МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

РОЖОК МАКСИМ ВІКТОРОВИЧ

УДК 631.354.2:633.16

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПРОЄКТ МЕХАНІЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЯЧМЕНЮ З УДОСКОНАЛЕННЯМ ПОДРІБНЮВАЧА СОЛОМИ КОМБАЙНА РСМ-10

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____М. В. Рожок

Керівник роботи
Заєць М. Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Рожок Максим Вікторович. Проєкт механізованого технологічного процесу збирання ячменю з удосконаленням подрібнювача соломи комбайна РСМ-10. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – *Поліський національний університет, Житомир, 2026.*

У роботі проведено аналіз сучасних технологій вирощування та збирання ячменю, розглянуто агротехнічні вимоги до процесу збирання культури та особливості використання зернозбиральних комбайнів. Виконано аналіз конструкцій подрібнювачів соломи, визначено їх переваги та недоліки, а також обґрунтовано напрями вдосконалення подрібнювача соломи комбайна РСМ-10.

У конструкторському розділі виконано розрахунки основних елементів модернізованого вузла, визначено його конструктивні параметри та перевірено працездатність деталей. Проведено оцінку економічної ефективності запропонованого технічного рішення, яка підтвердила доцільність його впровадження у виробництво.

Розроблено операційну технологію механізованого збирання ячменю із застосуванням удосконаленого подрібнювача соломи. Проведено розрахунок основних параметрів машинно-тракторного агрегату, визначено його продуктивність, експлуатаційні показники та витрати палива. Запропоновано конструктивне удосконалення подрібнювача соломи, спрямоване на підвищення якості подрібнення та рівномірності розподілу рослинних решток по поверхні поля.

***Ключові слова**: ячмінь, зернозбиральний комбайн, подрібнювач соломи, механізований технологічний процес, модернізація, продуктивність, рослинні рештки, ефективність.*

ABSTRACT

Maksym Rozhok. Design of a Mechanized Technological Process for Barley Harvesting with Improvement of the Straw Chopper of the RSM-10 Combine Harvester. – *Qualification Thesis Manuscript*.

Qualification thesis submitted for the Bachelor's Degree in Specialty 208 “Agroengineering”. – *Polissia National University, Zhytomyr, 2026.*

The thesis presents an analysis of modern technologies for barley cultivation and harvesting. Agrotechnical requirements for the harvesting process and the specific features of grain combine harvester operation are considered. An analysis of existing straw chopper designs was carried out, their advantages and disadvantages were identified, and directions for improving the straw chopper of the RSM-10 combine harvester were substantiated.

In the engineering design section, calculations of the main elements of the modernized unit were performed, its design parameters were determined, and the operability of the components was verified. An economic evaluation of the proposed technical solution was conducted, confirming the feasibility of its implementation in agricultural production.

An operational technology for mechanized barley harvesting using the improved straw chopper was developed. The main parameters of the machine-and-tractor unit were calculated, and its productivity, operational indicators, and fuel consumption were determined. A design improvement of the straw chopper was proposed to enhance chopping quality and ensure a more uniform distribution of crop residues over the field surface.

Keywords*: barley, grain combine harvester, straw chopper, mechanized technological process, modernization, productivity, crop residues, efficiency.*

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ЯЧМЕНЮ

1.1 Сучасний стан виробництва ячменю……..7

1.2 Аналіз сучасних систем вирощування ячменю…….8

1.3 Аналіз технологічних схем збирання ячменю……9

1.4. Аналіз конструкцій подрібнювачів соломи……..12

1.5 Обґрунтування напрямку модернізації……...15

Висновки по розділу 1……17

2.РОРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА СОЛОМИ

2.1 Обґрунтування вдосконалення подрібнювача комбайна РСМ-10…..19

2.2 Аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів та опис запропонованої конструктивної розробки……20

2.3 Розрахунок на міцність зварних швів агрегату……...24

2.4 Розрахунок осі на міцність……29

Висновки до розділу 2…….31

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО КОМБАЙНУВАННЯ

3.1 Тяговий розрахунок збирального агрегату…….33

3.2. Визначення експлуатаційних показників …….39

3.3 Розрахунок витрат палива та затрат праці……..46

Висновки до розділу 3……51

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….53

ДОДАТКИ

ВСТУП

Зернове господарство є однією з провідних галузей сільськогосподарського виробництва України, що забезпечує продовольчу безпеку держави, формує значну частку експортного потенціалу та створює сировинну базу для багатьох галузей промисловості. Важливе місце серед зернових культур займає ячмінь, який широко використовується для продовольчих, кормових та технічних потреб. Високий попит на продукцію ячменю зумовлює необхідність підвищення ефективності його виробництва та вдосконалення технологій вирощування і збирання.

Важливою складовою технологічного процесу збирання зернових культур є подрібнення та розподіл соломи по поверхні поля. Якісне подрібнення рослинних решток сприяє покращенню умов проведення наступних технологічних операцій, прискорює процеси мінералізації органічної маси та підвищує родючість ґрунту. Разом з тим аналіз конструкцій існуючих подрібнювачів соломи свідчить про наявність низки недоліків, пов’язаних із нерівномірністю розподілу подрібненої маси, підвищеними енергетичними витратами та недостатньою якістю подрібнення.

У зв’язку з цим актуальним є вдосконалення конструкції подрібнювача соломи зернозбирального комбайна РСМ-10 та обґрунтування параметрів його роботи в складі механізованого технологічного процесу збирання ячменю.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованого технологічного процесу збирання ячменю шляхом удосконалення конструкції подрібнювача соломи комбайна.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз сучасних технологій вирощування та збирання ячменю;

– дослідити конструкції подрібнювачів соломи зернозбиральних комбайнів;

– виконати розрахунок основних параметрів модернізованого вузла;

– розробити механізований технологічний процес збирання ячменю;
– визначити техніко-економічні показники запропонованого рішення.

Об’єкт дослідження – механізований технологічний процес збирання ячменю.

Предмет дослідження – конструктивні та технологічні параметри подрібнювача соломи комбайна РСМ-10.

Практичне значення роботи полягає у вдосконаленні конструкції подрібнювача соломи, що забезпечує підвищення якості подрібнення рослинних решток, покращення їх розподілу по поверхні поля та зростання ефективності використання зернозбирального комбайна під час збирання ячменю.

Методи використані при виконані. Використовувалися теоретичні та розрахункові методи визначення параметрів машин. Проведено аналіз науково-технічної літератури, нормативної документації та сучасних агрегатів для збирання зернових культур.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Рожок М. В. Обґрунтування удосконалення подрібнювача соломи зернозбирального комбайна. Студентські читання–2025: мат. наук.-практ. конф.. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. С. 20-24.
2. Заєць М. Л., Рожок М. В. Теоретичне обгрунтування пристроюсистеми подрібнення соломи. Зб. Тез *XII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» Житомир: ЖАТФК, 2026. С.71-73.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінки комп’ютерного тексту, 13 рисунків та 2 таблиці.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ ЯЧМЕНЮ

1.1 Сучасний стан виробництва ячменю

Ячмінь належить до найдавніших і найбільш поширених зернових культур світу. В Україні він традиційно займає одне з провідних місць у структурі посівних площ зернових культур. Популярність культури обумовлена її універсальністю використання, високою адаптивністю до ґрунтово-кліматичних умов та порівняно низькою собівартістю виробництва.[1,2]

В умовах сучасного сільськогосподарського виробництва значна увага приділяється підвищенню врожайності культури при одночасному зниженні енерговитрат і виробничих витрат. Аналіз виробничого досвіду провідних господарств показує, що потенціал сучасних сортів ячменю становить 8–10 т/га, проте фактична врожайність у більшості господарств залишається на рівні 3–5 т/га. Основними причинами недобору врожаю є недосконаліть технологій вирощування, порушення агротехнічних строків виконання робіт та значні втрати під час збирання.[2]

Ячмінь є однією з найважливіших зернових культур у світовому та вітчизняному землеробстві. Його зерно використовується як цінний корм для сільськогосподарських тварин, сировина для пивоварної, спиртової, харчової промисловості та виробництва круп. Завдяки високій адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов ячмінь вирощують практично в усіх агрокліматичних зонах України.[2,3]

Серед зернових культур ячмінь характеризується відносно коротким вегетаційним періодом, високою посухостійкістю та здатністю формувати стабільний урожай навіть за несприятливих погодних умов. Висока кормова цінність зерна обумовлена значним вмістом білка, крохмалю, вітамінів і мінеральних речовин.[3]

Одним із головних резервів підвищення ефективності виробництва ячменю є вдосконалення технологічних процесів збирання та раціональне використання післяжнивних решток.

1.2 Аналіз сучасних систем вирощування ячменю

Протягом останніх десятиліть відбувся перехід від традиційних технологій вирощування до ресурсозберігаючих систем землеробства.[4]

Залежно від інтенсивності механічного впливу на ґрунт розрізняють:[5]

- традиційну систему;
- мінімальну систему обробітку;
- Mini-Till;
- Strip-Till;
- No-Till.

Традиційна технологія

Традиційна технологія базується на застосуванні полицевої оранки на глибину 20–30 см із наступним комплексом передпосівних обробітків.[6]

Переваги:

- ефективне знищення бур'янів;
- покращення аерації ґрунту;
- рівномірне загортання рослинних решток.

Недоліки:

- високі витрати палива;
- значне ущільнення ґрунту;
- інтенсивний розвиток водної та вітрової ерозії;
- руйнування структури ґрунту.

За сучасних цін на паливо традиційна технологія часто втрачає економічну ефективність.

Мінімальний обробіток ґрунту

Мінімальна технологія передбачає скорочення кількості проходів агрегатів та зменшення глибини обробітку.[3]

Переваги:

- економія палива до 30 %;
- зниження витрат праці;
- покращення вологонакопичення.

Недоліки:

- підвищені вимоги до захисту рослин;
- можливе ущільнення нижніх шарів ґрунту.

No-Till

Система No-Till передбачає повну відмову від механічного обробітку ґрунту.[6]

Основними перевагами є:

- максимальне збереження вологи;
- зменшення ерозійних процесів;
- скорочення витрат палива до 60–70 %;
- накопичення органічної речовини.

Разом із тим ефективність No-Till значною мірою залежить від якісного подрібнення та рівномірного розподілу соломи по поверхні поля. Саме тому якість роботи подрібнювача соломи зернозбирального комбайна стає одним із визначальних факторів ефективності сучасних технологій землеробства.[5,6,]

1.3 Аналіз технологічних схем збирання ячменю

Виробнича практика використовує дві основні технології збирання: пряме комбайнування роздільне збирання. [2]

Пряме комбайнування. На сьогодні пряме комбайнування використовується на понад 90 % площ посівів ячменю.

