

Допущено до захисту
“ ” 20 __ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
 А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

магістр
(освітній рівень)

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Конотопенко А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Лісовий І.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

А.В. Войтік

“ ” _____ 20 __ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

студенту _____ Конотопенку Артему Васильовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів подрібнювача незернової частини врожаю комбайном»

керівник роботи _____ Лісовий І.О., к.т.н., доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 20 24 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи;

4. Перелік питань, які потрібно розробити: _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як
додаток до доповіді за темою дипломної роботи:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Лісовий І.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 18 квітня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка

Студент_____
(підпис)**Конотопенко А.В.**_____
(прізвище та ініціали)**Керівник роботи**_____
(підпис)**Лісовий І.О.**_____
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ	7
1.1. Аналіз стану робіт з подрібнювальних апаратів	7
1.2. Аналіз подрібнювальних пристроїв та вибір доцільних конструкцій	13
Висновки до розділу	16
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ АПАРАТІВ	18
2.1. Дослідження подрібнювальних апаратів НЧВ	18
2.2. Рух соломи в подрібнювальний апарат	24
2.3 Дослідження впливу розташування подрібнюючого барабана по відношенню до сепаруючих органів комбайна	24
2.4. Дослідження живильних пристроїв подрібнювального апарату	28
Висновки до розділу	31
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
3.1. Дослідження взаєморозташування ножа барабана та протиріжучого елемента	32
Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	39
4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час збирання НЧВ	39
4.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час збиранні НЧВ	40
4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи збирального агрегату НЧВ	40
Висновки до розділу	43
РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ПОДРІБНЮЮЧОГО АПАРАТУ	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	51

РЕФЕРАТ

Конотопенко А.В. «Обґрунтування параметрів подрібнювача незернової частини врожаю комбайном». (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 72 сторінках, 21 рисунка, графічна частина підготовлено ілюстративний матеріал у вигляді презентації 12 слайдів як додаток до доповіді за темою магістерської роботи)

Розроблено також конструкцію подрібнювального апарату.

Обґрунтовано, наприклад, такі параметри: напрямок обертання подрібнюючого барабана, розташування ножів на барабані і стосовно протиріжучого пристрою, визначена довжина ножа. Визначено також економічний ефект від розробки.

Ключові слова: БАРАБАН, НІЖ, ПОДРІБНЕННЯ, НЕЗЕРНОВА ЧАСТИНА, НІЖА.

ВСТУП

Виробництво зернових - одна з основних галузей сільськогосподарства. Зерно використовується не тільки у сфері харчових продуктів, але через свої властивості воно незамінне у багатьох галузях економіки. Тому необхідно розвивати рослинництво різними шляхами, використовувати нові технології та обладнання, а також користуватися перевагами останніх наукових досягнень. Переробка зерна - досить трудомісткий процес. Дотримання технологій вирощування зернових культур є основою підвищення їх врожайності, отримання хороших результатів господарювання в сфері сільського господарства України. Одним із технологічних процесів комбайнового збирання зернових культур є процес подрібнення побічних частин урожаю: соломи, кукурудзиння і т.п. Забезпечення ефективності його використання в якості кормів, органічних добрив і таке інше. Подрібнення соломи при комбайновому збиранні зернових культур на сучасному етапі здійснюється за допомогою спеціального подрібнюючого агрегату як складової частини комбайну. Сам процес подрібнення здійснюється за допомогою спеціальних ножів які знаходяться в задній частині комбайна. Одна частина ножів закріплена нерухомо в одному суцільному рядові, а інші попарно-шарнірно і з періодичним розміщення по декілька штук [1-10].

Мета роботи є удосконалення доподрібнюючого пристрою комбайну з підвищення надійності роботи.

Об'єкт дослідження. Доподрібнюючий пристрій.

Предмет дослідження. Технологічні, конструктивні розрахунки елементів доподрібнюючого пристрою.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз стану робіт з подрібнювальних апаратів

Подрібнювальні апарати до зернозбиральних комбайнів вивчені недостатньо. Більш повно вивчені стаціонарні дробарки кормів. Під подрібненням розуміється процес руйнування незернової частини врожаю сільськогосподарських культур більш дрібні частини шляхом впливу зовнішніх сил, долають внутрішні сили зчеплення між частинками продукту [2].

Подрібнення характеризується ступенем подрібнення та розділення. Під ступенем подрібнення (U_c) розуміється відношення вихідної довжини продукту, що подрібнюється, до довжини подрібненого продукту:

$$U_c = L_{cp} / l_{cp} \quad (1.1)$$

де L_{cp} і l_{cp} - середньозважена довжина вихідного продукту та подрібненого.

Під ступенем розщеплення (P_c) розуміється відношення вихідної маси продукту (M_u) до розщепленої (M_p):

$$P_c = M_u / M_p \quad (1.2)$$

Середньозважена довжина продукту визначається з виразу:

$$L_{cp} = \sum \gamma_i l_i / \sum \gamma_i = \frac{\gamma_1 l_1 + \gamma_2 l_2 + \dots + \gamma_n l_n}{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n} \quad (1.3)$$

де - Виходи окремих класів;

l_i - Середня довжина окремих класів.

Для орієнтовної оцінки ступеня подрібнення можливе використання формули:

$$U_c = L_{max} / l_{max} ; \quad (1.4)$$

де L_{max} та l_{max} - максимальний розмір відповідно до і після подрібнення.

Руйнування кормових матеріалів у подрібнювальних апаратах ґрунтується на наступних процесах: різання лезом, дроблення ударом, розрив з наступним перетиранням, розколювання, плющення, комбінований спосіб (поєднання вищезгаданих процесів) [3].

У подрібнювальних апаратах руйнування соломистих продуктів здійснюється переважно комбінованим способом. Процес подрібнення соломистих матеріалів супроводжується розтягуванням та розривом матеріалу, стисненням, крученням, зсувом та іншими складними деформаціями.

Існує чотири закони дроблення, докладно розроблених в основному для дробильних машин гірничорудної промисловості [1, 2]: Ріттінгер, Кирпічова-Кіка, Ребіндера і Бонда. Ці закони і теоретичні побудови, що базуються на них, не суперечать, а доповнюють один одного.

Подальший розвиток зазначених теорій позначилося на роботах Е.М. Гутьєра [3], Л.Б. Левенсона [4], Н.М. Махова [5] та інших. Автори дійшли висновку, що при подрібненні матеріалів вигідно прикладати силу динамічно (ударно), при цьому сила кожного динамічно прикладеного кілограма еквівалентна за своєю руйнівною дією двом статично прикладеним кілограмам.

М.Б. Фабрикант [6] та І.В. Макаров [7] для дослідження процесів подрібнення кормів приймали за основу теорію удару. Вони припускали, що барабан дробарки за своєю дією аналогічний барабану молотарки і дійшли висновку, що енергія на деформацію становить приблизно $1/3$ загальної витрати енергії.

Н.Ф. Сушков [8] у своїй роботі дав класифікацію способів дроблення матеріалів. Процес дроблення він представив як розбивання частинок вільним ударом і, виходячи з рівняння імпульсу сили, дійшов висновку, що сила удару зменшуватиметься пропорційно величині частинок. Отже, розбивання частинок можливе до певної межі [9].

Великий внесок у розвиток теорії дроблення зробили проф. Л.Б. Левенсон та П.М. Цигельман [4]. Вони розробили теорію дробильно-сортувальних машин, що застосовуються у будівельній та гірничій справі, виходячи з поверхневої та об'ємної гіпотези дроблення. Вони наводять дані, згідно з якими продуктивність дробильних машин прямо пропорційна довжині барабана, квадрату його діаметра та кубу кутової швидкості. Ці дані дуже важливі при конструюванні різних дробарок і подрібнювачів.

Великий практичний інтерес становлять роботи з кормодробилкам А.Н. Чудакова [10], В.С. Пахомова [11], О.В. Мельникова [12] та інших авторів. У цих роботах дається методика розрахунку основних параметрів робочих органів кормодробарки, розглядається енергетика процесу дроблення зернових продуктів.

При створенні конструкцій подрібнювальних апаратів соломистих продуктів до зернозбирального комбайна особливий інтерес становлять питання різання соломистих матеріалів. Теорію різання стебел створено радянськими вченими, академіками В.П. Горячкіним [13, 14], В.А. Желіговським [15], І.Ф. Василенка, О.М. Карпенка, професорами Л.П. Крамаренко, Є.С. Бос [16], І.А. Долговим, В.І. Фоміним та іншими. В.А. Желігівський [17] рекомендує розглядати роботу сегмента ріжучого апарату залежно від коефіцієнта ковзання. Він показує, що при збільшенні кута різання від 0° до певної межі, різної для різних матеріалів, питома робота різання спочатку зростає незначно, а надалі, зі збільшенням кута, вона різко зростає.

