірна пластичність коробочки: замість розкриття вона деформується і частково ковзає між робочими органами, що призводить до зростання недоочеса.

### **Пошкодження волокна залежно від вологості**

З графіка видно:

- При 9% вологості пошкодження волокна становить приблизно 4.0–4.2%. Пересушені стебла втрачають пружність, луб'яні волокна стають жорсткішими й ламкішими, тому удар зубців спричиняє мікротріщини та переломи.

- При 12% вологості пошкодження волокна знижується до  $\approx 3.4\%$  – мінімальне значення. Стебло в цей момент має баланс між еластичністю та міцністю, тому деформація при зіткненні зі зубцями відбувається пружно, без порушення структури лубу.

- При 17% вологості пошкодження знову зростає до 3.8–3.9%. Причина – надмірна маса та налипання вологих стебел: у зоні очеса зростає контактний тиск і сила зминання, що призводить до пошкоджень.

### **Практичне значення результатів**

На основі аналізу можна сформулювати такі рекомендації:

1. Збирати льон потрібно при вологості 10–14%.

Це забезпечує: максимальну повноту очеса (92–94%), мінімальне пошкодження лубу, зниження руйнування коробочок без надмірних ударних навантажень.

2. Уникати очеса при вологості нижче 9%.

За такої вологості різко зростає травмування волокна, підвищуються втрати насіння, зменшується рівномірність очеса.

3. При вологості понад 16%.

Рекомендується зменшити швидкість подачі, встановити меншу швидкість барабана (650–700 об/хв), збільшити зазор барабан–планка на 1–2 мм.

### 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Розрахунок параметрів очісуючого барабана льонозбирального комбайна Двіна-4М

Вихідні дані

Для барабанно-планчастого очісувального пристрою льонозбирального комбайна Двіна-4М приймаємо такі вихідні дані для розрахунку:

- середня висота стебел льону-довгунця  $h_c = 0,80$  м;
- робоча ширина захвату комбайна  $B = 1,0$  м;
- рекомендована лінійна швидкість зубців барабана  $v_b = 10 \dots 12$  м/с;
- діапазон допустимих частот обертання барабана  $n = 400 \dots 900$  об/хв;
- оптимальна частота обертання за результатами експериментів  $n_{\text{опт}} = 700$  об/хв;
- крок стебел у потоці (відстань між стеблами)  $s_c \approx 20$  мм;
- середній діаметр коробочки  $d_k = 6$  мм.

Визначення діаметра очісуючого барабана.

Лінійна швидкість зубців барабана визначається за виразом [20]:

$$v_b = \frac{\pi D_b n}{60}, \quad (3.1)$$

Звідси діаметр барабана:

$$D_b = \frac{60 \cdot v_b}{\pi n}. \quad (3.2)$$

Підставляємо оптимальні значення  $v_b = 11$  м/с та  $n_{\text{опт}} = 700$  об/хв:

$$D_b = \frac{60 \cdot 11}{3,14 \cdot 700} = 0,30 \text{ м.}$$

За конструктивними та експлуатаційними вимогами до комбайна Двіна-4М діаметр приймаємо із запасом жорсткості  $D_b = 0,46 \text{ м}$ , що відповідає паспортним даним машини.

Визначення довжини барабана.

Довжина барабана повинна забезпечувати перекриття робочої ширини захвату при врахуванні крайових зон та нерівномірності подачі стеблової маси [20]. Приймаємо:

$$L_b = k_B \cdot B. \quad (3.3)$$

При  $B = 1,0 \text{ м}$  та  $k_B = 1,15$ :

$$L_b = 1,15 \cdot 1,0 \approx 1,15 \text{ м.}$$

З урахуванням конструктивних особливостей Двіна-4М приймаємо стандартну довжину барабана  $L_b = 0,98 \text{ м}$ , що забезпечує повне перекриття потоку стебел у зоні очісування.

Вибір кількості рядів зубців на барабані.

Кількість рядів зубців  $z_p$  впливає на рівномірність очеса та навантаження на стебла. Рекомендується 3...5 рядів. Для комбайна Двіна-4М приймаємо чотири ряди зубців:

$$z_p = 4.$$

Кутова відстань між рядами:

$$j = \frac{360}{z_p} = \frac{360}{4} = 90^\circ. \quad (3.4)$$

Такий розподіл забезпечує рівномірний розподіл ударів зубців по колу барабана.

Розрахунок кроку зубців та загальної їх кількості.

Крок зубців по довжині барабана визначає інтенсивність взаємодії з потоком стебел. Для забезпечення захоплення кожного стебла приймаємо крок зубців  $t_z$  близьким до середнього кроку стебел  $s_c$ :

$$t_z = 25 \dots 35 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $t_z = 30 \text{ мм.}$

Кількість зубців в одному ряду:

$$z_1 = \frac{L_b}{t_z} = \frac{0,98}{0,03} = 33. \quad (3.5)$$

Тоді загальна кількість зубців на барабані:

$$Z = z_1 \cdot z_p = 33 \cdot 4 = 132. \quad (3.6)$$

Отримане значення забезпечує достатню кратність взаємодії зубців із кожним стеблом у потоці.

Визначення висоти та товщини зубця.

Висота зубця  $h_z$  повинна перевищувати діаметр коробочки льону для гарантованого її захвату, але не бути надмірною, щоб не збільшувати жорсткість удару [20]. Приймаємо:

$$h_z = (2 \dots 3) \cdot d_k. \quad (3.7)$$

При  $d_k = 6 \text{ мм}$  маємо:

$$h_z = 2,5 \cdot 6 \approx 15 \text{ мм.}$$

Товщина зубця  $b_z$  вибирається з умови міцності та мінімального опору проникненню в масу:

$$b_z = 4 \dots 6 \text{ мм. Приймаємо } b_z = 5 \text{ мм.}$$

Форма зубця – серпоподібна, з радіусом закруглення вершини  $R = 2 \dots 3$  мм для зниження локальних напружень у стеблі.

Перевірка лінійної швидкості зубців.

Перевіряємо фактичну лінійну швидкість зубців при прийнятих параметрах ( $D_b = 0,46$  м,  $n_{\text{опт}} = 700$  об/хв) [20]:

$$v_b = \frac{\pi \times D_b \times n}{60} = \frac{3,14 \times 0,46 \times 700}{60} = 16,9 \text{ м/с.} \quad (3.8)$$

Значення дещо перевищує початково рекомендований інтервал  $10 \dots 12$  м/с, що пояснюється конструкцією барабана Двіна-4М.