Технологічна схема включає: зрізування стебел; транспортування хлібної маси; обмолот; сепарацію зерна; очищення; накопичення зерна у бункері; подрібнення або укладання соломи. [8]

Переваги:мінімальна кількість операцій; висока продуктивність; низькі витрати праці; скорочення строків збирання. [8]

Недоліки:

- зростання втрат за підвищеної вологості зерна;
- залежність від погодних умов.

Роздільне збирання

Технологія передбачає попереднє скошування у валки з наступним підбиранням та обмолотом.

Переваги:

- можливість починати роботи раніше;
- зниження вологості зерна;
- зменшення навантаження на молотарку.

Недоліки:

- додаткові витрати;
- подвійний прохід техніки;
- залежність від погодних умов у період підсихання валків.

Аналіз показує, що в сучасних умовах перевага надається прямому комбайнуванню завдяки високій продуктивності та економічній ефективності.

1.3.1. Аналіз втрат зерна під час збирання

Значна частина врожаю втрачається саме на стадії збирання. Загальні втрати можуть досягати табл. 1.1.[6,7]

Таблиця 1.1.

Втрати зерна за робочими частинами зернозбирального комбайна

Джерело втрат	**Величина втрат, %**
Несвоєчасне збирання	3–10
Жатка	1–2
Молотильний апарат	0,5–1,5
Соломотряс	0,5–1
Система очищення	0,3–0,7
Транспортування	0,2–0,5

Встановлено, що затримка збирання на 10–12 діб після досягнення повної стиглості може призводити до втрати до 15–20 % урожаю через осипання зерна.[7]

Таким чином, головною умовою зменшення втрат є підвищення продуктивності збиральної техніки та забезпечення її безперебійної роботи.

Під час збирання ячменю формується значна кількість соломи.

Співвідношення зерна до соломи становить:[8]

$$1:0,8\div1,31 : 0,8$$

При урожайності 5 т/га на полі залишається близько 4…6 т/га соломи.

Сучасні технології передбачають: подрібнення та розкидання соломи; пресування в рулони; заготівлю на корм; використання як біопалива.

Найбільш поширеним способом є подрібнення з наступним рівномірним розподілом по поверхні поля.

Переваги такого способу:[8]

- повернення органічної речовини до ґрунту;
- зменшення потреби в органічних добривах;
- покращення водного режиму;
- зниження ерозії.

Однак ефективність цього процесу безпосередньо залежить від роботи подрібнювача соломи.

1.4. Аналіз конструкцій подрібнювачів соломи

На сучасних зернозбиральних комбайнах використовуються такі типи подрібнювачів: молоткові, ножові та комбіновані.

Молоткові подрібнювачі рис. 1.1.

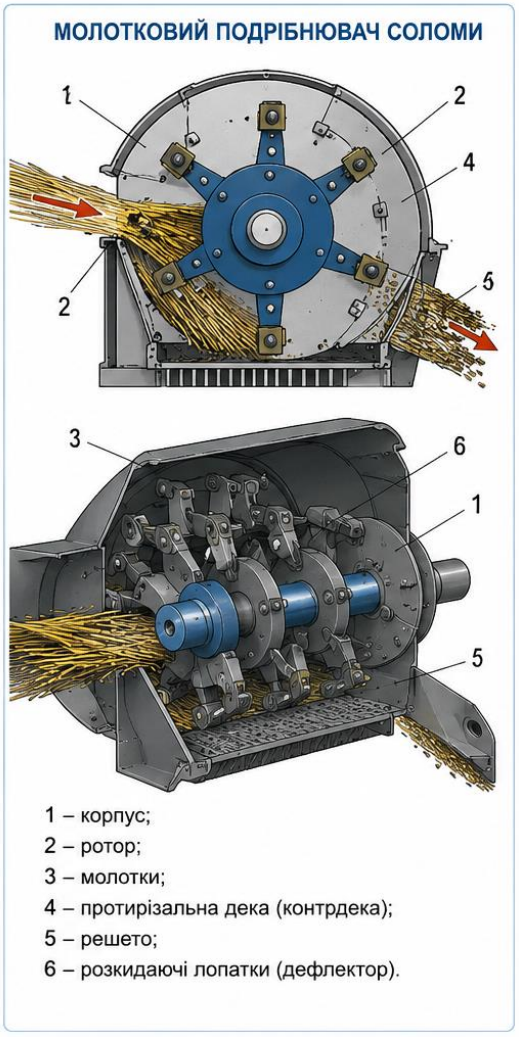


Рис. 1.1. Молотковий подрібнювач соломи

Переваги: проста конструкція; надійність; універсальність.

Недоліки: значні енерговитрати; нерівномірний розподіл соломи.

Ножові подрібнювачі соломи зображено на (рис. 1.2.).

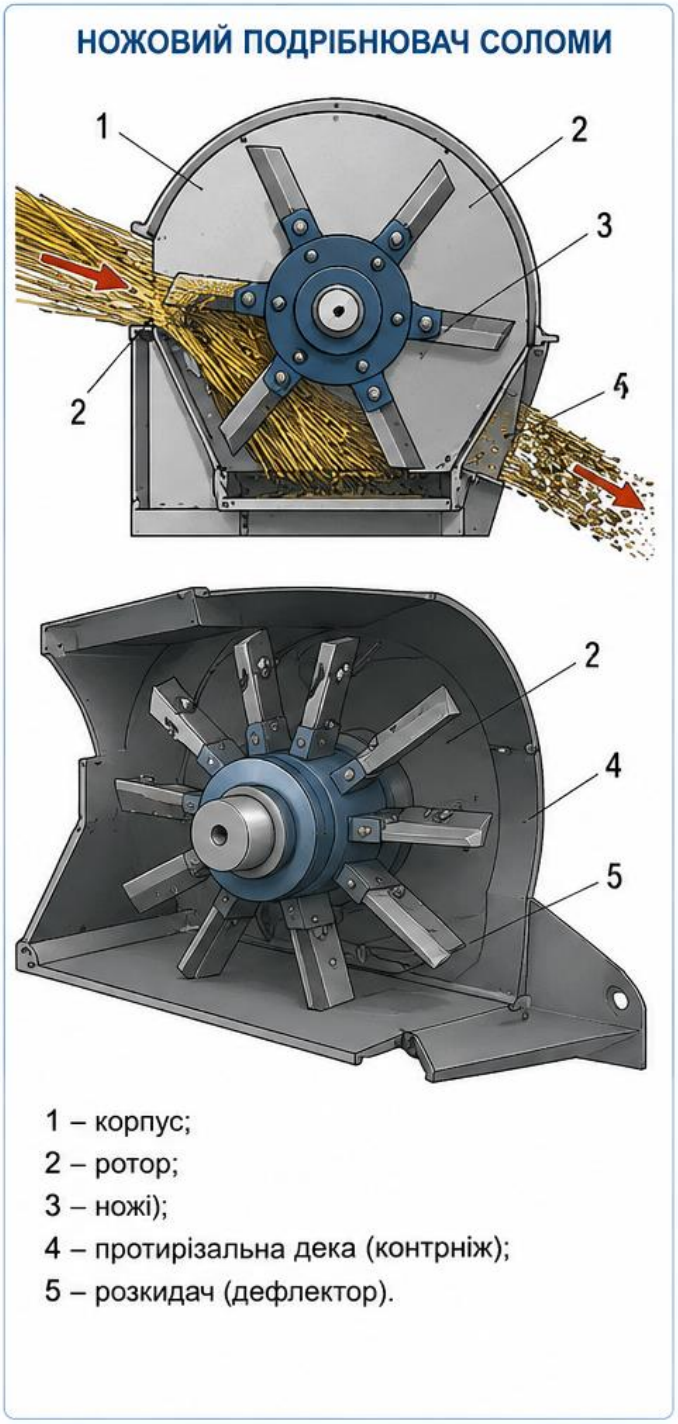


Рис. 1.2. Ножовий подрібнювач соломи

Переваги: висока якість подрібнення; менша потреба в потужності.

Недоліки: швидке зношування ножів; чутливість до сторонніх предметів.

Комбіновані- поєднують переваги обох систем, але мають складнішу конструкцію (рис. 1.3.).

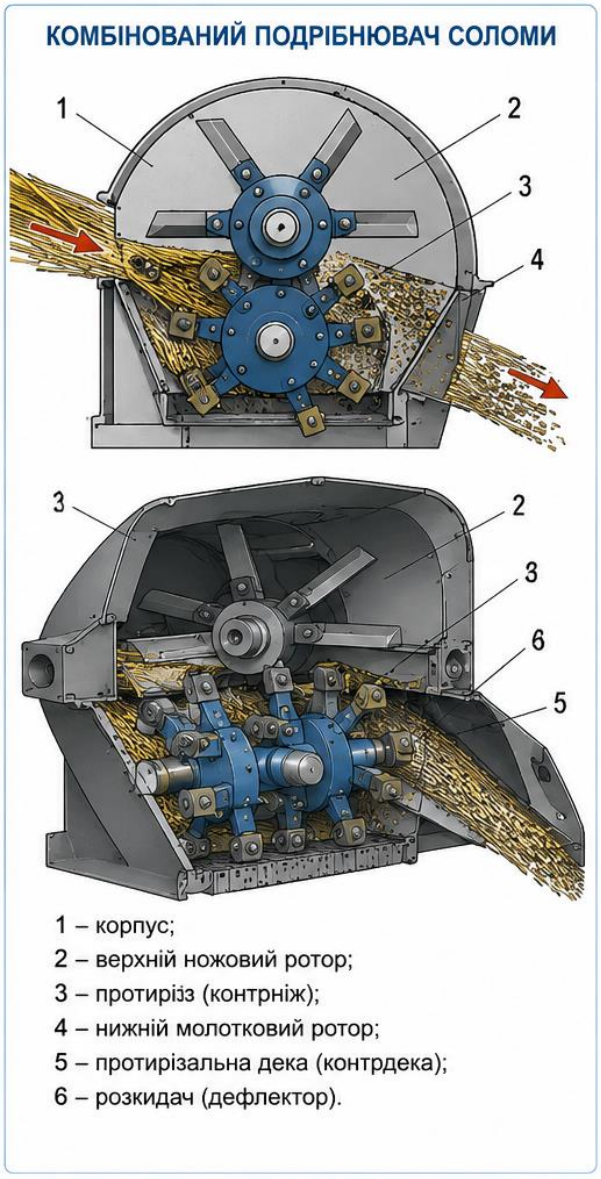


Рис. 1.3. Комбінований подрібнювач соломи комбайна

Комбайн РСМ-10 («Дон-1500») оснащений роторним подрібнювачем молоткового типу.

Основними елементами конструкції є: корпус; ротор; молотки; протирізальні пластини; напрямні щитки; розкидальні лопатки. [8]

Під час роботи подрібнювач виконує руйнування стебел за рахунок ударної дії молотків та багаторазового контакту соломи з протирізальними елементами.