Дослідженнями, проведеними О.О. Івашко [18], встановлено, що ріжуче жало ножа являє собою дрібні мікронерівності (вершини і западини), що утворюються при заточуванні леза, причому площа западин значно перевищує площу вершини. При доцільному похилому різанні мікровиступи більш інтенсивно беруть участь у процесі перепилювання подрібнюваного продукту, значно зменшується контакт мікровпадин жала, частина яких входить у проріз безпосередньо за ріжучою частиною мікровиступу. Багато мікровиступів на лезі, що у похилому різанні, роблять його ефективнішим.

В.П. Горячкін та В.А. Желіговський та інші вчені розробили загальну теорію різання рослин, яка з успіхом може бути застосована при розробці різних типів подрібнювальних апаратів. Більшість робіт з різання рослин присвячено визначенню швидкості перерізання стебел, обґрунтуванню кутів різання та кутів установки різальних елементів. У цьому напрямі великий внесок зробили роботи О.М. Гутьяра [19], Л.П. Кра-Маренко [20], Н.І. Дроздова [21], Н.А. Левікова [22], Ю.Ф. Новікова [23], В.І. Фоміна, А.Ф. Соколова та С.Д.

Трофімова [24] та інших вчених. Автори вказують, що кут нахилу леза ріжучого елемента при різанні сільгоспрослин необхідно вибирати в залежності від виду рослин, технологічного процесу і вимог, що висуваються до нього.

Великий практичний інтерес становлять дослідження Е.С. Босого та В.І. Іванцова [25] щодо визначення умови защемлення стебел у ріжучих апаратах збиральних машин. Відомо, що кут розчину ріжучої пари істотно впливає на зусилля, необхідне для зрізу стебел. При збільшенні цього кута зменшується сила опору зрізу внаслідок ефекту різання, що ковзає. Тому слід прагнути до збільшення кута (рис.1.1), але до певної межі, за якої виконується умова защемлення стебел, оскільки можливе їх вислизання з розчину ріжучої пари.

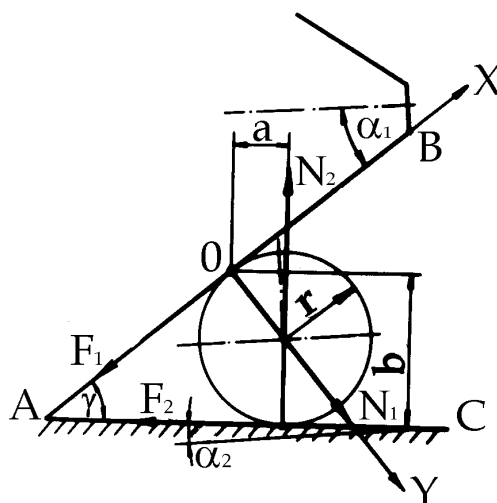


Рис. 1.1. До аналізу кута розчину ріжучої пари (γ) подрібнювального апарату.

Автори розглядають умову защемлення стебла, коли коефіцієнти його тертя по лез AB і AC різні, приймаючи $f_1 > f_2$. Без урахування реакції пружних властивостей стебла для виконання статичних умов рівноваги необхідно і достатньо:

$$\sum R_x = N_2 \sin \gamma - F_1 - F_2 \cos \gamma = 0 \quad (1.5)$$

$$\sum R_y = N_1 - N_2 \cos \gamma - F_2 \sin \gamma = 0 \quad (1.6)$$

$$\sum M_0(R) = N_2 \cdot a - F_2 \cdot b = 0 \quad (1.7)$$

де R - головний вектор сил, що діють на стебло; N_1 і N_2 - нормальні тиски, перпендикулярні лезам; $\gamma = \alpha_1 + \alpha_2$ - Кут між лезами; $F_1 = N_1 \operatorname{tg} f_1$ і $F_2 = N_2 \operatorname{tg} f_2$ - граничні сили тертя, спрямовані у бік, зворотний до можливого вислизання стебла; $M_o(R)$ - головний момент сил.

Порушення умов (1.5) і (1.6) при одночасному виконанні умови (1.7) призводить до вислизання стебла з розчину лез.

Якщо порушується тільки умова (1.7), то відбувається обертання перерізу стебла, розташованого на рівні лез, що може призвести до кочення стебла по лезу АВ з великим коефіцієнтом тертя і його ковзання по іншому лезу АС. Провівши ряд обчислень, автори визначають граничний кут γ , що відповідає умові $M_o(R)=0$:

$$\gamma = 2f_2 \quad (1.8)$$

і пропонують визначати кут нахилу лез у подрібнювачах за наведеною вище формулою. Дослідження процесу подрібнення матеріалів різними типами подрібнювачів проведено А.В. Клімановим [26], Н.В. Сабліковим [27], В.А. Костянтиновим, Н.Є. Резником [28, 29], Л.І. Комаровим [30] та іншими. Слід зазначити, що у останнім часом професором В.І. Перед експериментально-теоретично обґрунтовано параметри, розроблено та впроваджено у виробництво конструкцію принципово нового подрібнювача-змішувача грубих кормів вертикального типу з жорстким кріпленням ножів та підпружиненими протирізами. Зазначений подрібнювач може бути застосований і у схемі сучасного зернозбирального комбайна. Переважна кількість вищевказаних авторів вивчали подрібнення грубостебельних культур, тоді як по подрібненню тонкостеблових соломистих матеріалів, особливо у схемі зернозбирального комбайна, робіт виконано мало.

Великий інтерес має робота Ю.М. Шидловського [31], який досліджував одноцільовий навісний подрібнювач соломи типу ІСН-3,5 до зернокомбайна, подрібнюючий барабан якого оснащувався шарнірними ножами і мав подавальний і підпресовуючий пристрій.

Дослідженню подрібнювача також присвячено роботу А.Ф. Кононенко [32]. Довжина подрібнених частинок є одним із основних якісних показників роботи подрібнювачів. Теоретичне визначення довжини частинок не становить труднощів, якщо стебла мають постійну орієнтацію щодо подрібнювальних пристроїв. У цьому напрямі інтерес представляє робота М.П. Петінової [6], яка на основі теорії ймовірності досліджувала розподіл довжин соломистих частинок у подрібненій масі за умови орієнтованої подачі стебел. Однак у сільськогосподарському виробництві переважають процеси подрібнення, коли стебла потрапляють під ніж при різній орієнтації їх у просторі. Характер руху до подрібнювача за клавішами соломотрясу комбайна стохастичний і не відповідає прийнятим припущенням у наведеній роботі.

Інтерес представляє також робота З.І. Курцер [15], який досліджував процес подрібнення хлібної маси стосовно перспективних індустріальних способів збирання зернових культур.

З робіт, які стосуються безпосередньо проблемі збирання незернової частини врожаю, слід зазначити також роботу В.П. Лугового [22], що провів дослідження, що забезпечили розробку оригінального універсального фуражиру типу УФ-2.

Наукову та технічну новизну є також робота А.Ш. Джамбуршина за створення нової рулонної технології прибирання та технічних засобів для її виконання [30].

Аналіз робіт показує, що безпосередньо до зернозбирального комбайна розроблено цілу низку різних навісних подрібнювачів та технічних засобів для збирання. Більшість конструкцій розроблено без належних теоретичних та експериментальних досліджень, що стримує їх удосконалення та подальший розвиток. Подальшим завданням є обґрунтування та вибір раціонального подрібнювального апарату до комбайна [5].

1.2. Аналіз подрібнювальних пристроїв та вибір доцільних конструкцій

Більшість подрібнювачів НЧВ було створено випадково, спираючись на інтуїцію конструктора, без теоретичних обґрунтувань та експериментальних досліджень.

В даний час більша частина зернозбиральних комбайнів, як у нашій країні, так і за кордоном оснащуються навісними подрібнювачами соломи, тому теоретичні та експериментальні дослідження та узагальнення робіт із зазначених пристроїв необхідні [7].

Робиться спроба провести класифікацію конструкцій подрібнювачів до комбайнів за конструктивно-технологічними ознаками, дати їх аналіз, намітити шляхи вдосконалення та вибрати прийнятну схему подрібнювального апарату НЧВ до комбайна. Класифікація дозволить систематизувати конструкції подрібнювачів, дати картину та історію їх розвитку та полегшить завдання їх аналізу [5].

Історія розвитку навісних подрібнювачів соломистих продуктів почалася за кордоном у 30...40 роках [26-30], коли виникла потреба подрібнювати солому та розкидати її по полю. Закордонні подрібнювачі до комбайнів виконуються у вигляді приставок, які продаються замовнику за його бажанням.

Класифікаційна деревоподібна графом модель подрібнювачів соломи до комбайна показана на рис. 1.2.