Практичні дослідження показали, що для льону-довгунця при достатній еластичності стебел це значення є допустимим за умови коректного вибору зазору між барабаном і планкою та оптимальної вологості стеблової маси ( $10 \dots 14\%$ ).

Оцінка інтенсивності ударної дії зубця.

Інтенсивність дії зубця на коробочку характеризується питомою енергією удару. Якісно її можна оцінити через зміну кінетичної енергії елементарної маси  $m$ , що бере участь у взаємодії:

$$E_{\text{и}} \gg 0,5 \times m \times v_b^2. \quad (3.9)$$

Зі збільшенням  $v_b$  інтенсивність удару зростає пропорційно квадрату швидкості. Тому важливо компенсувати зростання  $v_b$  правильним вибором форми зубця, радіуса його заокруглення та зазору, що й було враховано у конструкції барабана Двіна-4М.

Таблиця 3.1 – Зведені розраховані параметри очісуючого барабана

| <i>Параметр</i>                  | <i>Значення</i>    |
|----------------------------------|--------------------|
| Діаметр барабана $D_b$           | 0,46 м             |
| Довжина барабана $L_b$           | 0,98 м             |
| Частота обертання $n_{opt}$      | 700 об/хв          |
| Кількість рядів зубців $z_p$     | 4                  |
| Крок зубців $t_z$                | 30 мм              |
| Число зубців в одному ряду $z_1$ | 33                 |
| Загальна кількість зубців $Z$    | 132                |
| Висота зубця $h_z$               | 15 мм              |
| Товщина зубця $b_z$              | 5 мм               |
| Лінійна швидкість зубців $v_b$   | $\approx 16,9$ м/с |

### 3.2. Розрахунок приводу очісуючого барабана

Привід очісуючого барабана льонозбирального комбайна Двіна-4М повинен забезпечувати стабільну роботу барабанно-планчастого очісувального пристрою в усьому діапазоні робочих режимів. Розрахунок приводу передбачає визначення необхідної потужності, крутного моменту на валу барабана та вибір передаточного числа трансмісії від валу відбору потужності (ВВП) до барабана.

Вихідні дані для розрахунку приводу

Для розрахунку приводу приймаємо такі вихідні дані:

- продуктивність за стебловою масою  $Q = 1,2$  т/год;
- питома енергетична витрата на процес очісування  $e = 5,0$  кВт·год/т;
- ККД механічної передачі  $\eta_m = 0,9$ ;
- ККД очісувального процесу (втрати у робочому органі)  $\eta_p = 0,95$ ;
- частота обертання барабана  $n_b = 700$  об/хв (оптимальний режим);
- частота обертання вала відбору потужності  $n_{дв} = 1500$  об/хв.

Визначення необхідної потужності на валу барабана.

Необхідна потужність на процес очісування визначається за питомими енергетичними витратами [9]:

$$N_p = Q \cdot e. \quad (3.10)$$

Підставляємо значення:

$$N_p = 1,2 \cdot 5,0 = 6,0 \text{ кВт.}$$

З урахуванням ККД механічної передачі  $\eta_m$  та ККД робочого процесу  $\eta_p$  потужність на вхідному валу приводу:

$$N_{\text{вх}} = \frac{N_p}{\eta_m \cdot \eta_p}, \quad (3.11)$$

$$N_{\text{вх}} = \frac{6,0}{0,9 \cdot 0,95} \approx 7,0 \text{ кВт.}$$

Отже, для приводу очісувального барабана необхідно забезпечити потужність не менше 7 кВт. З урахуванням експлуатаційного запасу доцільно передбачити можливість передачі 8...9 кВт.

Розрахунок крутного моменту на валу барабана.

Крутний момент на валу барабана визначимо за виразом [9]:

$$M_b = \frac{9550 \cdot N_p}{n_b}. \quad (3.12)$$

Підставляючи  $N_p = 6,0$  кВт та  $n_b = 700$  об/хв, отримаємо:

$$M_b = \frac{9550 \times 6,0}{700} \gg 82 \text{ Н·м.}$$

Отриманий крутний момент враховується при виборі діаметра вала, елементів кріплення барабана та типу муфти.

Визначення передаточного числа приводу.

Передаточне число приводу  $i$  повинно забезпечувати зниження частоти обертання від вала відбору потужності до оптимальної частоти барабана:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_b}. \quad (3.13)$$

За прийнятими даними  $n_{\text{дв}} = 1500$  об/хв,  $n_b = 700$  об/хв, маємо:

$$i = 1500 / 700 \approx 2,14.$$

Таким чином, загальне передаточне число приводу очісувального барабана повинно бути близьким до  $i \approx 2,1 \dots 2,2$ .

Структура приводу очісувального барабана.

Структурно привід очісувального барабана комбайна Двіна-4М може складатися з:

- клинопасової передачі від ВВП до проміжного вала з передаточним числом  $i_1 = 1,4 \dots 1,6$ ;
- ланцюгової або зубчастої передачі від проміжного вала до вала барабана з передаточним числом  $i_2 = 1,4 \dots 1,5$ .

Сумарне передаточне число приводу:

$$i_{\Sigma} = i_1 \cdot i_2. \quad (3.14)$$

При  $i_1 = 1,5$  та  $i_2 = 1,45$ :

$$i_{\Sigma} = 1,5 \cdot 1,45 \approx 2,18 ,$$

що відповідає розрахунковому значенню  $i \approx 2,14$  та забезпечує близьку до оптимальної частоту обертання барабана.

Перевірка потужності, що передається пасовою передачею.

Для передавання потужності 7...8 кВт клинопасовою передачею при частоті обертання ведучого шківa  $n_{\text{дв}} = 1500$  об/хв рекомендується застосовувати 2...3 клинових паси профілю В або їх сучасні аналоги, що забезпечують необхідну вантажопідйомність та довговічність. Остаточний вибір типорозміру пасів здійснюється за каталогами з урахуванням коефіцієнтів режиму роботи та умов експлуатації.

Узагальнення результатів розрахунку приводу.