Проведений аналіз показує, що конструкція має низку недоліків:

- недостатній ступінь подрібнення вологої соломи;
- нерівномірне розкидання по ширині захвату жатки;
- підвищене спрацювання молотків;
- значні витрати енергії;
- утворення валків за бокового вітру.

Особливо негативно ці недоліки проявляються за впровадження мінімального та нульового обробітку ґрунту, коли рівномірність розподілу рослинних решток безпосередньо впливає на якість наступних технологічних операцій.

1.5 Обґрунтування напрямку модернізації

Аналіз сучасних технологій вирощування та збирання ячменю показав, що одним із найважливіших напрямків підвищення ефективності зернового виробництва є раціональне використання незернової частини врожаю. В умовах впровадження ресурсозберігаючих технологій землеробства (Mini-Till, Strip-Till та No-Till) особливого значення набуває якісне подрібнення та рівномірне розподілення соломи по поверхні поля.

На більшості зернозбиральних комбайнів, у тому числі на комбайні РСМ-10 «Дон-1500Б», встановлюються молоткові подрібнювачі соломи. Такі конструкції характеризуються простотою виготовлення, надійністю та здатністю працювати за різних умов збирання. Однак аналіз експлуатаційних показників виявив ряд суттєвих недоліків.

Основними недоліками штатного подрібнювача соломи комбайна РСМ-10 є:

- недостатня якість подрібнення соломи підвищеної вологості;
- значна нерівномірність розподілення подрібненої маси по ширині захвату жатки;

- підвищені витрати потужності на привід ротора;
- інтенсивне спрацювання робочих органів;
- утворення локальних скупчень соломи на поверхні поля;
- погіршення умов виконання наступних агротехнічних операцій.

Особливо гостро зазначені недоліки проявляються під час збирання ячменю, коли співвідношення маси зерна та соломи становить близько 1:1. При урожайності зерна 5–6 т/га на поверхні поля залишається до 5–7 т/га рослинних решток. Нерівномірне розподілення такої кількості соломи призводить до погіршення якості передпосівного обробітку ґрунту, зниження рівномірності висіву наступних культур та збільшення енергетичних витрат на обробіток поля.

Порівняльний аналіз молоткових, ножових та комбінованих подрібнювачів показав, що найбільш перспективним напрямком удосконалення є поєднання ударної та ріжучої дії робочих органів. Такий підхід дозволяє підвищити ступінь подрібнення соломи без істотного збільшення енерговитрат.

На основі проведеного аналізу для модернізації подрібнювача соломи комбайна РСМ-10 доцільно передбачити:

- удосконалення конструкції молотків шляхом зміни їх геометричних параметрів;
- збільшення кількості робочих елементів ротора;
- встановлення додаткових ріжучих поверхонь;
- оптимізацію схеми розміщення молотків на роторі;
- удосконалення конструкції контрножів;
- покращення роботи розкидального пристрою для забезпечення рівномірного розподілу соломи по всій ширині захвату жатки.

Очікується, що реалізація зазначених заходів дозволить підвищити ступінь подрібнення соломи на 15…25 %, зменшити нерівномірність її розподілення по поверхні поля на 20…30 % та покращити умови виконання наступних

технологічних операцій. Крім того, рівномірне розміщення подрібненої соломи сприятиме прискоренню її мінералізації, підвищенню вмісту органічної речовини в ґрунті та збереженню його родючості.

Таким чином, проведений аналіз конструкцій подрібнювачів соломи та особливостей технології збирання ячменю підтверджує доцільність модернізації штатного подрібнювача соломи комбайна РСМ-10. Запропоноване удосконалення спрямоване на підвищення якості подрібнення та розподілення рослинних решток, що забезпечить зростання технологічної та економічної ефективності.

Висновки по розділу 1

У результаті виконаного аналізу сучасних технологій вирощування та збирання ячменю встановлено, що дана культура має важливе значення у структурі зернового виробництва України завдяки своїй універсальності, високій адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов та стабільному попиту в кормовій і переробній промисловості. При цьому потенційна врожайність сучасних сортів значно перевищує фактичні показники, що свідчить про наявність резервів підвищення ефективності виробництва.

Аналіз систем вирощування показав перехід аграрного виробництва до ресурсозберігаючих технологій (Mini-Till, Strip-Till, No-Till), які дозволяють зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність використання ґрунтової вологи. Водночас впровадження таких технологій висуває підвищені вимоги до якості подрібнення та рівномірності розподілу рослинних решток по поверхні поля.

Дослідження технологічних схем збирання ячменю показало переважне використання прямого комбайнування як найбільш продуктивного та економічно доцільного способу. Однак значні втрати зерна під час збирання, які можуть досягати суттєвих значень, свідчать про необхідність підвищення надійності та ефективності роботи збиральних агрегатів.

Встановлено, що важливим побічним продуктом збирання є значна кількість соломи, раціональне використання якої безпосередньо впливає на родючість ґрунту та ефективність подальших технологічних операцій. Найбільш поширеним способом її утилізації є подрібнення з наступним рівномірним розподілом по полю, що висуває підвищені вимоги до роботи подрібнювачів соломи.

Аналіз конструкцій подрібнювачів соломи показав, що найбільш поширеними є молоткові, ножові та комбіновані типи робочих органів. Кожен із них має як переваги, так і суттєві недоліки, зокрема щодо енергоємності процесу, рівномірності розподілу та ступеня подрібнення рослинної маси.

Особливо виявлено, що штатні молоткові подрібнювачі зернозбиральних комбайнів, зокрема РСМ-10, не забезпечують достатньої якості роботи в умовах підвищеної вологості та значної маси рослинних решток, що негативно впливає на наступні агротехнічні операції.

Таким чином, проведений аналіз обґрунтовує необхідність удосконалення конструкції подрібнювача соломи.

2.РОРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА СОЛОМИ

2.1 Обґрунтування вдосконалення подрібнювача комбайна РСМ-10

Запропонована технологія, а також відповідні технічні засоби орієнтовані на ресурсозбереження та безвідходне використання біологічного потенціалу врожаю. Це передбачає ефективне вилучення незернової частини врожаю для потреб тваринництва і рослинництва, а також раціональне використання стеблової маси, що залишається на полі залежно від висоти зрізу, з метою підвищення родючості ґрунтів.

Реалізація зазначених завдань можлива за умови високоякісного подрібнення стеблової маси в процесі збирання врожаю. У зв’язку з цим виникає необхідність удосконалення конструкції подрібнювачів зернозбиральних комбайнів, які повинні забезпечувати подрібнення соломи до фракцій розміром 3–5 см.

Відповідно до зоотехнічних вимог, у раціонах годівлі овець і великої рогатої худоби допускається використання до 18% подрібненої солом’яної маси. Така сировина може застосовуватись у складі кормосумішей, де солома та полова закладаються пошарово у кормові траншеї, насичуються соками силосованих культур і використовуються як корм середньої якості в зимово-стійловий період. Внаслідок збагачення каротином силосованих культур поживна цінність підвищується на 0,35–0,45 кормових одиниць, що визначає значний аграрно-економічний ефект від якісного подрібнення.

Найбільш ефективною схемою збирання незернової частини врожаю (НЧУ) є технологія, за якою полова збирається у причіпні до комбайна транспортні засоби, а подрібнена солома рівномірно розподіляється по поверхні поля.

Незернова частина врожаю, що залишається на полі, повинна бути інтенсивно подрібнена та зароблена в ґрунт дисковими боронами або

лущильниками протягом не більше 3 годин після проходу комбайна. Це зумовлено вимогами потоковості технологічних операцій та перебігом біохімічних процесів анаеробної органотрофії, що забезпечує трансформацію рослинних решток у гумусову складову ґрунту. Зазначений підхід знижує інтенсивність мінералізації стерні та сприяє накопиченню органічної речовини, формуючи сприятливі умови ґрунтоутворення. Реалізація такої технології дозволяє зменшити витрати мінеральних добрив до 30% у наступних сівозмінах озимих культур.[3]

Таким чином, модернізація подрібнювача соломи комбайнів сімейства РСМ-10 є актуальною та має стратегічне значення з точки зору удосконалення технологій збирання та використання солом'яної частини врожаю.

Запропонований спосіб збирання виключає використання ручної праці та підвищує рівень механізації технологічного процесу. Використання широкозахватних жаток дозволяє зменшити непродуктивні транспортні витрати та спрямувати енергетичні ресурси на основні технологічні операції — обмолот зерна та подрібнення незернової частини врожаю.

Отже, основним завданням модернізації є забезпечення зменшення довжини подрібнених часток стебел, досягнення дрібнішої фракції та рівномірного розподілу по поверхні поля. Для цього конструкція подрібнювача повинна бути змінена шляхом його зниження в корпусі з метою запобігання забиванню соломотряса. Подовження саморегульованої заслінки забезпечує стабілізацію технологічного навантаження на барабан подрібнювача та рівномірну подачу маси через конфузор.

2.2 Аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів та опис запропонованої конструктивної розробки

Подрібнювач зернозбирального комбайна РСМ-10 залежно від обраної технологічної схеми збирання незернової частини врожаю (соломи та полови)

може працювати в різних режимах, що регулюються відповідним положенням заслінок.[8]

При роботі за першою схемою заслінки встановлюються таким чином, щоб повністю перекривати викидне вікно розкидача. За другою схемою перекривається викидне вікно полови та відкривається канал викиду соломи. Третя схема передбачає перекриття вікна викиду соломи та відкриття каналу полови. Четверта схема характеризується повністю відкритими каналами викиду соломи та полови. За п’ятою схемою частково регулюється перекриття вікна полови, а також одна або дві заслінки можуть частково обмежувати потік соломи залежно від виробничих умов.[9]

У сучасних зернозбиральних комбайнах, зокрема системи розподілу «Преміум» компанії John Deere, реалізовано можливість одночасного подрібнення та рівномірного розподілу соломи і полови одним агрегатом. Полова подається разом із соломою та рівномірно розсіюється по полю. За наявності вітрових навантажень або роботи на схилах передбачена можливість двобічного розподілу матеріалу через подрібнювач. Для підвищення рівномірності розподілу в складних умовах застосовуються електрорегульовані напрямні щитки подрібнювача (рис. 2.1).