Для більш повного огляду конструкцій подрібнювачів (1) та аналізу технологічного процесу їх можна класифікувати за наступними конструктивно-технологічними ознаками: а) за способом руйнування соломистих продуктів (2);

б) за наявності обгінної муфти на подрібнюючому органі (3); в) з конструктивного виконання подрібнювальних апаратів (4); г) щодо конструктивного виконання подавальних та підпресовувальних пристроїв (5); д) по можливості транспортування соломистої маси подрібнюючим барабаном у

візок (6); е) наскільки можна регулювання ступеня подрібнення соломистих продуктів (7).

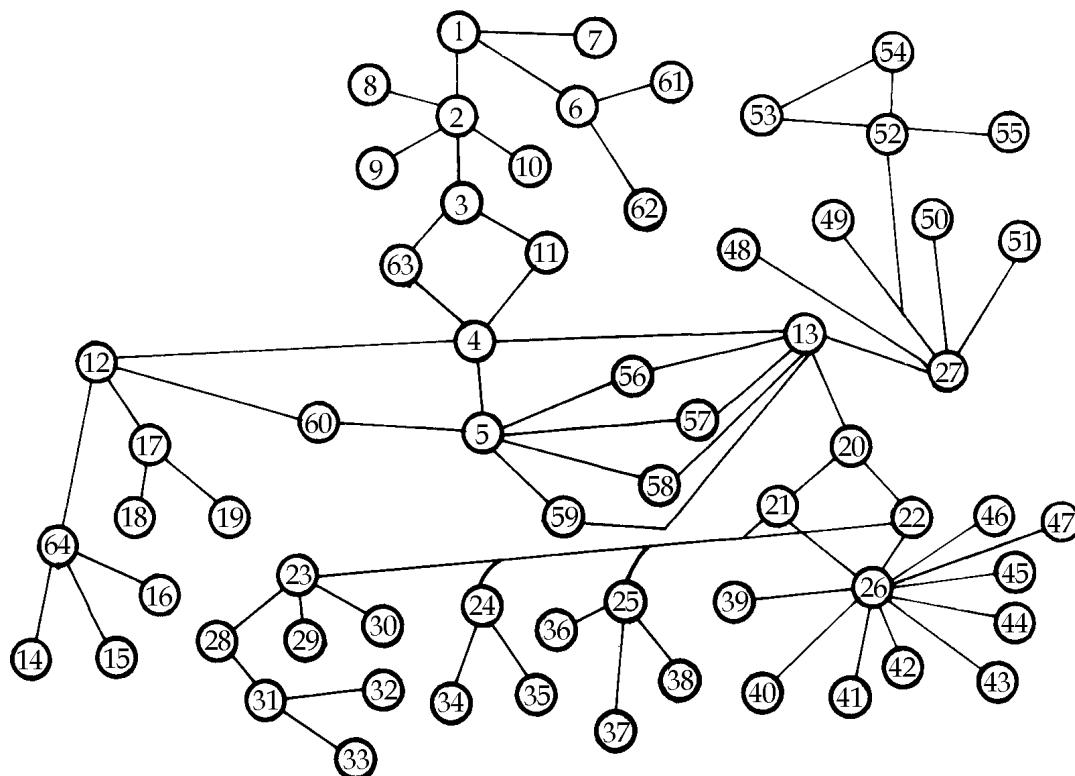


Рис. 1.2. Класифікаційна деревоподібна графом модель подрібнювачів соломи до комбайна.

Практично кожен подрібнюючий апарат забезпечує комбіноване подрібнення соломи. Однак, у тій чи іншій конструкції апарату переважає або різання (8), або розрив (9), або комбінований спосіб подрібнення соломи (10) (різання, розрив, зминання, кручення і т.д.). Тому з метою полегшення аналізу конструкцій подрібнювачів будемо умовно розділяти подрібнювальні апарати за способом руйнування соломистих матеріалів залежно від виду подрібнення, що переважає: різання, розрив або комбіноване [18].

За наявності обгінної муфти на подрібнюючому органі (3) подрібнювачі забезпечуються обгінною муфтою (63) або виконуються без неї (11).

За конструктивним виконанням (4) подрібнювальні апарати поділяються на подрібнювачі-вентилятори (12) та барабанні подрібнювачі (13).

Подрібнювачі-вентилятори (12) за розташуванням (64) поділяються на вертикальні (14), похилі (15) та горизонтальні (16). Крім того, подрібнювачі-вентилятори поділяються на різновиди розташування ріжучих елементів (17): а) з ножами на лопаті ротора та протиріжучим пристроєм усередині кожуха вентилятора (18); б) з ножами на валу ротора і протиріжучим пристроєм, на горловині (19) [1].

Вертикальні подрібнювачі-вентилятори (12) були розроблені (додаток А, а, б) для самохідних комбайнів і причіпних комбайнів [27].

Незважаючи на значну енергоємність, конструкторів залучали вищеописані типи подрібнювачів соломи внаслідок їх простоти конструкції, компактності, високого ступеня подрібнення соломи (5) та поєднання в одному робочому органі двох процесів: подрібнення НЧВ та транспортування її в причеплену ззаду комбайна або поруч з ним візок [4].

Незважаючи на зазначені вище переваги вертикальних подрібнювачів-вентиляторів, багаторічні їх дослідження, наприклад, на причіпному комбайні показали, що вони мають низьку експлуатаційну надійність, що виключає застосування їх в даний час в конструкціях зернозбиральних комбайнів [5].

Потрапивши в подрібнюючий апарат сторонні тверді предмети, (гайки, болти і т.д.) практично повністю виводили його з ладу, оскільки спостерігалася істотна деформація лопатей ротора та руйнування протиріжучих ножів. Посилення конструкції ротора подрібнювача-вентилятора, а також введення запобіжних елементів, що унеможливають поломки ріжучих частин ротора, не увінчалися успіхом [7].

Експериментальні дослідження показали, що при встановленні зазору між різальним лезом ножа та протирізом у межах 1,2...2 мм навіть при холостому прокручуванні подрібнювача, при окружній швидкості 40...50 м/с, спостерігається дотик ножа до протирізів. Це пояснюється дією внутрішньої напруги в несучому диску і лопатях під дією відцентрових сил. Експлуатаційну надійність подрібнювача-вентилятора можна підвищити шляхом посилення несучого диска і лопаток і введенням у конструкцію лопаток шарнірних ріжучих

елементів, що взаємодіють з протирізальними, що встановлюються на кожусі перпендикулярно осі ротора. Такого типу подрібнювачі добре вписуються у схему зернозбирального комбайна [30].

З похилих подрібнювачів-вентиляторів (11) відомі конструкції [28, 29]. Такі подрібнювальні апарати конструктивно виконувались з двох ножів, закріплених на валу ротора і взаємодіють з трьома протирізами, встановленими у горловини, що всмоктують (додаток А). Подрібнювач-вентилятор встановлювався похило з метою забезпечення кращих умов уловлювання схожих з соломотрясу та очищення частинок полови та соломи.

Висновки до розділу

1. Вертикальні подрібнювачі-вентилятори з примусовою подачею НЧВ та встановленням протирізів усередині кожуха мають незадовільну експлуатаційну надійність, що на даному етапі виключає їх застосування. Удосконалення вертикальних подрібнювачів-вентиляторів доцільно вести шляхом створення шарнірно підвішених ножів на лопатях ротора і пружності протиріжучих елементів.

2. Похилі та горизонтальні подрібнювачі-вентилятори з установкою протирізів у зоні всмоктувальної горловини та з пасивною подачею в знижують пропускну здатність молотарки комбайна внаслідок нестійкого протікання технологічного процесу.

3. З метою забезпечення стійкого протікання технологічного процесу при подачі шнеком у вентилятор кінцеву частину шнека рекомендується не доводити до всмоктування вікна вентилятора, при цьому шнек необхідно закріплювати консольно.

4. Конструкція шарнірного ножа подрібнювача соломи типу не забезпечує надійного протікання технологічного процесу, вимагає великих енерговитрат на процес, ріжуча кромка сегмента швидко затуплюється, що призводить до зниження продуктивності збирального агрегату.

5. Для забезпечення стійкого протікання технологічного процесу подрібнювального апарату з шарнірними ножами рекомендується ріжучі кромки ножа виконувати прямими і розташовувати їх у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі барабана. Конструкція ножа не повинна мати виступаючих елементів, що збільшують енерговитрати на тертя, генерацію повітряних потоків і шуму і перешкоджають відразу продуктів з ножа.

6. Лопатку шарнірного ножа, що служить для створення повітряного потоку, з метою зменшення тертя маси по кожуху та виключення її заклинювання, доцільно розташовувати з деяким нахилом або радіально.