У результаті розрахунку встановлено, що привід очісувального барабана льонозбирального комбайна Двіна-4М повинен забезпечувати:

- корисну потужність на барабані  $N_p \approx 6,0$  кВт;
- потужність на вхідному валу приводу  $N_{\text{вх}} \approx 7,0$  кВт;
- крутний момент на валу барабана  $M_b \approx 82$  Н·м при  $n_b = 700$  об/хв;
- сумарне передаточне число приводу  $i_{\Sigma} \approx 2,1 \dots 2,2$ .

Обрані параметри приводу забезпечують надійну та енергоефективну роботу барабанно-планчастого очісувального пристрою в основному діапазоні робочих режимів та можуть бути використані як база для подальшої модернізації конструкції приводу.

### **3.3. Конструктивні розрахунки**

#### **3.3.1. Розрахунок зварного з'єднання валу очісувального барабану**

Під час виконання операцій зі складання вала очісувального пристрою застосовується електродугове зварювання. З урахуванням конструктивних

особливостей цього вузла використовують кутовий нормальний зварний шов, який забезпечує необхідну міцність та надійність з'єднання елементів.

Ескізне зображення вала наведено на рисунку 3.1.

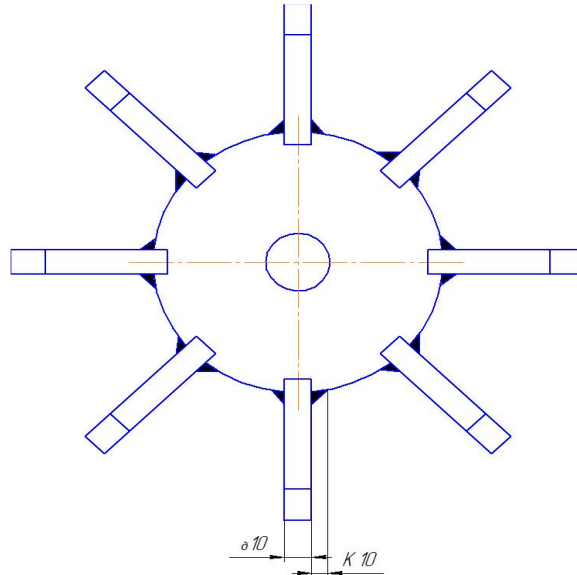


Рисунок 3.1 – Ескіз вала очісуючого барабану

До основних параметрів кутових зварних швів належать катет  $k$  та довжина шва  $b$ .

Для нормальних кутових швів величину катета визначають відповідно до умови:

$$k = \delta,$$

Прийmemo  $\delta = 10$  мм.

Довжина шва  $b = \pi \times d = 30 \times 45 = 1350$  мм.

Розрахунок кутових зварних швів такого типу здійснюють за небезпечною площиною зрізу, яка збігається з бісектрисою прямого кута відповідного шва. Для визначення допустимого навантаження на зварне з'єднання використовують розрахункову формулу [16]:

$$t_{cp} = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot b} \cdot \varepsilon \left[ t_{cp} \right]. \quad (3.15)$$

Для сталі 45:

$$[\sigma_p] = (0,5 \dots 0,6) \times \sigma_T = (0,5 \dots 0,6) \times 570 = 285 \text{ МПа} ; \quad (3.16)$$

$$[\tau_{cp}] = 0,65 \times 285 = 185,25 \text{ МПа} \leq [\tau_{cp}] .$$

Тоді

$$t_{cp} = \frac{350}{4 \times 0,7 \times 0 \times 4} = 0,89 \text{ МПа} \leq [t_{cp}] .$$

На підставі результатів перевірочних розрахунків можна зробити висновок, що вал, ослаблений у місцях зварних з'єднань, має достатній запас міцності для надійної роботи в умовах експлуатаційних навантажень.

### 3.3.2. Уточнюючі розрахунки валу очісуючого барабану

Після попереднього опрацювання конструкції вала та виконання розрахунків його основних геометричних параметрів доцільно провести уточнені перевірочні розрахунки. Їх метою є визначення коефіцієнта запасу міцності  $S$  у потенційно небезпечних перерізах.

Коефіцієнт запасу міцності для небезпечного перерізу визначають за залежністю [16]:

$$S = \frac{S_s S_t}{\sqrt{S_s^2 + S_t^2}} . \quad (3.17)$$

Визначимо коефіцієнт запасу міцності (нормальні напруження).

$$S_s = \frac{s_{-1}}{\frac{k_s}{e_s b} s_0 + y_m s_m}, \quad (3.18)$$

$$s_m = \frac{4 \times F_x}{p \times d^2} = \frac{4 \times 2292,25}{3.14 \times 80^2} = 0,456$$

Межа витривалості сталі 45 (симетричний цикл навантаження) [16]:

$$s_{-1} = 0,43 s_e, \quad (3.19)$$

де  $s_B = 690$  МПа.

$$s_{-1} = 0,43 \times 690 = 296,7 \text{ МПа.}$$

Амплітуду циклу (нормальні напруження) [16]:

$$s_0 = \frac{M_s}{W} = \frac{424,77 \times 10^3}{50240} = 8,45 \text{ МПа.} \quad (3.20)$$

Тоді

$$S_s = \frac{296,7}{\frac{4,27}{0,97} \times 8,45 + 0,2 \times 0,456} = 7,96$$

Коефіцієнт запасу міцності (дотичні напруження) [16]:

$$S_t = \frac{t_{-1}}{\frac{k_t}{e_t b} t_0 + y_m t_m} \quad (3.21)$$

Межа витривалості сталі 45 (симетричний цикл кручення) [16]:

$$t_{-1} = 0,58 s_{-1} = 0,58 \times 296,7 = 172,1 \text{ МПа.} \quad (3.22)$$

Амплітуда циклу (дотичні напруження):

$$t_0 = \frac{T_2}{2W_r} \quad (3.23)$$

$$W_r = \frac{\rho d_y^3}{16} = \frac{3,14 \times 80^3}{16} = 100480 \text{ мм}^3. \quad (3.24)$$

$$t_0 = t_m = \frac{308,67 \times 10^3}{2 \times 100480} = 1,54 \text{ МПа;}$$

$$S_t = \frac{172,1}{\frac{2,56}{0,97} \times 1,54 + 0,1 \times 1,54} = 40,79$$

Тоді

$$S = \frac{7,96 \times 40,79}{\sqrt{7,96^2 + 40,79^2}} = 7,8 > [S] = 2.0 \dots 3.$$

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності перевищує допустимий рівень, що свідчить про відповідність запропонованої конструкції вала очісувального пристрою вимогам міцності та її надійність під час експлуатації.