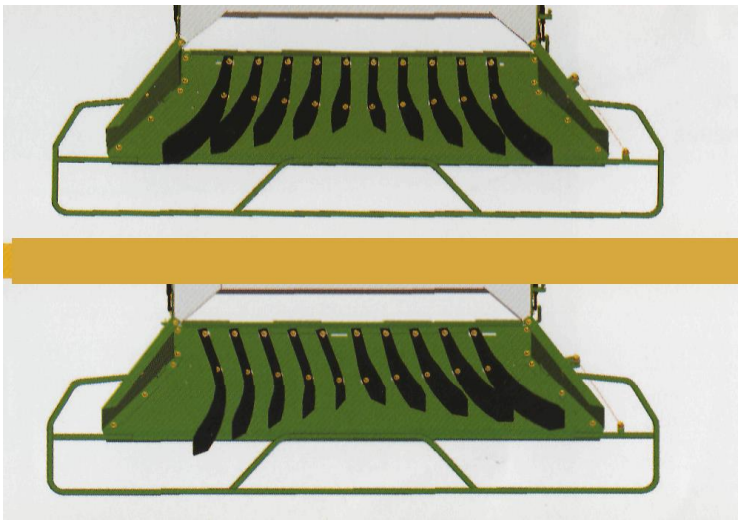


Рис. 2.1. Схема розташування дефлекторів подрібнювача комбайнів John Deere

У разі необхідності розподілу соломи через соломоподрібнювальний пристрій соломорозкидач переводиться у режим розвантаження (рис. 2.2), що забезпечує спрямований викид та рівномірне розсіювання подрібненої маси по поверхні поля.

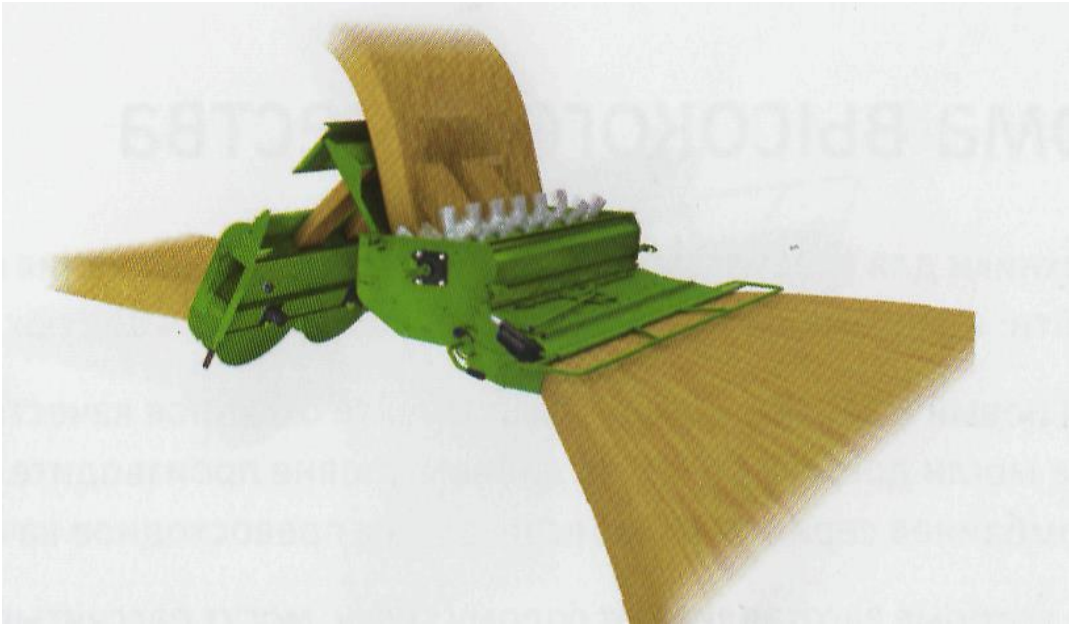


Рис. 2.2 Функціональна робоча схема подрібнювача комбайнів John Deere

У зернозбиральних комбайнах John Deere серії S система розподілу соломи інтегрована із системою зернового потоку, що забезпечує транспортування та розподіл полови і дрібної соломи за рахунок інтенсивного повітряного потоку. [11,12]

Зазначене конструктивне рішення гарантує рівномірне розсіювання дрібно подрібненої маси навіть у складних умовах рельєфу, зокрема на схилах, а також за наявності вітрових навантажень (рис. 2.3).

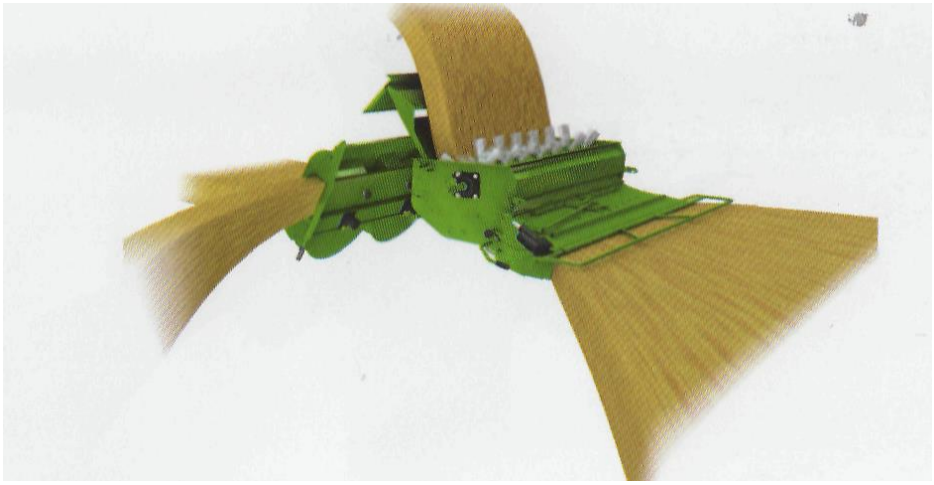


Рис. 2.3 Функціональна робоча схема системи «Преміум» при подрібненні та розподілі соломи

Робота запропонованого подрібнювального пристрою для комбайна ДОН-1500Б відбувається таким чином: обмолочена маса, що надходить із соломотряса, під дією власної ваги транспортується до корпусу 1, де взаємодіє із заслінкою 2 і дозовано подається на обертові молотки барабана 3.

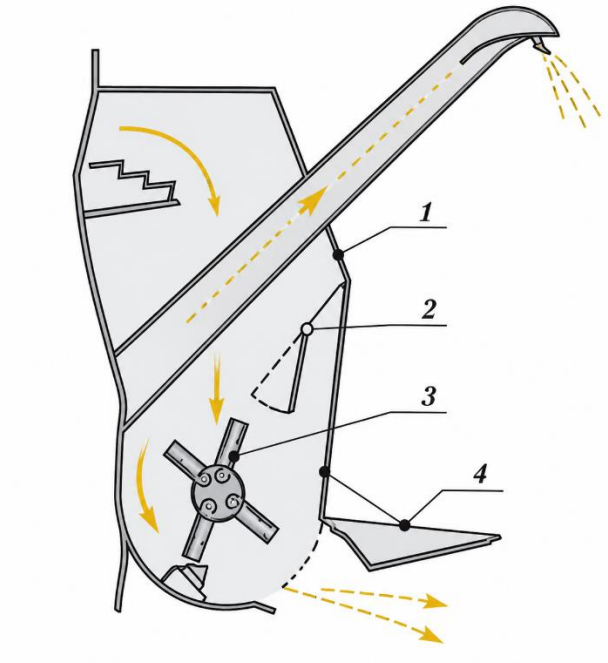


Рис. 2.4. Схема рооти модернізованого подрібнювача соломи комбайна РСМ - 10

1 - корпус; 2 - заслінка потоку саморегулююча; 3 – молотковий барабан; 4 - регульований дефлектор.

Молотки під дією повітряного потоку захоплюють солом’яну масу та спрямовують її до протирізальних ножів, де здійснюється інтенсивне подрібнення. Далі подрібнена маса транспортується до регульованого дефлектора, який формує напрямок потоку та забезпечує його рівномірне розсіювання по ширині захвату комбайна на стерні. Конструктивна схема модернізованого подрібнювача соломи наведена на рис. 3.4.

2.3 Розрахунок на міцність зварних швів агрегату

Поворотна заслінка подрібнювача закріплюється на двох тягах за допомогою приварених лівого та правого вушок. З’єднання виконується ручним дуговим зварюванням електродами типу Е-42 відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 2553 та ДСТУ EN ISO 9692-1. Зварний шов – тавровий, двосторонній, загальною довжиною $l = 0,12$ *м*, катет шва рівний$k = 0,005$ *м*.

На вузол кріплення з боку зварного з’єднання діє зосереджене навантаження $P = 10$ *кН* (рис. 2.5).

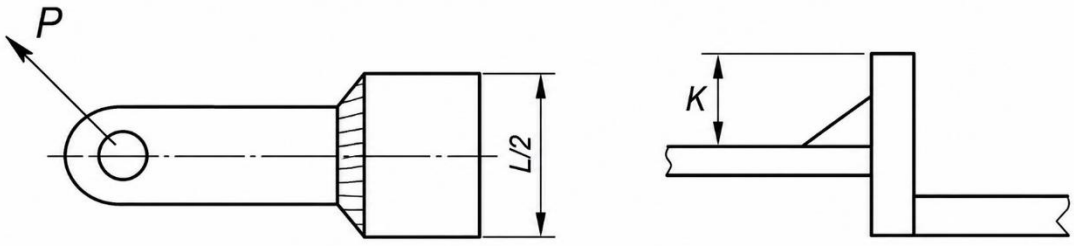


Рис. 3.5. Розрахункова схема навантажень, що діють на зварні шви

Розтягувальне зусилля у зварному шві визначають відповідно до формули [13]:

$$\varepsilon'_{ср} = \frac{P}{0{,}7 \cdot к \cdot l}, \tag{2.1}$$

де, $\varepsilon'_{ср}$ *- напруження зрізу зварного шову, МПа;*

к – катет шову, м;

l – довжина шову, м

$$\varepsilon'_{ср} = \frac{1000}{0{,}7 \cdot 0{,}005 \cdot 0{,}12} = 23{,}8 \text{ МПа}.$$

За умови міцності, яка записується у вигляді: [13]

$$\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}], \tag{2.2}$$

Приймемо як матеріал зварних деталей сталь Ст3, для якої характерні такі механічні властивості: $[\sigma_р]$=160 МПа, де:$[\tau_{ср}] = 0{,}6[\sigma_р]$, [13]

$[\tau_{ср}]$ = 96 МПа. Звідки $\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}]$, дана умова задовільняє міцність конструкції.

Визначення параметрів різьбового з’єднання скоби (М12) для кріплення підшипникового вузла виконують за умов дії монтажного навантаження. Під час затягування гайки до гайкового ключа з довжиною плеча *l=0,2 м* прикладається зусилля P_r*=250 Н*. За цих умов стержень стяжки зазнає осьового розтягувального зусилля *F*, а також додаткового навантаження від моменту сил тертя $Т_в$.

У різьбовому з’єднанні формується крутний момент затягування *Тр*, який після завершення монтажу продовжує діяти на стержень і визначає напружено-деформований стан елемента (рис. 2.6).