7. З метою забезпечення надійного протікання технологічного процесу при роботі на соломистій масі з різною вологістю лопатку шарнірного ножа в радіальному напрямку необхідно доводити до кінця ріжучих кромок ножів.

8. Для зменшення зносу ріжучих кромок ножів та зниження необхідної потужності на техпроцес необхідно кут протягування маси по напрямних елементах зменшувати до гранично можливого мінімуму.

9. Ріжучі кромки ножів, особливо барабанів, що подрібнюють, що здійснюють одночасно подрібнення і транспортування в транспортні засоби, швидко затуплюються і зношуються. Потрібно знайти ефективні способи підвищення зносостійкості і самозаточуваності ножів.

10. Багатобарабанні подрібнювальні апарати складні у виготовленні та металомісткі, трудомісткі в експлуатації, ремонті та схильні до забивання на зволоженій масі. Встановлювати багатобарабанні подрібнювальні апарати в зоні вище за клявішу соломотрясу не рекомендується.

11. За якісними, енергетичними та експлуатаційними показниками перевагу мають подрібнювачі з однобарабанними, багатоножовими подрібнюючими апаратами як з жорсткою, так і шарнірною підвіскою ножів. За простотою конструкції та технологічною працездатністю барабани з жорсткими ножами кращі. Тому як доцільний подрібнюючий апарат до комбайна доцільно прийняти подрібнюючий апарат з жорсткою підвіскою ножів за типом подрібнювача [20].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ АПАРАТІВ

2.1. Дослідження подрібнювальних апаратів НЧВ

При розробці подрібнювальних апаратів соломистих продуктів гнучких пристроїв до зернозбирального комбайна вихідною, основною вимогою до нього є якість подрібнення і розщеплення маси, яка використовується на корм, підстилку і промислову переробку. Якість подрібнення регламентується агротехнічними вимогами та технічним завданням на машину, що розробляється. Відповідно до діючих агрономічних гнучке пристрій повинен забезпечувати довжину різання двох розмірів: для згодовування - 30 ... 50 мм і для підстилки - 100 ... 200 мм (допускається в подрібненій масі 10 ... 15% стебел довжиною більше 200 мм). Розщеплення вздовж волокон і руйнування вузлів має бути не менше ніж у 70% стебел. Проте більшість наукових праць присвячено дослідженню енергоємності процесу подрібнення, незважаючи на те, що витрати енергії не обумовлюються та не регламентуються у технічному завданні та агротехнічних вимогах [13-15].

Ясно, що при створенні подрібнювальних апаратів необхідно прагнути мінімальної енергоємності технологічного процесу, проте якісним показником процесу, що задається технічним завданням, необхідно приділяти першорядну увагу. У цій роботі основними критеріями вибору оптимальної конструкції подрібнювального апарату були: якість подрібнення та розщеплення, енергоємність, простота конструкції, технічна та технологічна надійність [27].

Найважливішою характеристикою ступеня подрібнення є розподіл фракцій частинок за класами довжин. Соломиста маса на вході та виході подрібнювального апарату може складатися з великої кількості класів довжин частинок, що варіюються від субмікронної області до верхньої межі, що залежить від передісторії утворення соломистих частинок на етапах поле – подрібнювальний апарат [31].

Найбільш наочним та прийнятним методом подання розподілу частинок за класами довжин є матричний. Однією з переваг його є те, що числові значення фракції розподілу довжин частинок можна зчитувати безпосередньо, не вдаючись до будь-яких графічних чи математичних дій. Соломисті частинки рухаються клавішами соломотрясу хаотично, без вираженої орієнтації. При вході в подрібнюючий апарат та подальшому русі, аж до подачі в транспортний засіб, соломини піддаються неодноразовому руйнуванню та деформаціям за рахунок впливу різних елементів робочих органів гнучкої системи. Процес роботи подрібнювального апарату можна розглядати як сумарний вплив численних одноразових подій, що повторюються і не повторюються, що визначаються механікою роботи подрібнюючого апарату і транспортуючих робочих органів гнучкої системи [16].

Технологічний процес подрібнення соломистих частинок носить стохастичний характер і його можна вважати марковським. Це обґрунтовується випадковим характером взаємодії соломистих частинок та робочих органів подрібнювального апарату, а також випадковим характером розподілу подрібнених частинок соломи за крупністю у вихідних та кінцевих формах. Слід зазначити, такі основні характеристики якості подрібнення соломистій маси, як середній розмір частинок, диференціальна функція розподілу частинок за класами довжин, еквівалентні таким характеристикам випадкових процесів, як математичне очікування і щільність розподілу ймовірності [23].

Якщо прийняти, що за фіксований проміжок часу t в подрібнюючий апарат потрапляє вихідна соломиста маса M_0 , а після проходження через апарат виходить нездрібнена маса M_t , то маса соломи $(M_0 - M_t)$, подрібненої на момент t , є функцією M_0 і t , тобто кінетичне рівняння процесу набуде вигляду [5]:

$$(M_0 - M_t) = F(M_0 t) \quad (2.1)$$

Аналіз процесу подрібнення показує, що для того, щоб соломину виявилася перерізаною або розщепленою, необхідне одночасне поєднання двох подій: соломину і ніж барабана або соломину, ніж барабана та ножі протиризу повинні увійти в дотик один з одним з ймовірністю p_1 і соломину зруйнується

від дотику ймовірністю p_2 . Тоді повна ймовірність P [16, 27] подрібнення частинки, наприклад, за один оберт барабана, складе $P=p_1p_2$, а маса подрібнених частинок визначиться з рівняння:

$$M'_t = P(M_0 - M_t) \quad (2.2)$$

Припустимо, що ймовірність P перерізання соломини стала для кожного обороту барабана і не залежить від M_0 . Якщо ймовірність того, що соломини не перерізається і не розщеплюється за один оберт барабана, то на підставі теореми множення ймовірностей незалежних подій маса M_m соломистих частинок, не перерізаних за m -й оберт барабана, складе [2, 8, 21, 26]:

$$M_m = M_0(1 - p)^m \quad (2.3)$$

Ножі барабана, що подрібнює, впливають на шар соломи, що сходиться з клавішею соломотрясу. При цьому ножі за кожен оберт по суті здійснюють дві основні операції: відбір соломин для подрібнення і подальше подрібнення від удару вліт і при взаємодії з пристроєм, що протирижить. Кількісно першу операцію відбору соломин можна оцінити ймовірністю $p(l)$ подрібнення частинок розміром l на n -му етапі процесу подрібнення, яка залежить від розмірів частинок. Другу операцію можна охарактеризувати кумулятивним розподілом $K_p(x,y)$ у діапазоні крупності $x < y$ маси частинок, отриманих в результаті подрібнення маси соломин розміром l [26].

Таким чином, перша функція визначає ймовірність подрібнення соломин на одному кроці процесу подрібнення, а друга функція характеризує розподіл подрібнених частинок у різних інтервалах довжин, що виникають внаслідок подрібнення одиниці маси «батьківських» частинок. Парний вибір соломин та їх руйнування є багатокроковим процесом. Після кожного чергового кроку функція розподілу соломистих частинок $K_{pn}(x)$ перейде у нову функцію K_{pn+1} тощо [14].

На підставі викладеного процес подрібнення соломистих продуктів можна представити матричною, дискретною моделлю. Сутність кінетичної моделі полягає в тому, що в ній процес подрібнення відбувається безперервно, а ступінь подрібнення підвищується в залежності від часу перебігу процесу [17].

Модель подрібнення можна у матричному вигляді [1, 2] як багатокроковий процес актів руйнування соломин, у якому вихідною масою кожного акта є попередня соломиста маса. Матрична модель, стосовно подрібнювальних апаратів НЧУ, базується в основному на двох поняттях характерних для стохастичних процесів: ймовірності подрібнення (функція вибору) і характеристичного розподілу соломистих частинок по фракціях довжин (фракція подрібнення або розподілу) [4].

Розподіл по фракціях довжин, що входить в подрібнюючий апарат соломистій маси і виходить з нього, можна представити таким виразом:

$$\left. \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ n \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ Z_n \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_n \end{matrix} \right\} \quad (2.4)$$

де 1, 2, 3, ..., n - множина, що визначає клас фракцій; $Z_1...Z_n$ – вхідна НЧВ; $I_1...I_n$ - НЧВ, що виходить після подрібнювального апарату.