### 3.4. Розробка операційно-технологічної карти

Для всіх сільськогосподарських операцій необхідно розробляти операційно-технологічні карти. Їх формують з урахуванням сучасних науково-технічних досягнень та накопиченого виробничого досвіду. Такі карти визначають порядок і способи виконання операцій, а також найбільш раціональні варіанти застосування засобів механізації.

Вихідні дані:

Довжина поля - 1000 м;

Площа поля - 100 га;

Нахил поля - 1°;

Культура - льон-довгунець;

Врожайність - 11,58 ц/га ;

Агрегат - Беларус-820+Двіна-4М.

Операція– комбайновий спосіб збирання льону-довгунця.

#### Комплектування агрегату

Таблиця 3.2 – Параметри тягових характеристик Беларус - 820

| Показники                                  | Передачі |      |      |
|--------------------------------------------|----------|------|------|
|                                            | 3        | 5    | 4    |
| Тягова потужність $N_{кр\cdot max}$ . кВт. | 36,3     | 37,2 | 37,7 |
| Тягове зусилля $P_{кр\cdot}$ . кН.         | 22,8     | 20,3 | 17,8 |
| Робоча швидкість $V_{рн\cdot}$ . км/год    | 5,7      | 6,6  | 7,6  |

На основі даних таблиці 3.2 визначимо раціональні швидкісні режими роботи агрегату. Для цього обираємо три передачі, швидкості яких знаходяться в межах агротехнічно допустимого діапазону. У тих випадках, коли дозволена агротехнічна швидкість забезпечує можливість виконання технологічного процесу на кількох передачах, перевагу надаємо тій передачі, за якої тягову потужність трактора реалізовано найбільш повно.

Агротехнічно припустимий діапазон швидкостей становить 5...8 км/год. З урахуванням значень параметрів тягової характеристики обраного енергозасобу раціональними приймаємо 3-тю, 5-ту понижену та 4-ту передачі.

Визначимо величину тягового опору агрегату на вибраних передачах згідно з методикою [9]:

$$R_m = B_m n_m (k + g_m \sin \alpha) . \quad (3.25)$$

Питомий тяговий опір агрегату визначаємо відповідно до розрахункової залежності, що застосовується для тягово-приводних сільськогосподарських машин [9]:

$$k = k_o \frac{v}{v_0} + (V_p - V_o) \times \frac{DC}{100} \frac{v}{v_0}, \quad (3.26)$$

де  $\Delta C = 2 \%$ .

Питомий тяговий опір агрегату для всіх передач:

3 передача

$$k_3 = 0,5 \frac{v}{v_0} + (5,7 - 5) \times \frac{2}{100} \frac{v}{v_0} = 0,507 \text{ кН/м.}$$

5 понижена передача

$$k_7 = 0,5 \frac{v}{v_0} + (6,6 - 5) \times \frac{2}{100} \frac{v}{v_0} = 0,516 \text{ кН/м.}$$

4 передача

$$k_8 = 0,5 \frac{g}{g} + (7,6 - 5) \times \frac{2}{100} \frac{m}{m} = 0,526 \quad \text{кН/м.}$$

Тяговий опір агрегату для всіх передач:

3 передача

$$R_{м3} = 1,521(0,507 + 19 \sin 3) = 2,28 \quad \text{кН.}$$

5 понижена передача

$$R_{м5п} = 1,521(0,516 + 19 \sin 3) = 2,29 \quad \text{кН.}$$

4 передача

$$R_{м4} = 1,521(0,526 + 19 \sin 3) = 2,31 \quad \text{кН.}$$

Повний робочий тяговий опір [9]:

$$R_a = R_m + R_{в\text{ом}}. \quad (3.27)$$

Визначимо величину умовного додаткового опору, що є еквівалентом потужності, затраченої на привід різального апарата від вала відбору потужності енергозасобу.

$$R_{в\text{ом}} = \frac{10 \times N_{в\text{ом}} \times \eta_{мг} \times \eta_{тр}}{n_m \times \eta_K \times \eta_{в\text{ом}}}, \quad (3.28)$$

де  $\eta_{мг}=0,82$ ;  $\eta_{в\text{ом}}=0,95$ ;  $n_m=2200 \text{ хв}^{-1}$ .

Радіус кочення привідних коліс [9]:

$$r_k = r_o + \lambda_{ш} h_{ш}, \quad (3.29)$$

де  $r_o = 0,203$  м;  $\lambda_{ш} = 0,75$ ;  $h_{ш} = 0,25$  м.

Тоді

$$r_k = 0,203 + 0,75 \cdot 0,25 = 0,392 \text{ м.}$$

Умовний додатковий опір для кожної із передач:

3 передача

$$R_{BOM3} = \frac{10 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 59,1}{2200 \cdot 0,392 \cdot 0,95} = 6,9 \text{ кН.}$$

5 понижена передача

$$R_{BOM5_n} = \frac{10 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 52,3}{2200 \cdot 0,392 \cdot 0,95} = 6,69 \text{ кН.}$$

4 передача

$$R_{BOM4} = \frac{10 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 48,7}{2200 \cdot 0,392 \cdot 0,95} = 6,53 \text{ кН.}$$

Повний тяговий опір для кожної із передач:

3 передача

$$R_{a3} = 2,28 + 6,9 = 9,18 \text{ кН.}$$

5 понижена передача

$$R_{a5n} = 2,29 + 6,69 = 8,98 \text{ кН.}$$

4 передача

$$R_{a4} = 2,31 + 6,53 = 8,84 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля [9]:

$$h_p = \frac{R_a}{P_{кр.н}} \quad (3.30)$$

3 передача

$$h_{p3} = \frac{9,18}{22,8} = 0,4$$

5 понижена передача

$$h_{p5n} = \frac{8,98}{20,3} = 0,44$$

4 передача

$$h_{p4} = \frac{8,84}{17,8} = 0,49$$

На основі найбільшого значення коефіцієнта використання тягового

зусилля раціональною для роботи агрегату визначено 4-ту передачу.

Повний тяговий опір на холостому ході [9].

$$R_{ax}=G_{mg}(f_{пр}+i/100) , \quad (3.31)$$

де  $G_{mg}=19$  кН [3];  $f_{пр} = 0,06$ .