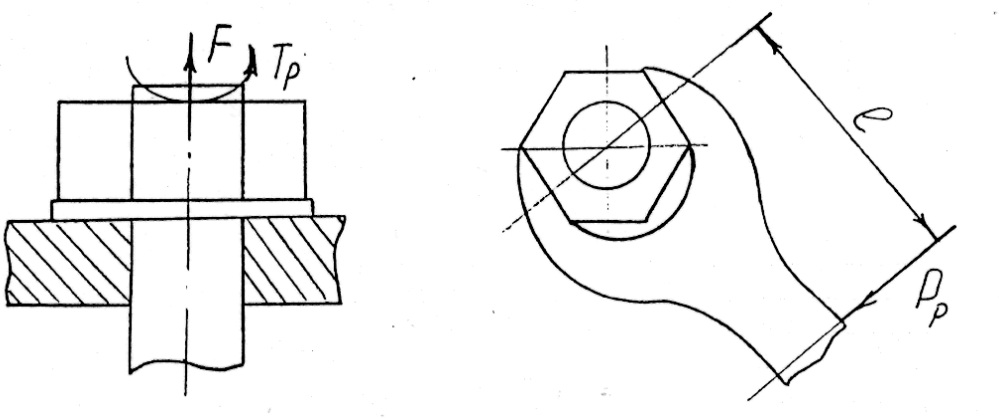


Рис. 2.6. Схема визначення параметрів різьбового з’єднання пристрою

Параметри різьбового з’єднання:

$d_м$ = *0,0206 м – середній діаметр опорної поверхні гайки;*

$d_р$ = *0,010 м – внутрішній діаметр різьби;*

β = $3^o\ 12'$ *кут підйому витка різьби;*

α = 60^o *– кут профілю різьби;*

$\varphi' = 10^o 91'$ - *приведений кут тертя в різьбовому з’єднані;*

f = 0,15 – коефіцієнт тертя в різьбі і на торці гайки;

d_2 = *0,011 м – середній діаметр різьби.*

Працездатність різьбового з’єднання визначимо з умови міцності:[14]

$$\sigma_{экв} \le [\sigma_р], \tag{3.3}$$

де, $[\sigma_р]$- допустиме напруження розриву, МПа

$$[\sigma_p]=0,6\ \sigma_T, \tag{3.4}$$

де, σ_T - межа текучості для Сталі 40Х, МПа,

σ_T=784 МПа [3];

$$[\sigma_p] = 0,6 \cdot 784 = 470 \text{ МПа}.$$

Нормальне напруження в перерізі стержня визначаємо за формулою [13]:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d_p^2}, \tag{2.5}$$

де, F – сила, що діє вздовж осі, Н.

$$F = \frac{M_3}{\frac{d_2}{2}[tg(\beta+\varphi)+ f\frac{d_м}{d_2}]}, \tag{2.6}$$

де, $M_з$ – згинальний момент.

$$M_3 = P_p \cdot l, \tag{2.7}$$

$$M_3 = 250 \cdot 0,2 = 50 H \cdot м.$$

$$F = \frac{50}{\frac{0,010}{2}[tg(3,72+10,91)+0,15(\frac{0,0206}{0,0110})]} = 18181 H.$$

Звідки

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1818}{3{,}14 \cdot 0{,}010^2} = 231 МПа .$$

Тангенціальні напруження в стержні визначаємо по формулі: [14]

$$\tau = \frac{0{,}5F \cdot d_2 \cdot tg(\beta + \varphi)}{0{,}2d_p^3}, \qquad (2.8)$$

$$\tau = \frac{0{,}5 \cdot 18181 \cdot 0{,}011 \cdot tg(3{,}72 + 10{,}91)}{0{,}2 \cdot 0{,}01^3} = 131 МПа .$$

Еквівалентне напруження становить: [14]

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} , \qquad (2.9)$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{231^2 + 4 \cdot 131^2} = 349 МПа .$$

Отримане значення величини напруження становить 349<470 МПа, що відповідає умові міцності для Сталі 45ХА. Таким чином, як матеріал вузла приймаємо дану сталь.

Далі визначаємо довжину зварних швів, що забезпечують кріплення кронштейна товщиною 40 мм до труби 100×6 відповідно до ДСТУ EN 10219-2 при дії зусилля F=S_1=8,4 кН.

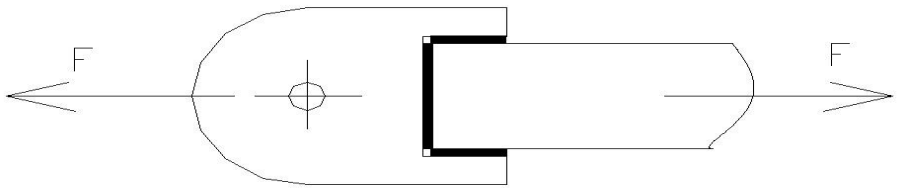


Рис. 2.7 Розрахункова схема вула кріплення труби

Приймемо матеріал для деталей – Ст3кп. Вид зварювання – напівавтомптичне електродугове електродротом дріт класу G3Si1 за ДСТУ EN ISO 14341-A.[13]

Встановимо допустимі напруження для Ст3 $[\delta_р] = 160$ МПа и $[\delta_р'] = 0,9$ х 160 = 144 МПа [13]. Площа поперечного перетину труби - А = 22,13 см^2. допустимі напруження зрізу в шві: $[\tau'] = 0,6\ [\delta_р] = 0,6 \times 160 = 96$ МПа.[13]

Умова міцності в небезпечному перетині шва ма вигляд:[14]

$$\tau = F/(0,7кl) \leq [\tau'], \qquad (2.10)$$

де, к – катет шва, м.,

l – довжина шва, м.;

Тоді:

$$l = F / 0,7к * [\tau'], \qquad (2.11)$$

$$l = 8,414 * 10^3 / 0,7 * 5 * 10^{-3} * 96 * 10^6 = 0,025 \text{ м.} = 25 \text{ мм.}$$

Довжина шва становитиме L=l=100 мм. У бокових шові $L_ф$=30 мм

2.4 Розрахунок осі на міцність

Виконаємо розрахунок на зріз осі. Під дією сили Р у з’єднанні виникають напруження зрізу, а також напруження зминання, що розподіляються по довжині *l*. (рис. 2.8).

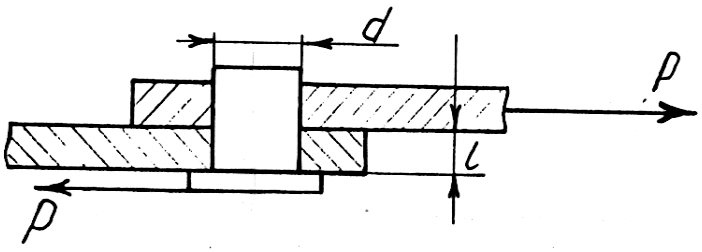


Рис. 3.8. Розрахункова схема навантажень, що діють на вісь.

Працездатність осі оцінюється відповідно до умов міцності на зріз та зминання.[14]

$$\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}],\ \tau'_{ср} \le [\tau_{м}], \tag{2.12}$$

Приймемо матеріал сталь Ст3кп, де $[\tau'_{ср}]$=50 МПа, $[\tau'_{см}]$=135 МПа, [13].

Напруження зрізу в стержні осі визначають відповідно до розрахункової формули:

$$\tau_{ср} = \frac{P}{2\frac{\pi d^2}{4}}, \tag{2.13}$$

де, Р – сила прикладена в одну точку осі, Н;

d – діаметр, м.

$$\tau_{ср} = \frac{10000}{2\frac{3{,}14 \cdot 0{,}03^2}{4}} = 7{,}14 МПа.$$

Звіл=дки $\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}]$ – умова міцності кріплення достатня.

Модернізована конструкція подрібнювача забезпечує поділ незернової частини врожаю на два технологічні потоки — полову та солом’яну фракцію. Конструктивне вдосконалення спрямоване на зменшення середньої довжини подрібненої соломи до 20 мм за рахунок підвищення частоти обертання ротора та збільшення кількості ножів на його робочому органі.

При цьому враховано ймовірність забивання соломотрясного простору, у зв’язку з чим конструктивно обґрунтовано розміщення осі ротора на зниженій висотній відмітці порівняно із серійним подрібнювачем комбайна РСМ-10.

Висновки до розділу 2

Виконано обґрунтування модернізації подрібнювача соломи комбайна РСМ-10, аналіз існуючих конструкцій та розрахунок основних елементів на міцність.

Встановлено, що для забезпечення агротехнічних вимог необхідно отримати фракцію соломи довжиною до **20 мм** та забезпечити рівномірний розподіл незернової частини врожаю по полю. Запропоноване конструктивне рішення передбачає зміну кінематики потоку, підвищення частоти обертання ротора та зміну його розташування для зниження ризику забивання соломотрясного простору.

За результатами розрахунків встановлено: еквівалентні напруження в елементах з’єднання становлять **σекв = 349 МПа**, що менше допустимого значення **[σ] = 470 МПа**; допустиме напруження для сталі Ст3 прийнято **[σ] = 160 МПа**, розрахункове **[τ] = 96 МПа**; зварне з’єднання працює при напруженні **τ ≈ 96 МПа**, що не перевищує допустимого; довжина основних зварних швів становить **L = 100 мм**, бокових — **Lф = 30 мм**; осьове навантаження на елементи кріплення становить **F = 8,414 кН**; при монтажі різьбового з’єднання використано зусилля **Pr = 250 Н** при плечі ключа **l = 0,2 м**.

Отримані результати підтверджують, що всі розрахункові елементи відповідають умовам міцності та забезпечують працездатність конструкції в заданих режимах навантаження.

Таким чином, модернізація подрібнювача РСМ-10 є технічно обґрунтованою та забезпечує підвищення ефективності подрібнення до фракції 20 мм при збереженні міцності вузлів.

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО КОМБАЙНУВАННЯ

3.1 Тяговий розрахунок збирального агрегату

Вихідні дані для розробки, задамося параметрами: площа збирання становить **100 га**, довжина гонів — **1000 м**, схил рельєфу — **3°**; максимально допустимий коефіцієнт нерівномірності роботи **max = 8**; урожайність зерна — **5,5 т/га**, коефіцієнт соломистості — **0,77**.

Відповідно до технічних вимог, робоча швидкість зернозбирального комбайна знаходиться в межах Vр=0,8…2,8 м/с. [8] На основі наведених вихідних параметрів необхідно визначити максимально допустиму швидкість руху агрегату, яка обмежується пропускною здатністю комбайна.

$$V_{p\max}^{\partial} = \frac{10 \cdot g_{н}}{B_{p} \cdot H_{б}}, \qquad (3.1)$$

де, $g_н$ – номінальна пропускна здатність, кг/с;

$B_р$ - робоча ширина захвату, м;

$H_б$ - врожайність зерново частини, т/га.