Соломисті частинки всіх фракційних класів, що входять у подрібнюючий апарат, під впливом робочих органів подрібнюються з певною ймовірністю, причому очевидно, що за рахунок стохастичності одержувані фракції довжин соломин можуть потрапляти в будь-який прийнятий клас довжин подрібненої маси. Виходячи з викладеного, загальний баланс соломистій маси, що надійшла в подрібнюючий апарат, і вийшла з неї можна представити наступним виразом [28]:

$$\left. \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ n \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ Z_n \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} I_{1,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ I_{2,1} & I_{2,2} & 0 & \dots & 0 \\ I_{3,1} & I_{3,2} & I_{3,3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_{n,1} & I_{n,2} & I_{n,3} & \dots & I_{n,n} \end{matrix} \right\} \quad (2.5)$$

Права частина вираз (2.5) характеризує сумарний вихід подрібненої маси по фракціям довжин, Перший стовпець характеризує отриманий після подрібнення фракційний склад соломистої маси, що відноситься до I класу

фракцій, $I_{2,2}...I_{n,2}$ - до 2 класу фракцій і т .д. У лівій частині виразу (2.5) $\sum_1^n Z_i$ являє собою кількість солонистій маси, що увійшла в подрібнюючий апарат. Фракційний елемент $I_{1,1}$ з рівняння (2.5) можна уявити I_{ij} , де i характеризує клас фракції, в якій частка з'являється, а j характеризує клас фракцій солонистій маси, що живить [28]. Виходячи з викладеного, елемент солонистих частинок I_{ij} можна уявити рівнянням:

$$I_{ij} = M_{ij} Z_i \quad (2.6)$$

де M_{ij} - масова частка фракцій i класу входу солонистої маси, що перейшла до класу j вже подрібненої маси.

Тоді рівняння (2.5) можна записати у такому вигляді:

$$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ n \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ Z_n \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} M_{1,1} \cdot Z_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ M_{2,1} \cdot Z_1 & M_{2,2} \cdot Z_2 & 0 & \dots & 0 \\ M_{3,1} \cdot Z_1 & M_{3,2} \cdot Z_2 & M_{3,3} \cdot Z_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{n,1} \cdot Z_1 & M_{n,2} \cdot Z_2 & M_{n,3} \cdot Z_3 & \dots & M_{n,n} \cdot Z_n \end{matrix} \right\} \quad (2.7)$$

Процес подрібнення солонистої маси у формі скороченого запису матричної математичної моделі має вигляд:

$$U = MZ \quad (2.8)$$

А у розгорнутому вигляді:

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ M_{2,1} & M_{2,2} & 0 & \dots & 0 \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{n,1} & M_{n,2} & M_{n,3} & \dots & M_{n,n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{1,1}Z_1 + 0 \dots + 0 \\ M_{2,1}Z_1 + M_{2,2}Z_2 + 0 \dots + 0 \\ M_{3,1}Z_1 + M_{3,2}Z_2 + M_{3,3}Z_3 \dots + 0 \\ \vdots \\ M_{n,1}Z_1 + M_{n,2}Z_2 + M_{n,3}Z_3 \dots + M_{n,n}Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Технологічний процес відбору подрібнюючим барабаном солонистих частинок для подрібнення при сході їх, наприклад, з комора, що клала соломотряса, протікає так, що ножі барабана за кожен прохід захоплюють певну

частину соломин різних класів фракцій по довжині. Інша частина соломин просто не захоплюється ножами і може рухатися не руйнуючись по ходу технологічного процесу або, наприклад, пройти без деформацій через міжніжні простори барабана, що подрібнює, і потрапити на транспортуючі органи. Математична модель функції відбору соломин ножами для подрібнення у матричній формі має вигляд [3, 8, 18]:

$$\begin{bmatrix} D_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & D_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & D_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 Z_1 \\ D_2 Z_2 \\ D_3 Z_3 \\ \vdots \\ D_N Z_n \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

де $D_1, \dots, D_n$ – частка частинок соломи прийнятих класів фракцій, що захоплюється ножами для подрібнення;

$D_1 Z_1 \dots D_n Z_n$ – маса подрібнених частинок соломи прийнятих фракційних класів (Чі).

З математичної моделі випливає, що маса подрібнених соломистих частинок визначиться з рівняння:

$$\text{Ч}_{\text{и}} = DZ \quad (2.11)$$

де D – матриця функції захоплення; Z – матриця вхідних соломистих мас за фракційними класами.

Маса неподрібнених соломистих частинок ($\text{Ч}_{\text{ні}}$), що випадково пройшли через подрібнюючий апарат:

$$\text{Ч}_{\text{ни}} = (1 - D)Z \quad (2.12)$$

Виходячи з викладеного, математична модель процесу вибору та подрібнення соломистих частинок набуде вигляду;

$$H = M'DZ + (1 - D)Z = (M'D + 1 - D)Z \quad (2.13)$$

де M' – частка фракцій за масою і класу входу НЧУ, що зазнає подрібнення.

2.2. Рух соломи в подрібнювальний апарат

Теоретично стебла соломи можуть подаватися в подрібнюючий барабан за чотирма схемами з орієнтацією щодо осі обертання подрібнюючого барабана: перпендикулярно, паралельно, під одним переважним кутом, під різними кутами (змішана подача). У першому випадку ріжучу кромку доцільно розташовувати паралельно або під кутом до осі барабана, у другому і третьому випадках - перпендикулярно і під кутом, у четвертому випадку ріжучу кромку можна розташовувати за всіма перерахованими вище способами. Вивчення взаєморозміщення стебел соломи на клавішах соломотрясу показує, що вираженого розташування стебел з переважним кутом їх орієнтації не спостерігається. Соломистий купа пронизується стеблами соломи в різних напрямках і стебла потрапляють в подрібнюючий апарат з різними кутами орієнтації. Одним із критеріїв вибору оптимального подрібнюючого апарату є його простота, і, зокрема, простота та дешевизна ріжучого елемента. Доцільно, щоб конструкція ножа дозволяла виготовляти автоматизованим способом. Виходячи з викладеного та враховуючи характер руху соломистої маси, найбільш доцільно ріжучий ніж розташовувати перпендикулярно осі обертання подрібнюючого барабана [15, 20].

2.3 Дослідження впливу розташування подрібнюючого барабана по відношенню до сепаруючих органів комбайна

З метою використання гравітаційних сил для покращення захоплення соломистої маси ножами барабана, доцільно подрібнюючий барабан встановлювати нижче клавішою соломотрясу. Якщо барабан встановлювати вище клавішею соломотрясу, то спостерігатиметься гальмування соломистого вороху, а це призведе до нерівномірної роботи або забивання подрібнювального апарату, що видно за схемою (рис.2.1, а), а також збільшення втрат зерна соломотрясом. Однак, встановлення барабана вище клавішою може призвести

до спрощення схеми і конструкції подрібнювача. Швидкість дії ножів барабана на шар соломи визначається формулою [2, 5, 10]:

$$V_{\text{воз}} = V_p \cos \gamma \quad (2.14)$$

де V_p - результуюча швидкість, рівна

$$V_p = \Phi(\theta) = V_{\text{сл}}^2 + V_{\text{б}}^2 + 2V_{\text{сл}}V_{\text{б}} \cos \theta \quad (2.15)$$

При $\gamma = \pi/2$, $V_{\text{воз}} = 0$

Подальший аналіз показує, що умови $V_{\text{воз}} = 0$ можна досягти двома способами: збільшенням діаметра барабана і відповідно зміщенням центру його обертання вгору на рівень або трохи вище верхньої кромки руху соломистого вороху або введенням звужуючих пристроїв, що стискають соломистий шар з розміру h до h_0 .

При реалізації зазначених способів ускладнюється і обтяжується конструкція, при цьому не виключається негативний вплив повітряних потоків, створюваних подрібнюючим барабаном (перший спосіб) і подающе-звужують пристроїв (другий спосіб) на сепаруючу дію соломотрясу молотілки [11, 15].

Установка подрібнюючого барабана вище клавішою соломотрясу можлива також за умови зниження окружної швидкості ножів барабана $V_{\text{б}}$ до величини швидкості руху грубого вороху соломотрясом. У цьому випадку відразливе дія барабана на купу значно знижується. Для цього випадку окружна швидкість ножів барабана становить [3]:

$$V_{\text{б}} = kV_{\text{с.г.}} \quad (2.16)$$

де $V_{\text{с.г.}}$ - швидкість руху грубого вороху по соломотрясу; k – коефіцієнт, що враховує виняток заторів маси, $k \approx 1,5 \dots 2$.

У цьому випадку подрібнення соломи може здійснюватися шляхом так званого ножицького різання. За рахунок різкого зменшення відцентрових сил можливе намотування соломистої маси на барабан і перекидання її у бік соломотрясу (рис. 2.1, б). Для видалення подрібненої соломи з барабана в цьому

випадку необхідно встановлювати додатковий високооборотний робочий орган, наприклад, лопатевий бітер. Вказане вище конструктивне рішення подрібнювального апарату можливе, але воно технологічно вимагає високої точності взаєморозташування ріжучих і протиріжучих елементів. При цьому не виключаються випадки поломки ріжучих елементів при попаданні в подрібнюючий апарат навіть дрібних деталей, наприклад, болтів, гайок і т.д., тобто такий подрібнюючий апарат матиме недостатню експлуатаційну надійність [28, 29].