В результаті:

$$R_{ax} = 19(0,06 + 3/100) = 1,71 \text{ кН.}$$

Швидкість агрегату на робочому ході [9]:

$$V_p=V_x - R_a(V_x - V_{рн}) / P_{крн} . \quad (3.32)$$

Отже:

$$V_p = 9,3 - 8,84(9,3 - 7,6) / 17,8 = 8,5 \text{ км/год.}$$

Оскільки розрахункова робоча швидкість перевищує агротехнічно допустиме значення, раціональним є перехід на 5-ту понижену передачу. Надалі всі розрахунки виконуються саме для цього режиму роботи агрегату.

$$V_p = 8,3 - 8,98(8,3 - 6,6) / 20,3 = 7,5 \text{ км/год.}$$

Швидкість на холостому ході без перемикання передач:

$$V_{Px}=V_x - R_{ax}(V_x - V_{рн}) / P_{крн} . \quad (3.33)$$

Тоді

$$V_{px} = 8,3 - 1,71(8,3 - 6,6) / 20,3 = 8,1 \text{ км/год.}$$

Годинні витрати палива на 5 пониженій передачі [9]:

Робочий хід

$$G_{тр} = G_x + n_N(G_{тн} - G_x), \quad (3.34)$$

де  $G_{тн} = 13,2$  кг/год.

$$G_{тр} = 5,1 + 0,86(13,2 - 5,1) = 12 \text{ кг/год.}$$

Холостий хід:

$$G_{тх} = G_x + n_{Nx}(G_{тн} - G_x); \quad (3.35)$$

$$G_{тх} = 5,1 + 0,2(13,2 - 5,1) = 6,7 \text{ кг/год.}$$

Годинні витрати пального під час роботи двигуна на холостому ходу за умови номінального значення його потужності становитимуть:

$$G_{тхх} = (0,2 \dots 0,3) G_{тх}; \quad (3.36)$$

$$G_{тхх} = 0,25 \cdot 6,7 = 1,68 \text{ кг/год.}$$

Ефективна потужність:

$$N_e = \frac{R_a + G_{mp-pa} \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_p}{3,6 \cdot \eta_{мг} \cdot \eta_{б}}, \quad (3.37)$$

де  $\eta_{\text{мг}}=0,82$ ;  $\eta_0=0,85$ .

Тоді

$$N_e = \frac{8,98 + 33,5 \times 0,12 \times 5,06}{3,6 \times 0,82 \times 0,85} = 27,7 \text{ кВт} \text{ Equation.3 .}$$

Коефіцієнт використання номінального тягового зусилля [9]:

$$h_p = \frac{R_a}{P_{\text{кр.н}} - G \frac{i}{100}} \quad (3.38)$$

Отже

$$h_p = \frac{8,98}{20,3 - 33,5 \frac{1}{100}} = 0,45$$

Коефіцієнт використання максимальної тягової потужності [9]:

$$h_{p_n} = h_p \frac{V_p}{V_{p_n}} \quad (3.39)$$

Отже

$$h_{p_n} = 0,45 \frac{7,5}{6,6} = 0,51$$

Тяговий ККД трактора [9]:

$$h_m = \frac{N_{кр}}{N_{e.н}} ; \quad (3.40)$$

$$N_{кр} = \frac{R_a V_p}{3.6} . \quad (3.41)$$

Отже

$$N_{кр} = \frac{8,98 \times 7,5}{1,8} = 37,4 \text{ кВт.}$$

$$h_m = \frac{37,4}{58,9} = 0,69 .$$

Максимальний тяговий ККД:

$$h_{m_{max}} = \frac{N_{кр.мах}}{N_{ен}} , \quad (3.42)$$

де  $N_{кр.мах} = 37,2 \text{ кВт}$ ;  $N_{e.н} = 58,9 \text{ кВт}$ .

$$h_{m_{max}} = \frac{37,2}{58,9} = 0,63 .$$

ККД використання номінальної потужності двигуна:

$$h_u = \frac{N_e}{N_n} . \quad (3.43)$$

Тоді

$$h_u = \frac{27,7}{58,9} = 0,47$$

Таблиця 3.3 - Експлуатаційно-технічні показники агрегату

| Показники                                               | Значення показників   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|
| Склад агрегату                                          | Беларус- 820+Двіна-4М |
| Конструктивна ширина захвату, м.                        | 1,52                  |
| Передача трактора : на робочому ходу                    | 5п                    |
| при повороті                                            | 5п                    |
| Робоча швидкість, км/год.                               | 7,5                   |
| Швидкість на повороті, км/год.                          | 8,1                   |
| Годинна витрата палива, кг/год : на роб. ходу           | 12                    |
| на повороті                                             | 6,7                   |
| при зупинці з працюючим двигуном                        | 1,9                   |
| Коефіцієнт використання номінального тягового зусилля   | 0,45                  |
| Коефіцієнт використання максимальної тягової потужності | 0,51                  |
| Тяговий ККД трактора                                    | 0,69                  |
| Максимальний тяговий ККД трактора                       | 0,63                  |

### Кінематика агрегату

Тривалість виконання агрегатом холостих ходів враховується за допомогою коефіцієнта робочих ходів, який визначають відповідно до методики [9]:

$$j = \frac{L_p}{L_p + L_x} \quad (3.44)$$

Середня робоча довжина гону, м [9]:

$$L_p = L - 2 \times E; \quad (3.45)$$

$$E = 1,1R_o + 0,5d_k + e, \quad (3.46)$$

де  $R=3,54$  м.