Приймемо $g_Н$ =7,8-8 кг/с, коефіцієнт завантаження молотарки - к=0,97 [19].

Визначаємо біологічну масу культури.[15]

$$H_{б} = h_{3}(1+\partial_{2}), \qquad (3.2)$$

де, h_3 - врожай зерна, т/га;

$д_2$ - частка субпродукції в загальній біологічній масі.

$H_б$= 3,5(1+0,77)=6,195 т/га.

Тепер можемо визначити максимальну швидкість:[16]

$$V^{д}_{рмач} = \frac{10 \cdot 7,8}{9 \cdot 6,195} = 1,35 м/с (4,85) км/год.$$

Отримане значення робочої швидкості з урахуванням рельєфу поля не перевищує нижню межу рекомендованого діапазону та становить до **5 км/год**, при цьому мінімально допустима швидкість з урахуванням буксування **15%** складає **4,25 км/год**. [16]

Далі перевіряємо можливість роботи зернозбирального комбайна на максимальній швидкості, виходячи з установленої потужності його двигуна та енергетичних витрат на виконання технологічного процесу. [16]

$$N_{ер} = \frac{R_a \cdot V^{д}_{рмач}}{\eta_{тр} \cdot \eta_б} + \frac{N_{вом}}{\eta_{вом}}, \qquad (3.3)$$

де, $N_{ер}$ – затрати потужності на ходове завантаження і привід технологічних органів, приведених до потужності ВВП, кВт;

R_a – опір агрегату, кН;

$\eta_{тр}$ - к.к.д. трансмисії ;

$N_{вом}$ –сумарна потужність, що затрачається на привід робочих органів, кВт.

$\eta_{вом}$ - к.к.д. приводу ВВП.

Опір машинного агрегату визначимо по формулі: [16]

$$R_a = G_м \cdot (f_{об} + \sin\alpha), \qquad (3.4)$$

де, $G_М$ – загальна вага комбайна і причіпа з січкою, кН;

$f_{об}$ – коефіцієнт опору коченню;

a – кут підйому місцевості.

Визначаємо:

Маса комбайна - $М_к$ = 13800 кг;

Маса подрібнювача і додаткового обладнання - $М_п$=2000 кг;

Маса зерна в бункері - $М_З$ = 3100 кг;

Маса причепа з половою - $М_т$ = 2000 кг;

Загальна маса збирального агрегату - $G_а$ = 208 кН;

Загальна маса комбайна без причіпа - $G_К$ =188 кН.

Коефіцієнт розподілу ваги машини на ведену вісь приймаємо λ =0,7[18]. Звідки, $G_{сца}$ – зчіпна вага при повному завантажені бункера і причіпа визначимо по формулі:[16]

$$G_{сц_а} \le 0{,}7 \cdot G_к + G_т, \qquad (3.5)$$

$$G_{сц\ а} = 0{,}7 \cdot 188 + 20 = 151 \text{ кН}.$$

Опір збирального агрегату залежить від наступного:

- заповнення технологічних ємкостей;
- тип агрофону f = (0,08...0,15) [17];
- рельєф поля α=(0...3°...8°).

Тоді опір СГА запишемо: [16]

$$R_a = G_{сц_к}(f_к + \sin\alpha) + (G_T(f_T + \sin\alpha), \quad (3.6)$$

де, $G_{сц_к}$ $G_T = G_{сц_a}$ - складові зчіпної ваги комбайна;

$f_к$ *і* f_m – коефіцієнти опору кочення рушіів комбайна і причіпа;

α - кут підйому повеврхні.

При α<0^0, схил α=0…1^0:

$$R_{a_o o} = 131(0{,}08+0)+20(0{,}08+0)=12{,}08 \text{ кН}.$$

Не враховуючи коефіцієнт зчіпної ваги на підйом та значення α=3° отримаємо:

$$R_{a_в 0} = 131(0{,}08+0{,}13)+20(0{,}08+0{,}13)=31{,}71 \text{ кН}.$$

З врахуванням коефіцієнта використання зчіпної ваги, залежно від схилу поля, опір МТА становитиме: [16]

$$\varphi_a = \frac{R_{a(к+m)}}{G_{сц_{(a)}}} = \frac{P_{fк}}{G_{сц_к}} + \frac{P_{a_к}}{G_{сц_к}} + \frac{P_{fT}}{G_{сц_T}} + \frac{P_{a_T}}{G_{сц_T}}, \quad (3.7)$$

Звідки

$$\varphi_a = f_к + \varphi_{a_к} + f_m + \varphi_{a_m}, \quad (3.8)$$

Згідно даних [15, 16] f_a=(0,08…0,15),. Тоді коефіцієнт використання зчіпної ваги можна визначити за різних значень α:[16]

α =0°, $\varphi_{a_o o}$ =(0,08+0,03) = 0,11;

α = 3°, $\varphi_{a_3 o}$ =(0,08+0,07) = 0,15; за f_a=0,08

α = 8°, $\varphi_{a_8 o}$ = (0,08+0,14) =0,22.

α = 0°, $\varphi_{a_o o}$ = (0,15 + 0,03) =0,18;

α = 3°, $\varphi_{a_3 o}$ = (0,15 + 0,07) = 0,22; за f_a = 0,15.

α = 8°, $\varphi_{a_3 o}$ = (0,15 + 0,14) = 0,29.

Опір агрегату може змінюватись взалежності від ступені просідання шин в міру завантаження технологічних місткостей, а також стійкості встановленого руху (ΔР=104 кг/см^2 ≈10,22 Мпа, τ=91 кг/см^2) [17]. Провівши розрахунок опору R_a, по α=0…8° та f_a = 0,082…0,151 отримали:

R_{a_o} = 131(0,08+0,03)+20(0,08+0,03)=16,611кН;

R_{a_3} = 131(0,08+0,07)+20(0,08+0,07)=22,652 кН;

R_{a_8} = 131(0,08+0,14)+20(0,08+0,14) = 33,223 кН.

при f_a=0,15:

R_{a_o} = 131(0,15+0,03)+20(0,15+0,03) = 27,18 кН;

R_{a_3} = 131(0,15+0,07)+20(0,15+0,07) = 33,22 кН;

R_{a_8} = 131(0,15+0,14)+20(0,15+0,14) = 43,79кН.

Опір руху при завантаженому бункері комбайна без врахування прогину шини становить:

R_{a_o} = 131(0,15+0,0)+20(0,15+0,0) = 22,65 кН;

R_{a_3} = 131(0,15+0,05)+20(0,15+0,05) = 30,20 кН;

R_{a_8} =131(0,15+0,05)+20(0,15+0,13) = 42,28 кН.

Значення $\eta_{тр}, \eta_{б}, \eta_{вом}$ приймаємо згідно рекомендацій в літературі [15,16,] $\eta_{тр}$=0,70; $, \eta_{б}$= 0,965; 0,931; 0,860; $\eta_{вам}$ = 0,93.

Де $\eta_{б}$=1-$\frac{\delta}{100\%}$, при $\alpha \sim \delta$=3,5%; $\tau = \frac{T_{р}}{T_{смен}} \sim \delta = 7\%; \alpha = 8^{0} \sim \delta = 14\%$.

Відповідно: $\eta_{б_{о}}$ = 0,965; $\eta_{б_{з}}$=0,930; $\eta_{б_{в}}$=0,860.

Тоді сумарна потужність, що затрачається на привід: [16]

$$N_{вам} = N_{уд_{б}} \cdot g_{б} + N_{из} \cdot g_{с} + N_{вам_{д}} + N_{вам_{х}} \quad (3.9)$$

де, $N_{уд_{б}}$ – питомі затрати енергії на технологічний процес скошування, обмолоту і сепарації вороху, соломовідокремлення, кВт с/кг;

$g_{б}$ – питомі затрати енергії на подрібнення соломи, розкидання її по полю, завантаження полови в причіп, кВт с/кг;

$N_{вам_{д}}$ - затрати потужності на холостий привод молотарки, кВт;

$g_{с}$ - пропускна здатність подрібнювача, кг/с;

$g_{б}$ - пропускна здатність молотарки, кг/с.

Згідно літературних даних [17] $N_{уд_{б}}$ = 7 кВт с/кг; $g_{б}$ = 7,8 кг/с; $N_{уд_{и}}$ =7 кВт с/кг; $g_{с}$ = 2,6 кг/с; $N_{вам_{х}}$ = 10 кВт; $N_{вам_{д}}$ = 3,5 кВт.

Звідки,

$$N_{вам} = 7 \cdot 7,8 + 7 \cdot 2,6 + 10 + 3,5 = 86,3 \text{ кВт}.$$

Значення кінцевих витрат потужності на роботу комбайна РСМ-10 складуть:

при α=0°, $N_{e_{р}} = \frac{12,08 \cdot 1,35}{0,7 \cdot 0,965} + \frac{86,3}{0,930} = 116,8$ кВт;

за α=3^0, $N_{e_p} = \frac{19,63 \cdot 1,27}{0,7 \cdot 0,93} + \frac{86,3}{0,930} = 131,0$ кВт;

при α =8^0, $N_{e_p} = \frac{31,71 \cdot 1,19}{0,7 \cdot 0,86} + \frac{86,3}{0,930} = 154,8$ кВт.

Розрахунок виконано для встановленого завантаження молотарки та регульованого навантаження ходової частини, що забезпечує стабільну роботу технологічних робочих органів комбайна. Встановлено, що споживана потужність агрегату знаходиться в межах експлуатаційної потужності дизельного двигуна **СМД-31А**, що підтверджує працездатність комбайна в заданих режимах навантаження.

при α=0^o, $N_{ep} \le N_э$ 116,8$\le$162 кВт;

при α=3^o, $N_{ep} \le N_э$ 131,0$\le$162 кВт;

при α-8^o, $N_{ep} \le N_э$, 154,8$\le$162 кВт.

Робоча швидкість II діапазона: 5 км/год (1,39 м/с).

Фактична швидкість агрегату:[16]

$$V_ф = \eta_т \cdot V_р, \qquad (3.10)$$

при α= 0^o, $V_ф = 0,97 \cdot 1,39 \approx 1,35 м/с$;

при α= 3^o, $V_ф = 0,91 \cdot 1,39 \approx 1,27 м/с$;

при α= 8^o, $V_ф = 0,86 \cdot 1,39 \approx 1,19 м/с$;

3.2. Визначення експлуатаційних показників

Експлуатаційні показники визначимо за максимальною потужністю агрегату на допустимій робочій швидкості за формулою [16]:

$$W_{мех} = 0{,}36 \cdot B_p \cdot V_p^g \cdot \tau, \quad (3.11)$$

де, τ - коефіцієнт використання часу зміни;

$$\tau = \frac{T_p}{T_{смен}}, \quad (3.12)$$

де, $T_р$ – час чистої роботи, год;

$T_{смен}$ – тривалість зміни, год.