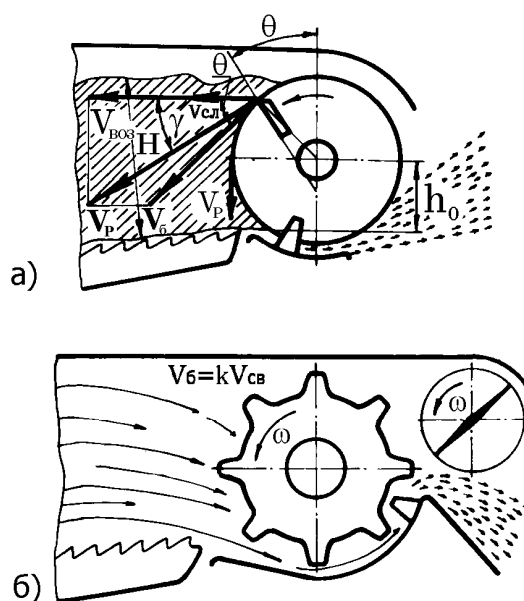


Рис. 2.1. Схеми до обґрунтування розташування подрібнюючого барабана щодо клавiш соломотрясу (а) та встановлення барабана з «ножичним» різанням (б).

Таким чином, з метою забезпечення надійного перебігу технологічного процесу та зменшення впливу на роботу соломотрясу подрібнюючий барабан доцільно встановлювати нижче клавiшою соломотрясу [10].

Вибір оптимального розташування подрібнюючого барабана по відношенню до клавiш соломотрясу відіграє велику роль, так як невдало розташований барабан погіршує працездатність подрібнювального апарату, соломотрясу та очищення комбайна [18, 20].

Відомо [19], що з теоретичному моделюванні глибоко вивчаються фізичні закономірності процесів, виходячи з чого з допомогою диференціальних рівнянь складаються математичні моделі процесів. Отримані при цьому моделі описують процеси в широкому діапазоні зміни їх параметрів, що є найбільш істотною гідністю таких моделей. Однак у багатьох випадках математичні моделі, розробки яких робиться ряд припущень, при практичному застосуванні не дають очікуваних результатів щодо необхідної точності. Вихідне диференціальне рівняння, зазвичай, точно описує процес, але прийняті припущення різко знижують точність. Отримані таким чином рівняння є приблизними й уточнення коефіцієнтів вимагають обов'язкового проведення експериментів.

Статистичне моделювання називають ще кібернетичним, оскільки у своїй вирішується завдання створення моделі за наявності неповної інформації про об'єкт, що найчастіше спостерігається під час створення конкретних технічних засобів. Швидкість створення моделі технічного пристрою з великою кількістю параметрів та оптимізація його за допомогою цієї моделі роблять статистичні методи дуже ефективними [6].

Виходячи з викладеного, доцільно застосовувати кібернетичні методи планування експерименту [11-15], що дозволяють значно інтенсифікувати дослідницькі роботи, скоротити терміни та витрати на експериментальні роботи, підвищити достовірність висновків за результатами дослідження, глибше проникнути в сутність процесів, розробити та впровадити гнучкі технічні засоби з високими техніко-економічними характеристиками. Ці роботи планується виконати нами надалі.

Аналіз показує, що технологічні процеси прибирання та використання НЧВ є стохастичними та не мають добре розробленої теорії. Для дослідження зазначених процесів перспективними є методи статистичного опису та статистичної оптимізації, що дають можливість, абстрагуючись від невивченої сутності процесу, оптимізувати його. Є два підходи статистичного дослідження стохастичних процесів: регресійний аналіз та планування багатофакторного

експерименту. Регресійний аналіз базується на обробці результатів так званих «пасивних експериментів», при цьому передбачається, що дослідник веде спостереження за деяким процесом, що змінюється. Під час проведення багатofакторних експериментів математичним методам відводиться активна роль і потрібно проведення «активних експериментів» [8].

Специфіка прибирання та використання НЧВ обумовлює такі характерні риси технічних засобів та комплексів машин: наявність великої кількості факторів, що впливають на перебіг технологічного процесу та відсутність контролю над частотою впливів, що обурюють; обмеженість теоретичних уявлень та неповнота інформації про закони зв'язку між параметрами процесу та їх характеристиками; значне запізнення у часі між контролем параметрів на вході процесу та його характеристик на виході; порівняно вузькі межі коливань параметрів при технологічному процесі, що встановився [9, 10].

З урахуванням перелічених вище характерних рис, найбільш ефективним методом для побудови математичної моделі функціонування технічних засобів можна вважати

2.4. Дослідження живильних пристроїв подрібнювального апарату

Відомо, що функція живлячих (що подають і підпресовують) пристроїв полягає в захопленні, ущільненні та примусовій подачі соломистої маси під ножі подрібнювального апарату та утриманні маси поки що здійснюється процес різання [19, 28, 29]. Слід зазначити, що пристроями, що живлять, постачалися в основному подрібнювальні апарати [19, 28, 29], що здійснюють подрібнення соломистої маси і одночасне транспортування її в транспортні засоби .

Проведений нами аналіз показав, що робота вальців, що живлять, супроводжується гальмуванням соломи і відштовхуванням її в бік клавішею

соломотрясу, що видно з (рис.2.2 ,а). Діаметр вальців (D_6) визначається за такою формулою:

$$D_6 = H - h / \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right) \quad (2.17)$$

при цьому $f = \operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} \alpha$ де H - товщина соломистого вороху перед вальцями; h – товщина ущільненого купу після вальців; f – коефіцієнт тертя.

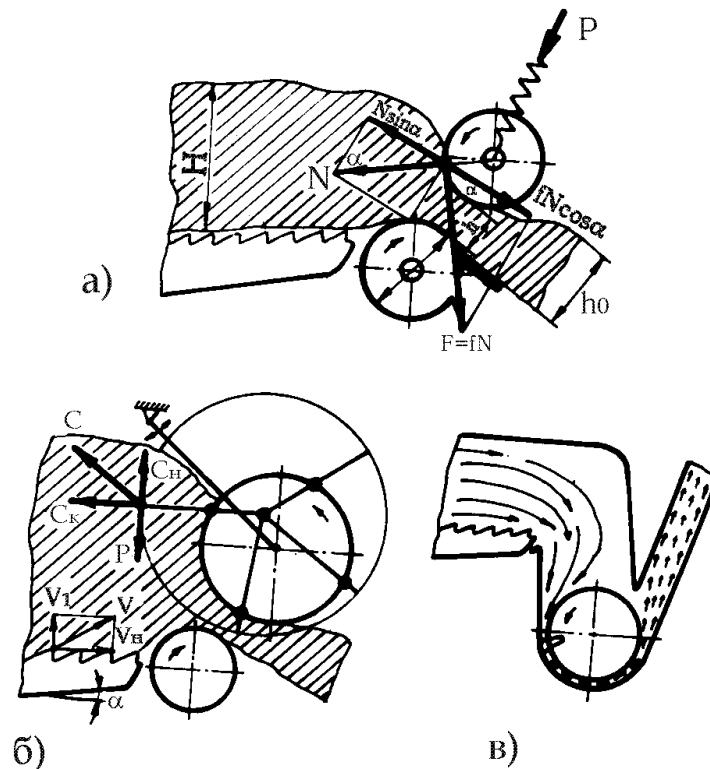


Рис. 2.2 До аналізу роботи пристроїв живлення: а – з вальцями; б - з пальчиковим механізмом; в - без пристроїв живлення.

Враховуючи значну товщину соломистого вороху, що рухається по клавішах соломотрясу (до 600...700 мм), діаметр верхнього вальця виходить більше товщини шару вороху. У цьому випадку, при зменшеному діаметрі верхнього вальця, активізацію захоплення соломистих частинок можна посилити застосуванням пальчикового механізму за типом шнека жнивarki комбайна (рис. 2.2, б), дія якого на шар вороха, що рухається, виявляється також негативним. При виході з живлячих вальців шар соломи релаксує, що призводить до неефективності підпресування; при цьому пальці верхнього

вальця розчісують масу, орієнтуючи стебла перпендикулярно поздовжньої осі подрібнюючого барабана, що недоцільно, оскільки призводить до погіршення якості подрібнення соломи і вимагає укладання ріжучих елементів ножа барабана. Гальмуючий ефект живильного пристрою на сепаруючу дію соломотрясу буде особливо позначатися при пульсуючих і пікових подачах вороху по соломотрясу за рахунок неминучого запізнення спрацьовування системи шарнірної підвіски верхнього вальця [7].