Шлях виїзду агрегату, м:

$$l = l_a; \quad (3.47)$$

$$l_a = l_{mp} + l_m. \quad (3.48)$$

$$l_a = 1,1 + 1,8 = 2,9 \text{ м};$$

$$E = 1,1 \cdot 3,54 + 0,5 \cdot 2,1 + 1,45 = 6,4 \text{ м};$$

$$L_p = 1000 - 2 \times 6,4 = 987,2 \text{ м}.$$

Середня довжина холостого ходу агрегату, м:

$$l_x = 12 \times R + 2 \times l_a; \quad (3.49)$$

$$l_x = 12 \times 3,54 + 2 \times 2,9 = 48,3 \text{ м}.$$

Тоді

$$j = \frac{987,2}{987,2 + 48,3} = 0,95.$$

Коефіцієнт поворотів:

$$t_{нов} = \frac{1-j}{j};$$

$$t_{нов} = \frac{1-0,95}{0,95} = 0,05$$

Оптимальна ширина гону [9]:

$$C_{опт} = \sqrt{2 \times B_p \times L_p + 16 \times R^2}; \quad (3.50)$$

$$C_{опт} = \sqrt{2 \times 5,52 \times 87,2 + 16 \times 3,54^2} = 58$$

Фактична ширина гону повинна бути не меншою за оптимальне значення  $C_{опт}$  і водночас кратною подвоєній ширині захвату агрегату.

$$C = 2 \times B_p \times k; \quad (3.51)$$

$$C = 2 \times 5,52 \times k = 3,04 \text{ м.}$$

### Баланс часу зміни

Чистий робочий час [9]:

$$T = \frac{T_{см} - (T_{техн} + T_{п.з} + T_{ф} + T_{пер})}{1 - t_{нов}}, \quad (3.52)$$

де  $T_{техн} = 7 \times 0,05 = 0,35$  год;  $T_{пер} = 0,07$  год.

Підготовчо-заклучний час:

$$T_{п.з} = T_{п.п} + T_{п.н. к.} + T_{п.н.} + T_{е.т.ч.}, \quad (3.53)$$

де  $T_{п.п} = 0,05$  год;  $T_{п.н. к.} = 0,33$  год;  
 $T_{п.н.} = 0,07$  год;  $T_{е.т.ч.} = 0,23$  год [6].

$$T_{п.з.} = 0,05 + 0,33 + 0,07 + 0,23 = 0,68 \text{ год.}$$

Час на зупинку через фізіологічні потреби:

$$T_{\phi} = 0,05 T_{см}, \quad (3.54)$$

де  $T_{см} = 7$  год.

Тоді

$$T_{\phi} = 0,05 \cdot 7 = 0,35 \text{ год;}$$

$$T_p = \frac{7 - (0,35 + 0,53 + 0,35 + 0,07)}{1 - 0,05} = 6 \text{ год.}$$

Позмінна продуктивність:

$$W_{см} = 0,1 \times B_p \times V_p \times T_p. \quad (3.55)$$

Отже

$$W_{см} = 0,1 \times 1,52 \times 7,5 \times 6 = 6,8 \text{ га/зм.}$$

Погектарна витрата палива [9]:

$$Q = \frac{G_{mp} \times T_{mp} + G_{mx} \times T_x + G_{mo} \times T_o}{W_{cm}}, \quad (3.56)$$

де  $G_{тр}=12$  кг/год;  $G_{тх}=6,7$ кг/год;  $G_{то}=1,9$  кг/год.

Отже

$$Q = \frac{12 \times 6 + 6,7 \times 0,37 + 1,9 \times 0,63}{6,8} = 11,5 \text{ кг/га.}$$

Витрати праці на одиницю роботи [9]:

$$z_{m.u.} = \frac{n_{mp} \times T_{cm}}{W_{cm}}, \quad (3.57)$$

де  $n_{тр}=1$ .

$$z_{m.u.} = \frac{1 \times 9}{9} = 0,77 \text{ люд год/га.}$$

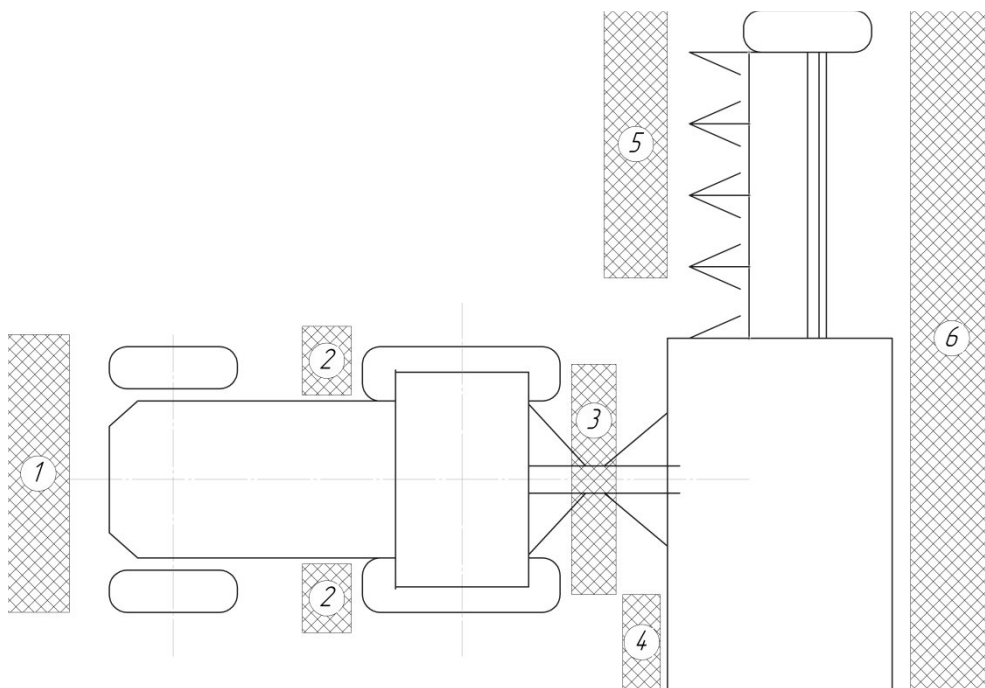
Отже, результати виконаних розрахунків підтверджують працездатність агрегату та його спроможність забезпечувати за заданих режимів роботи високі показники змінної продуктивності й раціональний рівень погектарних витрат палива. Це є особливо важливим з огляду на сучасні вимоги до енергоефективності сільськогосподарських машин.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при виконанні технологічного процесу збирання льону

Під час технологічного процесу збирання льону можливе виникнення небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

При роботі льонозбирального комбайна існують небезпечні зони (рис. 4.1), і при знаходженні людей в цих зонах механізатор повинен проявляти підвищену увагу.



1 – зона утворена передньою поверхнею трактора; 2 – зона утворена бічною поверхнею трактора; 3 – зона утворена задньою частиною трактора; 4 – зона утворена передньою поверхнею причіпної машини; 5 – зона утворена передньою частиною льонозбирального комбайна; 6 – зона утворена задньою поверхнею машинно-тракторного агрегату.