Час чистої роботи збирального агрегату визначається за формулою [16]:

$$T_p = \frac{2L_p}{60 \cdot V_p} \cdot n_ц, \quad (3.13)$$

де, $L_р$ – довжина гону, м;

Тоді,

$$L_р = L_у - 2\ E, \quad (3.14)$$

де, $L_у$ – довжина поля, м;

2хЕ – подвійна ширина поворотної смуги, м;

Ширину поворотної смуги визначимо за формулою [18]:

$$E = 1{,}1R_{\min} + 0{,}5d_k + l_k, \quad (3.14)$$

де, R_{min} – мінімальний радіус повороту, м;

d_k – кінематична ширина агрегату, м;

l_k – кінематична довжина агрегату, м.

R_{min} = 4,81 м; d_k = 4,5 м; l_k = 6 м.

$$E = 1{,}1 \cdot 4{,}81 + 0{,}5 \cdot 4{,}5 + 6{,}0 = 13{,}55 м$$

Довжина гону складатиме:

$$l_p = 1000 - 2 \cdot 13{,}55 = 972{,}9 м \approx 972 м.$$

Приймаємо значення L_p = 972 м.

Кількість циклів за зміну знайдемо [16]:

$$n_ц = \frac{T_{см} - T_{пз} - T_{обс} - T_{отл}}{t_ц}, \quad (3.15)$$

де, $T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, хв.;

$T_{обс}$ – час організаційно-технологічного обслуговування агрегату в загінці, хв;

$T_{отл}$ – час регламентованих перерв в роботі операторів, хв.

Підготовчо-заключний час включає:[18]

$$T_{пз} = T_{ето} + T_{пп} + T_{пн} + T_{оп}, \quad (3.16)$$

де, $T_{ето}$ – затрати часу на ЩТО, хв.;

$T_{пп}$ – час на підготовку, хв.;

$T_{пн}$ – час отримання наряду і здачі роботи, хв.;

$T_{оп}$ – час кінцевого обслуговування, хв.

Згідно рекомендацій [16, 17, 15]: $T_{ето}$=60 хв; $T_{пп}$=3 хв; $T_{пн}$=4 хв; $T_{ок}$=6 хв. Час організаційно-технологічного обслуговування агрегату в загінці згідно [18] становить: $T_{обс}$ = 25 хв.

Тривалість циклу визначимо по формулі: [18]

$$t_ц = \frac{2L_p}{60 \cdot V_p^g} + \frac{2L_x}{60 \cdot V_{xx}} + t_{оц}, \quad (3.17)$$

де, L_x – середня відстань розвороту і холостого ходу на переїздах, м;

L_{xx} – швидкість на холостому ході, м/с;

$t_{оц}$ – час зупинок на технологічне обслуговування, за один цикл, хв.

Приймаємо $V_{xx} = 1{,}35 м/с$. [18]

Середня відстань холостого ходу на повороти ї переїзди визначається: [18]

$$L_x = 2R_{\min} \cdot \frac{c}{2} \cdot 2l_k, \quad (3.18)$$

де, с – ширина загінки, м.

$$c = 8 \cdot R_{\min}, \quad (3.19)$$

$$c = 8 \cdot 4{,}81 = 38{,}4 м.$$

Тоді,

$$L_x = 2 \cdot 4{,}81 + \frac{38{,}4}{2} + 2 \cdot 6 = 48{,}8 м.$$

L_x = 70 м – на переїзди з врахуванням середньої довжини гону. Час зупинок на технологічне обслуговування, за один цикл визначимо за формулою:

$$t_{оц} = \frac{2 \cdot L_p}{L_{техн}} \cdot t_{ос}, \qquad (3.20)$$

де, $L_{техн}$ –робочих хід до заповнення бункера, м;

$t_{ос}$ – час на одну технологічну зупинку, хв.

Запас ходу комбайна визначимо за формулою:

$$L_{техн.} = \frac{V \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot 10^4}{g \cdot B_p}, \qquad (3.21)$$

де, V – об'єм бункера, м^3;

γ - густина зерна, т/м^3;

λ - коефіцієнт заповнення бункера;

g - врожайність, т/га.

V = 6 м^3; γ = 0,85 т/м^3; $g_з$ = 3,5 т/га; λ = 0,91. [19, 16].

Тоді,

$$L_{техн_з} = \frac{6 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}91 \cdot 10^4}{3{,}5 \cdot 9{,}0} = 1521 м.$$

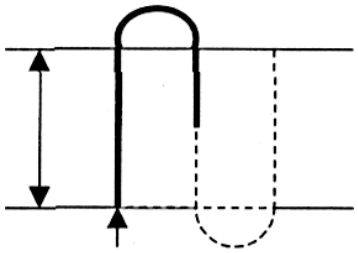


Рис. 3.1 Місце розвантаження бункерного вороху

Визначимо точку розвантаження комбайна з співвідношення: [18]

$$L_{тех} / L_p = 1521/975 = 1{,}56 L_p, \qquad (3.22)$$

Запас ходу за технологічною місткістю причепа 2ПТС-4-887:

$$L_{техн_п} = \frac{V_T \cdot \gamma_e \cdot \lambda \cdot 10^4}{0{,}191 \cdot g_c \cdot B_p}, \qquad (3.22)$$

де, $V_т$ – об'єм кузова з врахуванням сітки, м^3;

γ_t - щільність маси, т/м^3;

λ - коефіцієнт використання об'єму причіпа;

g - врожайність соломи, т/га.

$0{,}191g_c$ – доля полови в стебловій масі врожаю, т/га.

За [16, 17]: $V_т = 45$ м^3; $\gamma_t = 0{,}04$ т/м^3 $\lambda = 0{,}804$; $g_c = 2{,}69$ т/га.

$$L_{техн_п} = \frac{45 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}804 \cdot 10^4}{0{,}191 \cdot 2{,}69 \cdot 9} = 3244м.$$

Заміна причіпа відбувається в точці на розворотній смузі (рис 3.2).

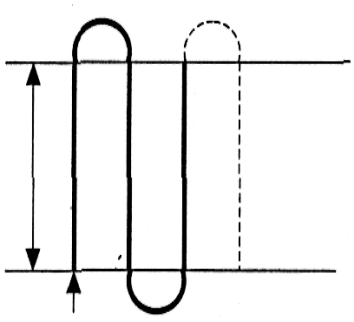


Рис. 3.2 Місце перечіплювання причіпа від комбайна

Точка зміни причіпа: $L_{техн_п} = L_p$ = 3244/972=3,3 робочих ходи.

З врахуванням коефіцієнта використання обєму приймемо 3 ходи. Затрати часу на одну технологічну зупинку становлять: [18]

$$t_{ос} = \frac{V \cdot \gamma \cdot \lambda}{0{,}06 \cdot W_{шн}}, \tag{3.23}$$

де, $W_{шн}$ – продуктивність вивантажувального шнека, кг/с. $W_{шн}$ = 25 кг/с. [8]:

$$t_{ос} = \frac{6 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}79}{0{,}06} = 1{,}58 \text{ хв.}$$

Тривалість циклу роботи:

$$t_{ц} = \frac{2 \cdot 972{,}9}{60 \cdot 1{,}35} + \frac{2 \cdot 40{,}8}{60 \cdot 1{,}35} + 1{,}2 = 26{,}2 \ \ хв.$$

Кількість циклів за зміну ($T_{см}$= 8,5 год):

$$n_{ц} = \frac{510 - (83 + 25 + 25)}{26{,}2 мин} = 14{,}3.$$

Чистий час роботи:

$$T_{р} = \frac{2 \cdot 972{,}9 \cdot 14{,}3}{60 \cdot 1{,}27} = 365{,}1 \ \ хв.$$

Коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{365{,}1}{510} = 0{,}72.$$

Продуктивність зернозбирального комбайна в залежності від кута підйому поля:

при $\alpha = 0^{o}$, $W_{тех} = 0{,}36 \cdot 9 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}72 = 3{,}14 га/год.$

$\alpha = 3^{o}$, $W_{тех} = 0{,}36 \cdot 9 \cdot 1{,}27 \cdot 0{,}72 = 2{,}96 га/год.$

$\alpha = 8^{o}$, $W_{тех} = 0{,}36 \cdot 9 \cdot 1{,}19 \cdot 0{,}72 = 2{,}77 га/год.$

Змінна продуктивність комбайна [16]:

$$W_{см} = W_{тех} \cdot T_{см}, \tag{3.24}$$

при $\alpha = 0^{o}$, $W_{см} = 3{,}14 \cdot 8{,}5 = 26{,}69 га;$

при $\alpha = 3^{o}$, $W_{см} = 2{,}96 \cdot 8{,}5 = 25{,}16 га;$

при $\alpha = 8^{o}$, $W_{см} = 2{,}77 \cdot 8{,}5 = 23{,}54 га;$

Середня продуктивність збирального агрегату визначається сумарним ходовим навантаженням, умовами рельєфу поля та може регулюватися за рівнем тиску в робочій магістралі гідростатичної трансмісії ГСТ-90. У розрахункових залежностях приймаємо середню змінну продуктивність агрегату на рівні встановленого розрахункового значення.

3.3 Розрахунок витрат палива та затрат праці

Витрати палива агрегату визначаються за формулою:[16]

$$g_{га} = \frac{G_p \cdot T_p + G_x \cdot T_x + G_o \cdot T_o}{W_{см_a}}, \tag{3.25}$$

де, $g_{га}$ – гектарна витрата палива, кг/га;

G_p, G_x, G_o – годинна витрата палива на робочий хід, холості переїзди та зупинки з працюючим двигуном, кг/год;

T_p, T_x, T_o –чистий час роботи, на холостому ходу та зупинках, год.

Згідно даних [12]: $G_p = 48,6$ кг/год; $G_x = 25,5$ кг/год; $G_o = 12,5$ кг/год.