Аналіз показує, що при подрібненні соломистих продуктів з функцією захоплення можуть справлятися самі ножі барабана, що подрібнює. Внаслідок релаксації НЧУ ущільнювати шар не має сенсу. Примусову подачу соломи може здійснювати сам соломотряс. Таким чином, в принципі можлива робота подрібнювального апарату без живильних пристроїв [16].

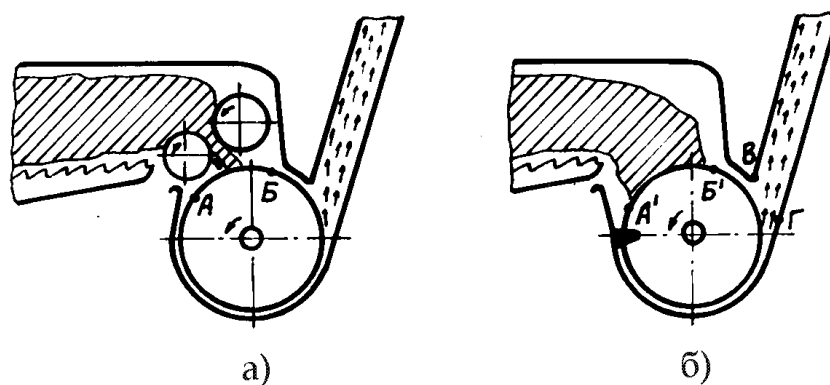


Рис. 2.3. До обґрунтування схеми подрібнювального апарату без живильних пристроїв.

При розробці подрібнювальних апаратів, що здійснюють викид подрібненої соломи в транспортні засоби, передбачалося [30], що живильне пристрій певною мірою герметизує відкритий ділянку барабана (рис. 2.3, а), що забезпечує створення необхідного напору повітряного потоку трубопроводі. Нами висловлюється гіпотеза про деяку герметизуючу роль рухомого потоку соломистої маси за відсутності пристрою живлення (рис. 2.3, б). При цьому на ділянці А-Б ножі барабана разом із соломною забиратимуть повітря, а на ділянці «В-Г» викидатимуть його разом із подрібненими частинками соломи [14].

Висновки по розділу

Таким чином, установка пристрою живлення перед подрібнюючими апаратами навісних подрібнювачів соломи до комбайна є недоцільною, так як погіршує сепаруючу дію соломотрясу, ускладнює рух маси, ускладнює і збільшує матеріаломісткість конструкції. Є причини стійкої роботи подрібнювального апарата без пристрою живлення. Застосування подавальних та підпресувальних пристроїв у подрібнювачах соломи до комбайнів не мало наукового обґрунтування, оскільки стебла соломи та солomиста купа за своїми параметрами та фізико-механічними властивостями значно відрізняються від стебел грубостебельчастих культур та кормових трав.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Дослідження взаєморозташування ножа барабана та протиріжучого елемента

При проектуванні барабанних подрібнювальних апаратів соломистих продуктів до комбайна перед конструктором виникають два варіанти взаєморозташування ножа барабана і протирізального елемента: з напрямком кута розчину ріжучої пари в бік осі подрібнюючого барабана і від неї, в бік протирізального пристрою. Для вибору оптимального варіанта розглянемо процес затискання та перерізання соломин між лезами, виходячи з теоретичних положень для ковзного різання, розроблених академіком В.П. Горячкіним [13]. Наявність протирізів дозволяє теоретично вдвічі зменшити роботу на подрібнення НЧУ.

Припустимо, що ніж барабана при подрібненні соломин взаємодіє з протирізом, закріпленим на стінці А (рис. 2.1 а) і кут розчину (затискання) ріжучої пари спрямований у бік барабана. Для забезпечення різання ножа барабана повинен бути нахилений у напрямку обертання на кут ковзання. Від величини цього кута залежить величина сили вздовж леза, що забезпечує різання, що ковзає. Дійсно, якщо ніж впливає на соломину з силою різання P (рис. 2.6.1,в), нормальною до радіусу - вектору, то сила N стискає соломину і рубає, а дотична сила C перерізає її зі ковзанням, при цьому. Якщо , то лезо ножа розташується радіально і подрібнення соломин буде здійснюватися за рахунок рубки [3].

Для збільшення складової сили ковзного різання необхідно, щоб при повороті ножа на кут різання θ (рис.2.1,а) кут ψ збільшувався від $\psi_{\min}$ до $\psi_{\max}$, що дотримується в даному варіанті. Однак при повороті ножа на кут θ зі збільшенням кута ковзання збільшується і кут затискання від $\gamma_{\min}$ до $\gamma_{\max}$. Для забезпечення затискання соломини при повороті ножа на кут θ необхідно, щоб виконувалася умова [22]:

$$\gamma_{\min} = \gamma_{\max} = \gamma_{\text{const}} \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (2.1)$$

або

$$\gamma_{\max} \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (2.2)$$

де φ_1 і φ_2 – кути тертя лез ріжучої пари.

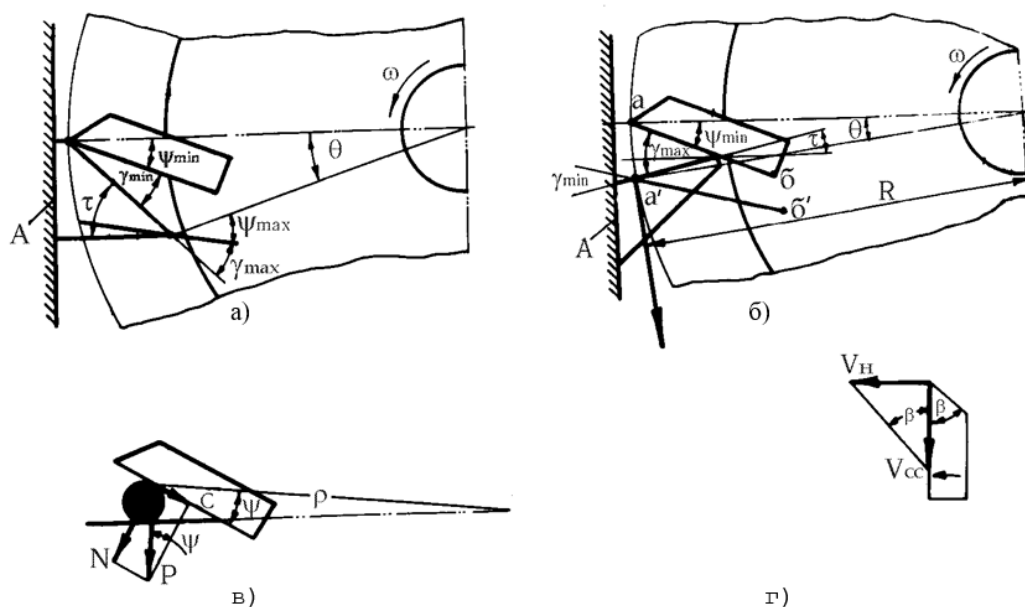


Рис.2.1. До обґрунтування взаєморозташування ножа барабана та протирізного елемента

Умову защемлення (2.2) можна здійснити, якщо, наприклад, ускладнити конструкцію протирізу та технологію його виготовлення, виконавши його лезо відповідною кривою, наприклад, логарифмічної спіралі. Однак у реальних умовах залежно від гостроти та затуплення лез ріжучих пар, вологості соломи та інших факторів, кут защемлення γ може мати різні значення. Автоматичне коригування кута защемлення в залежності від зазначених факторів у процесі роботи, з урахуванням зворотного зв'язку, на цьому етапі неможливе. Тому з вищевикладеного, ті соломини, які потрапляють під ніж, особливо у зоні вершини протирізу, можуть вислизати неперерізними з розчину ріжучої пари і цим погіршувати якість подрібнення і розщеплення соломи [6].