Рисунок 4.1 – Небезпечні зони при роботі льонозбирального комбайну  
Двіна-4М

Знаходження людини у вказаних на рисунку небезпечних зонах під час технологічного процесу представляє загрозу для процесу збирання і для самої людини. Людина при попаданні в ці зони знаходиться під загрозою отримати серйозні травми або під загрозою смерті [15].

Небезпечна зона 1 утворюється при русі тракторного агрегату вперед передньою поверхнею трактора. Вона може мати різну конфігурацію залежно від напрямку руху прямолінійно або на повороті чи розвороті.

Небезпечні зони 2 створюються рухом трактора вперед або назад або бічною поверхнею агрегату. Небезпечні ситуації в них створюються, у більшості випадків при запуску або повороті агрегату. Форма зон залежить від напрямку руху машинно-тракторного агрегату: прямолінійно, на повороті в русі або на місці.

Небезпечна зона 3 утворюється задньою частиною трактора і сільськогосподарською машиною включає небезпечні чинники окремих вузлів машинно-тракторного агрегату, можуть проявити себе як при рухомому агрегаті, так і при нерухомому.

Небезпечна зона 4 утворюється передньою поверхнею причіпної машини з лівого боку по ходу руху машинно-тракторного агрегату. Форма зони залежить від напрямку руху машинно-тракторного агрегату. Знаходження людей в зоні може бути постійним і випадковим.

Небезпечна зона 5 утворюється передньою частиною льонозбирального комбайна і включає небезпечні чинники окремих вузлів машинно-тракторного агрегату, можуть проявити себе як при рухомому агрегаті, так і при нерухомому. Наприклад, ролики, що обертаються із руслами підбирачів.

Небезпечна зона 6 утворюється задньою поверхнею машинно-тракторного агрегату при русі його заднім ходом. Зона періодично оглядається, але не за усією величиною. Залежно від знаходження людей її можна характеризувати як зону з постійним або випадковим знаходженням людей.

Більшість травм відбуваються в 5 і 6 зонах, оскільки робочий процес супроводжується періодичними поломками і технологічним обслуговуванням

агрегату без зупинки ВВП.

#### **4.2. Правила охорони праці та техніка безпеки при роботі на льонозбиральних агрегатах**

Правила охорони праці передбачають не тільки створення безпечних і сприятливих умов для роботи обслуговуючого персоналу, а й висувають вимоги до розроблюваної машини, які б попередили шкідливий вплив агрегату на навколишнє середовище.

До роботи на льонозбиральних агрегатах допускаються особи, які знають будову машини, технологічний процес, правила її експлуатації, також пройшли інструктаж з техніки безпеки. Стороннім особам забороняється перебувати поблизу машин, які працюють. Агрегат (трактор, комбайн і накопичувач) повинен бути справним. Вузли складових машин і механізми повинні бути правильно відрегульовані, а на передачі і робочі органи встановлені необхідні кожухи чи огороження. Тракторист зобов'язаний впевнитись в тому, що між трактором і машинами, а також на шляху руху агрегату немає людей, і лише тоді розпочинати рух.

Необхідно також, щоб обслуговуючий персонал займав свої, спеціально передбачені робочі місця. Технічне обслуговування і ремонт накопичувача не можна проводити під час його роботи.

Під час вивантаження матеріалу з бункера накопичувача, а також в разі небезпеки можливого викиду металічних предметів, що випадково потрапили в бункери накопичувача обслуговуючому персоналу потрібно займати безпечні місця.

При появі в накопичувачі сторонніх шумів, стуків, підвищеної вібрації потрібно негайно зупинити агрегат, виявити причину і усунути причину несправності.

Шуми, що створює проектована машина в процесі експлуатації є

механічного походження. Джерелом механічного шуму є вібрація машини, що виникає як наслідок динамічних процесів і пружних деформацій. Підвищення рівня звуку виникають при роботі соломотряса, редуктора і приводів, вентилятора. Шум та вібрація підвищують втомлюваність робітників, знижують його працездатність і увагу щодо можливої небезпеки. Шум негативно впливає на нервову систему людини, також може призвести до ряду захворювань.

Тому внутрішні поверхні захисних щитків пропонується покривати шумопоглинаючими матеріалами. Також необхідно слідкувати за збереженням правильної геометричної форми щитків вентилятора, оскільки навіть незначна їх деформація викликає підвищений шум при його роботі.

Вібрація виникає від дії внутрішніх і зовнішніх динамічних навантажень, які викликані невідповідними рухомими деталями (наприклад, шків приводів) і рухомими системами (соломотряс), неточністю взаємодії окремих деталей, нерівномірним робочим навантаженням механізмів.

При контакті з коливальним об'єктом вібрація передається на тіло людини, що призводить до зниження працездатності внаслідок появи ряду неприємних відчуттів і може привести до виникнення захворювань.

Небезпеку для життя обслуговуючого персоналу представляють небезпечні зони, де можливе захоплення і намотування одягу, волосся чи кінцівок тіла працівників. Працюючим в таких зонах (приводи соломотряса і вентилятора) необхідно дотримуватись загальноприйнятих правил з техніки безпеки.

Під час роботи з агрегатом постійну увагу слід приділяти стану трансмісії. Приводи в даній машині являють собою пасові передачі відкритого типу з прогумованими пасами клинового перерізу. Одним з небезпечних факторів цього вузла є міцність пасів, дотримання якого є однією з важливих умов забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу льонозбирального агрегату.

Для гарантованого забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого

персоналу, крім необхідної міцності передач, вони закриваються кожухами, які повинні бути надійно закріплені.

Особливу увагу також слід звертати на пожежну безпеку. На тракторі, що входить до складу агрегату, повинні бути засоби для автоматичного регулювання інтенсивності охолодження двигуна, чи такі, що приводяться у дію з робочого місця водія. Двигун трактора повинен бути обладнаний глушниками шуму, іскрогасниками і іскровловлювачами, конструкції яких повинні дозволяти звільняти їх від нагару. Вихлопні труби двигуна не можна направляти на легкозаймисту рослинну масу (на плутанину, ворох льону). Також агрегат повинен бути обладнаний необхідними первинними засобами пожежегасіння (вогнегасниками, лопатами і т.п.).

Не допускається підтікання палива і масла, пропуск відпрацьованих газів в з'єднаних випускного колектора з двигуном і вихлопною трубою.