Час холостого ходу та повороти комбайна визначимо:[18]

$$T_x = \frac{2 \cdot L_{x_{общ}}}{3600 \cdot V_x} \cdot n_ц, \tag{3.26}$$

$$T_x = \frac{2 \cdot (40 + 70)}{3600 \cdot 1,35} \cdot 14,3 = 0,64 \ год.$$

Час зупинок на вивантаження зерна та інші технологічні зупинки:

$$T_o = 0,5T_{ето} + T_{обс} + T_{отл} + T_{то}, \tag{3.27}$$

де, $T_{то}$ – час на розвантаження бункера, год.

$$T_{то} = \frac{t_{оц} \cdot n_ц}{60}, \tag{3.28}$$

$$T_o = \frac{1,2 \cdot 14,3}{60} = 0,30 \ год.$$

Визначимо загальний час зупинок.[17]

$$T_o = 0,5 \cdot 1 + 0,42 + 0,42 + 0,30ч = 1,64 \ год.$$

Визначимо витрату палива на один га, в залежності від змінної продуктивності комбайна:

при α=0°, $g_{га} = \frac{48,6 \cdot 6,1 + 25,5 \cdot 0,64 + 12,5 \cdot 1,64}{26,69} = 12,4 кг/га$;

при α=3°, $g_{га} = \frac{48,6 \cdot 6,1 + 25,5 \cdot 0,64 + 12,5 \cdot 1,64}{25,16} = 13,3 кг/га$;

при α=8°, $g_{га} = \frac{48,6 \cdot 6,1 + 25,5 \cdot 0,64 + 12,5 \cdot 1,64}{23,54} = 14,1 кг/га.$

Визначимо затрати праці на одиницю роботи:[18]

$$З_{тп} = \frac{m + m_в}{W_{тех_а}}, \qquad (3.29)$$

де, m – чисельність основних працівників, чол.;

$m_в$ – чисельність допоміжного персоналу, чол.

при α=0°, $З_{тп} = \frac{1+1}{3,14} = 0,63 \frac{люд \cdot год}{га}$;

при α=3°, $З_{тп} = \frac{1+1}{2,96} = 0,67 \frac{люд \cdot год}{га}$;

при α=8°, $З_{тп} = \frac{1+1}{2,77} = 0,72 \frac{люд \cdot год}{га}$.

Результати проведених розрахунків заносимо в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Техніко-експлуатаційні показники роботи комбайна РСМ-10

Показники	Одиниці виміру	Позначення в розрахунках	Значення показників при α^{o}		
			0^{o}	3^{o}	8^{o}
Агрегат: Дон-1500Б	шт	-			
Тяговий опір агрегату	кН	R_{a_a}	12,08	19,63	31,71
Фактична швидкість агрегату	м/с	$V_{ф_a}$	1,35	1,27	1,19
Затрати потужності	кВт/год / га	$N_{ер_a}$	116,8	131,0	154,8
Продуктивність агрегату:					
- годинна	га/год	$W_{тех_a}$	3,14	2,96	2,77
- змінна	га/зм	$W_{см_a}$	26,69	25,16	23,54
Питомі витрати палива	кг/га	$g_{га_a}$	12,4	13,3	14,1
Питомі прямі затрати праці	люд·год / га	$З_{тп_a}$	0,63	0,67	0,77
Питомі енергозатрати	кВт·год / га	$\alpha_{м_a}$	37,2	44,2	55,9
Продуктивність праці механізаторів	га / люд·год	$П_a$	1,57	1,48	1,38

Визначимо питомі затрати енергії на збирання ячменю за формулою:[18]

$$\alpha = \frac{N_{ер_a}}{W_{тех_a}}, \tag{3.30}$$

при α=0°, $\alpha_м = \frac{124,7}{3,14} = 39,7 \frac{кВт \cdot год}{га}$;

при α=3°, $\alpha_м = \frac{125,8}{2,96} = 42,5 \frac{кВт \cdot год}{га}$;

при α=8°, $\alpha_м = \frac{154,8}{2,77} = 55,9 \frac{кВт \cdot год}{га}$.

Визначимо продуктивність праці механізаторів: [18]

$$П = \frac{W_{тех_а}}{m + m_в}, \quad (3.31)$$

Тоді:

при α=0°, $П = \frac{3{,}14}{2} = 1{,}57 \frac{га}{чел. \cdot ч}$;

при α=3°, $П = \frac{2{,}97}{2} = 1{,}48 \frac{га}{чел. \cdot ч}$;

при α=8°, $П = \frac{2{,}77}{2} = 1{,}38 \frac{га}{чел. \cdot ч}$.

Якість роботи зернозбирального комбайна оцінюється у бальній системі залежно від відсотка втрат зерна. Допустимі втрати встановлюються з урахуванням конкретних умов збирання врожаю, при цьому передбачається мінімізація втрат як від природного осипання, так і в процесі роботи комбайнового агрегату.[10]

Контроль урожайності здійснюється методом пробних (контрольних) обмолотів, які виконуються спеціальною комісією на виділеній ділянці поля. Перед проведенням випробувань комбайн попередньо налаштовують відповідно до технологічних регламентів. Обмолот виконується досвідченим оператором комбайна. Відбір проб зерна проводять як у крайових зонах загінки, так і в її центральній частині для забезпечення репрезентативності результатів.[12]

Під час першого пробного проходу встановлюють оптимальний швидкісний режим роботи агрегату з урахуванням критерію забезпечення мінімальних втрат при максимально можливій продуктивності. У разі фіксації підвищених втрат робочу швидкість зменшують до допустимого рівня. За умови коректного регулювання та оптимального режиму роботи фактична врожайність у перші вісім днів збирання повинна відповідати біологічній урожайності з відхиленням не більше ±3%.[10]

Після завершення збирання на ділянці поля оформлюється акт, у якому фіксується фактична врожайність. Один примірник акта залишається у комбайнера, другий передається до бухгалтерії для обліку.

Нормативні втрати становлять: 1% втрат за жниваркою при врожайності 3,5 т/га; 1% втрат після жатки при ширині захвату 6 м; 1% втрат у соломі (за умови *Hb=3,5(1+0,77) т/га)*.[11]

Регулювання рівня втрат здійснюється шляхом коригування зазорів у молотильному апараті та частоти обертання барабана [12].

Висновки до розділу 3

У розділі розроблено операційну технологію прямого комбайнування та виконано тягово-енергетичне обґрунтування роботи зернозбирального агрегату РСМ-10 для умов поля площею 100 га, довжиною гонів 1000 м та ухилом 0…8°.

Встановлено біологічну масу врожаю на рівні **6,195 т/га**, що визначило пропускну здатність технологічного процесу та допустимий швидкісний режим. Розрахункова робоча швидкість агрегату становить **4,25…5,0 км/год**.

Тяговий опір агрегату змінюється в межах **12,08…31,71 кН**, що зумовлено рельєфом поля та ступенем завантаження технологічних ємкостей. Витрати потужності зростають від **116,8 до 154,8 кВт**, але не перевищують номінальну потужність двигуна (**162 кВт**), що підтверджує працездатність агрегату в заданих умовах.

Встановлено, що продуктивність комбайна становить **2,77…3,14 га/год** або **23,54–26,69 га/зміну**, при цьому зі збільшенням сххилу спостерігається її зниження. Питомі витрати палива змінюються в межах **12,4…14,1 кг/га**, а затрати праці становлять **0,63…0,77 люд·год/га**.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів роботи зернозбиральних комбайнів у змінних польових умовах та підвищення їх техніко-економічної ефективності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1.У результаті аналізу сучасного стану виробництва ячменю встановлено, що підвищення ефективності його вирощування значною мірою залежить від удосконалення технологій збирання та раціонального використання побічної продукції врожаю. На підставі аналізу існуючих конструкцій подрібнювачів соломи встановлено недоліки штатного подрібнювача комбайна РСМ-10, які проявляються у недостатній якості подрібнення рослинної маси та нерівномірності її розподілу. Для усунення зазначених недоліків запропоновано модернізовану конструкцію подрібнювача, яка передбачає зміну кінематики руху матеріалу та удосконалення робочих органів.

2.Виконані конструктивні та міцнісні розрахунки підтвердили працездатність запропонованого технічного рішення. Встановлено, що еквівалентні напруження в елементах конструкції становлять **349 МПа**, що не перевищує допустимого значення **470 МПа**, а розрахункові параметри зварних і різьбових з'єднань забезпечують необхідний запас міцності та надійності під час експлуатації.

3.У процесі розроблення операційної технології прямого комбайнування визначено раціональні режими роботи зернозбирального агрегату. Встановлено, що біологічна маса врожаю становить **6,195 т/га**, а оптимальна робоча швидкість комбайна знаходиться в межах **4,25–5,0 км/год**. Тяговий опір агрегату змінюється від **12,08 до 31,71 кН**, а витрати потужності становлять **116,8–154,8 кВт**, що не перевищує номінальної потужності двигуна комбайна.

4.Визначено основні експлуатаційні показники роботи агрегату: годинна продуктивність становить **2,77–3,14 га/год**, змінна продуктивність — **23,54–26,69 га/зміну**, питомі витрати палива — **12,4–14,1 кг/га**, а прямі затрати праці — **0,63–0,77 люд·год/га**. Отримані результати свідчать про ефективність запропонованої технології та її відповідність агротехнічним вимогам щодо якості збирання зернових культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2018. 552 с.
2. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Надикто В. Т. Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна освіта, 2019. 608 с.
3. Бойко І. Г., Рибак М. Ф. Машини та обладнання для рослинництва. Київ : Вища освіта, 2017. 520 с.
4. Зінченко О. І. Рослинництво. Київ : Аграрна освіта, 2016. 591 с.
5. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : Українські технології, 2018. 808 с.
6. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Зернові культури. Технології вирощування. Львів : Українські технології, 2020. 412 с.
7. Тараріко Ю. О. Сучасні технології вирощування зернових культур. Київ : ДІА, 2019. 368 с.
8. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2018. 552 с.
9. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій у сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 2017. 208 с.
10. Сисолін П. В., Сало В. М., Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи, конструкція і проектування. Кропивницький : Код, 2015. 548 с.
11. Погорілий Л. В., Брей В. В. Зернозбиральні комбайни. Конструкція та експлуатація. Київ : Аграрна наука, 2017. 488 с.
12. Гевко Б. М. Машини для збирання зернових культур. Тернопіль : ТНТУ, 2018. 324 с.
13. Чернавський С. А. Курсове проєктування деталей машин. Київ: Альянс, 2018. 416 с.
14. Шейко В. М. Деталі машин. Харків : Основа, 2017. 560 с.

15. Деркач О. П., Шворак М. В. Обґрунтування параметрів подрібнювача-розкидача соломи зернозбирального комбайна. Machinery and Energetics. 2013. № 1. С. 115–121.

16. Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Експлуатація машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : Рута, 2024. 571 с. У підручнику розглянуто експлуатаційні властивості МТА, комплектування агрегатів, продуктивність, транспортне забезпечення та організацію роботи машинно-тракторного парку.

17. Діденко М. К. Експлуатація машинно-тракторного парку : підручник. 5-те вид., перероб. і допов. Київ : Вища школа, 1983. 447 с.

18. Матвієнко О. О., Крилов О. В. Теоретичні основи експлуатації сільськогосподарської техніки : методичні вказівки. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 105 с.

ДОДАТКИ