Забороняється користуватись відкритим полум'ям (сірниками, факелами і т.п.) при заправці машин паливом і замірі його рівня; розміщувати на тракторі додаткові ємності з паливо-мастильними матеріалами; розпалювати вогнища поблизу агрегату; застосовувати бензин для миття рук; навішувати на джерела теплоти одяг чи укладати сторонні речі.

Усі сільськогосподарські машини в процесі експлуатації не повинні вище встановленого рівня забруднювати шкідливими викидами навколишнє середовище (повітря – відпрацьованими газами, ґрунт – паливно-мастильними матеріалами, ущільнювати ґрунт).

Для зниження кількості шкідливих викидів з відпрацьованими газами необхідно вчасно обслуговувати і регулювати паливну апаратуру двигуна трактора.

Під час проведення технічного обслуговування машин, що входять до складу агрегату не допускати потрапляння паливно-мастильних матеріалів у ґрунт і воду.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Метою даної роботи було підвищення ефективності процесу збирання льону-довгунця шляхом обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів пристрою для очісування льону. Це дозволяє мінімізувати втрати насіннєвих коробочок, забезпечити збереження якості волокнистої частини стебел та підвищити продуктивність технологічного процесу загалом.

Об'єктом дослідження виступав технологічний процес комбайнового збирання льону-довгунця із застосуванням очісувальних пристроїв льонозбиральних агрегатів. Предметом дослідження були конструктивні параметри та режими роботи очісувального пристрою, що визначають ефективність взаємодії зі стебловою масою і якість виконання операції очісування.

У роботі магістра проведено аналіз сучасних технологій збирання льону-довгунця та сучасних очісувальних пристроїв льонозбиральних агрегатів.

Ґрунтуючись на аналізі будови очісувальних пристроїв та даних про технологічні процеси збирання льону здійснено обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра.

В кваліфікаційній роботі досліджено роботу барабанно-планчастого очісувального пристрою комбайна «Двіна-4М» з метою визначення впливу конструктивних і режимних параметрів машини, а також фізико-механічних властивостей стеблової маси льону-довгунця на якісні та енергетичні показники процесу очісування.

У роботі проведено розрахунок параметрів очісувального барабана та його приводу, а також конструктивні розрахунки найбільш навантажених елементів. Розроблено операційно-технологічну карту на збирання льону.

З метою підвищення ефективності процесу збирання льону-довгунця у роботі запропоновано здійснювати очісування насіннєвих коробочок у руслах підбирачів за допомогою барабанно-планчастого очісувального пристрою, встановленого безпосередньо над теребильно-затискними секціями. Таке

конструктивне рішення дає змогу суттєво зменшити товщину стрічок стебел, що надходять до зони очісування, порівняно з існуючими обчісувальними апаратами. Зменшення щільності потоку льонової маси забезпечує більш стабільне та якісне відділення коробочок.

Додаткове застосування планок із хвилеподібною (рифленою) поверхнею підвищує інтенсивність взаємодії з обчісуваною масою, що сприяє зростанню площі контакту робочих органів та забезпечує рівномірніше й ефективніше очісування. Це дозволяє одночасно зменшити втрати коробочок і знизити рівень пошкоджень волокнистої частини стебел.

У кваліфікаційній роботі також проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, характерних для технологічного процесу збирання льону, та розглянуто комплекс правил охорони праці й вимог техніки безпеки при роботі на льонозбиральних агрегатах.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко П.М. Машины для збирання льону: конструкція та робота. Харків: ХНТУСГ, 2017. 188 с.
2. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. Суми: Університетська книга, 2008. 450 с.
3. Гречкосій В.Д. Довідник сільського інженера. Київ, «Урожай», 1988. 354 с.
4. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
5. Дрозд Ю.О. Тенденції розвитку льонозбиральної техніки. К.: НУБіП, 2015. 110 с.
6. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімот та ін., / За ред. В.Ю.Зінченка. К.: Урожай, 1993. 288 с.
7. Енергетичні засоби сільськогосподарського виробництва. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм здобуття освіти за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 71 с.
8. Калінін В.І. Технологія льонарства. К.: Урожай, 2015. 256 с.
9. Кльонін Н. И. т ін. Сільськогосподарські машини (Елементи теорії робочих процесів, розрахунок регулювальних параметрів и режимів роботи). Навч. посібник. К.: «Колос», 1970. 456 с.
10. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. / В.М. Лапін. Львів: ЛБК НБУ. Київ: Знання, 2000. 188 с.
11. Лисенко О.А. Модернізація зернозбиральних комбайнів для збирання льону. Житомир: ПП Рута, 2016. 142 с.

12. Марчук В.М. Очісувальні пристрої для льонозбиральної техніки: конструкція та параметри. Луцьк: ЛНТУ, 2018. 131 с.

13. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 47 с.

14. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

15. Охорона праці в сільському господарстві [Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: [http://ipal.at.ua/publ/okhorona\\_praci/mozhlivi](http://ipal.at.ua/publ/okhorona_praci/mozhlivi)

16. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. /В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 556 с.

17. Сидорук Б., Олексюк К. Аналіз обчислюючих пристроїв для розділення насіннєвих коробочок та стебел льону // Матеріали VIII Міжнародної студентської конференції „Природничі та гуманітарні науки“, Тернопіль, 24-25 квітня 2025 року. 2025. С. 36–37.

18. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н. І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.

19. Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) / Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.

20. Dehondt Technologies. Flax Harvesting Systems. – France, 2015.

21. Nevko R., Stashkiv M., Lyashuk O., Vovk Y., Oleksyuk V., Tson O., Bortnyk I. Investigation of internal efforts in the components of the crop sprayer boom section. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.

Volume 105, Issue 1 (2021), 33 – 41.

22. Pidgurskyi M., Stashkiv M., Pidgurskyi I., Oleksyuk V., Pidluzhnyi O., Bykiv D., Borys I., Bulaienko R., Stashkiv V., Mushak A. (2024) Methodology of experimental and analytical research of technical systems. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, no 4, pp. 50–58.

23. Roman Hevko; Yurii Nykerui; Taras Dovbush; Vasyl Oleksyuk. Substantiation of constructive parameters of a frame structure elements of the rope mechanism transport system for storing piece loadings into small warehouses. Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2020. Vol 100. No 4. P. 62–74.

24. Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. Y Vovk, I Vovk, U Plekan, O Tson, V Oleksyuk Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics Vol. 10 No. 1 (2025), 116-124.

## ДОДАТКИ