При розташуванні кута розчину ріжучої пари від барабана у бік протиріжучого пристрою (рис. 2.1 б) і при повороті ножа на кут θ кут ковзання $\psi_{\min}$ і кут затискання $\gamma_{\max}$ зменшуються до $\psi_{\min}$ і $\gamma_{\min}$. Якщо прийняти $\gamma_{\max} \leq \varphi_1 + \varphi_2$, то в цьому варіанті забезпечується затискання соломин протягом повного повороту ножа на кут різання θ . Однак при перерізанні соломин в зоні вершини ножа a' ковзна складова сили різання P зменшується, а нормальне стискаюче і рубає зусилля зростає [8]. Враховуючи те, що

$$P = J \frac{d\omega}{dt} : R \quad (2.3)$$

де J - момент інерції барабана, втрату ріжучих властивостей ножа в зоні його вершини, де в основному відбувається перерізання соломин, можна компенсувати збільшенням моменту інерції барабана або його кутової швидкості. Збільшення моменту інерції барабана пов'язано з ускладненням його конструкції і обтяженням. Так як в досліджуваному апараті ножі барабана подрібнюють солому не тільки при взаємодії з протирізами, але і ударом вліт по соломі при її захопленні в зоні соломотрясу, а величина ударного імпульсу, як відомо, залежить від кутової швидкості барабана, то з цього погляду зменшення ковзної складової сили різання бажано компенсувати збільшенням кутової швидкості барабана [13]. Для затискання соломин при повороті ножа на кут максимальний кут защемлення в даному варіанті має задовольняти умову (рис. 2.1,б):

$$\gamma_{\max} = \psi_{\min} + \tau \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (2.4)$$

якщо

$$\varphi_1 > \varphi_2, \text{ то } \gamma_{\max} = \psi_{\min} + \tau \leq 2\varphi_2 \quad (2.5)$$

Перерізані соломини в зоні вершини леза ножа можуть за певних умов також вислизати з розчину ріжучої пари, як і в раніше розглянутому варіанті. Однак у цьому випадку соломини на своєму шляху зустрічають упор у вигляді стінки А, завдяки якій вони накопичуються в кутку, підпресовуються ножем до

певної густини, а потім перерізаються. При роботі барабана для виключення тертя тильної сторони ножа масу при її захопленні мінімальний кут зрізу (рис. 2.1,г) визначається із співвідношення [25]:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V_H}{V_{c.c.}} \quad (2.6)$$

де – швидкість обертання ножа, – швидкість руху соломи із соломотрясу.

Таким чином, аналітичні дослідження показують, що розташування кута розчину ріжучої пари від барабана у бік протиріжучого пристрою доцільно. Однак проведені нами експериментальні дослідження в польових умовах показали, що при такому взаєморозташуванні ріжучих елементів істотно знижується технічна надійність подрібнюючого апарату при попаданні в нього сторонніх твердих предметів, так як в цьому випадку не забезпечується вислизання предметів, що випадково потрапили з розчину різальної частини. Більш високу технічну надійність забезпечує подрібнюючий апарат з напрямом кута розчину ріжучої пари у бік осі барабана, що подрібнює, що і є оптимальним. У цьому варіанті процесу затискання соломин сприяє також відцентрова сила, що діє частинки НЧВ. Встановлено, що кут розчину ріжучої пари доцільно задавати в межах 24...30°. [16, 25, 28, 29]

Важливе значення для забезпечення необхідної якості подрібнення НЧВ має вибір робочого зазору (кроку) між ножем та протирізом. Приблизно швидкість різання може бути визначена [16] з виразу (рис. 2.2):

$$V_p > R_s / \frac{3\Delta t E \int}{l\delta^2 \left(1 - \frac{\delta}{l}\right)} + m / \Delta t \quad (2.7)$$

де R_s - зусилля різання; m – маса стебла.

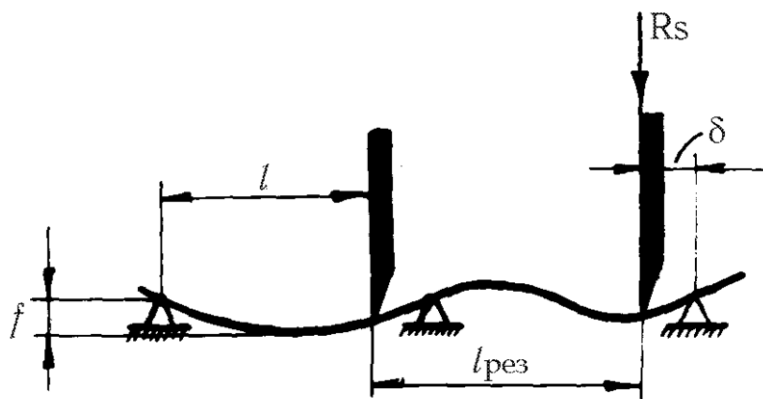


Рис. 2.2. До обґрунтування вибору кроку між ножем барабана і протирізом.

З рівняння слід, що необхідна швидкість перерізання соломин залежить від величини зазору "б" між ножем та протирізом. З зменшенням зазору «б» потрібна швидкість перерізання соломин знижується, а якість подрібнення підвищується, і навпаки. За наявності зазору спостерігається різання з вигином стебел. З збільшенням зазору втричі енергоємність процесу може підвищитися в 1,1 ... 1,25 рази [28].

Крок розміщення ножів та протирізів необхідно вибрати з умов отримання необхідної якості подрібнення соломи згідно з агровимогами та забезпечення регламентованої надійності подрібнювального апарату. З урахуванням зазначених факторів та отримання фракцій НЧУ в діапазоні довжин 30...50 мм (85...90%) для згодовування* експериментами встановлено, що крок ножів та протирізів доцільно встановлювати рівним 50 мм. В цьому випадку соломистих частинок з довжиною більше 50 мм не повинно бути більше 10...15% [5].

З зменшенням кроку збільшується ймовірність поломки ножів та протирізів при попаданні в подрібнюючий апарат сторонніх твердих предметів.

Для зернозбиральних комбайнів, наприклад, оптимальними умовами роботи є такі [12], при яких величина твердих предметів, що потрапляють у молотильний апарат, не повинна перевищувати 20 мм. Виходячи з цього, для забезпечення високої технічної надійності подрібнювального апарату і

виключення зниження продуктивності комбайна робочий зазор між ножами і протирізами рекомендується встановлювати в межах 23 ... 25 мм при кроці розміщення ножів, що дорівнює 50 мм. В цьому випадку деяке погіршення якості подрібнення соломи можна компенсувати збільшенням швидкості подрібнення [30].

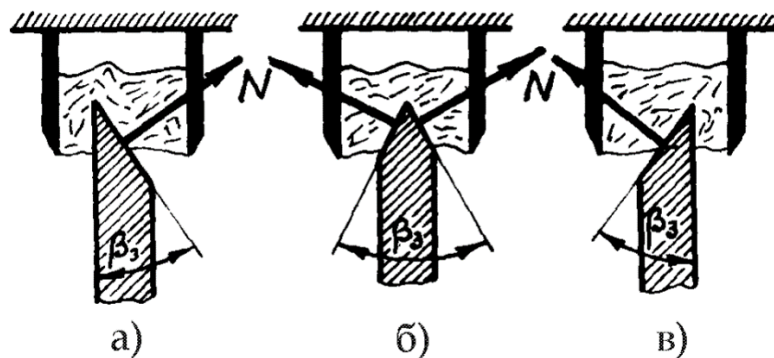


Рис. 2.3. До обґрунтування розташування заточування ножа щодо протирізу.

Таким чином, компромісне рішення передбачає регулювання зазору між ножем і протирізом. Конструктивно це вирішується переміщенням кожного протирізу, всього суперечного блоку або за рахунок осьового зміщення подрібнюючого барабана. Найбільш оптимальним є регулювання зазору шляхом переміщення протирізів.

Заточення ножів дозволяє зменшити опір різання приблизно 2 рази [28, 29]. З метою зменшення згинальних зусиль на ножах барабана і протиперезах і виключення осьових навантажень на вал барабана рекомендується двостороннє заточування ножів (рис.2.3, б), хоча трудомісткість виготовлення ножів підвищується в порівнянні з одностороннім заточуванням ножів (рис. 2.3, а, в) у разі застосування обробки у вигляді різання. При односторонньому заточуванні ножів питання посилення ріжучої кромки твердим сплавом для підвищення її довговічності та забезпечення самозаточування технічно вирішується дещо простіше в порівнянні з двостороннім заточенням.

Висновки до розділу

Експериментальними дослідженнями встановлено [28, 29], що при кроці розстановки ножів та протирізів 50 мм та зазорі 23...25 мм при подрібненні НЧВ пшениці «Безстая 1» з вологістю маси до 14% вихід фракцій частинок соломи в діапазоні довжин до 30 ...50 мм складає 86...90% і відповідає агровимогам, а при збільшенні вологості НЧВ до 20...30% за якістю подрібнення апарат не відповідає агровимогам. Зменшення зазору до 5...10 мм дозволяє отримати якість подрібнення зволоженої НЧВ, що відповідає агровимогам. У цьому випадку при роботі на прямому комбайнуванні технічна надійність подрібнювального апарату знижуватися практично не буде (при підборі валків з хлібною масою можуть потрапляти до подрібнювального апарату сторонні тверді предмети).

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення виконання нормативно-правових актів з охорони праці є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, та працівників підприємств, установ, організацій. Тому необхідно потурбуватись про те, щоб виконання вимог законодавства з охорони праці та трудової дисципліни пройшли на високому організаційному рівні без порушень нормативно-правових актів з охорони праці [34].

Необхідно пам'ятати, що відповідальність за створення на робочому місці безпечних умов праці та недопущення травмування працівників на виробництві покладається на керівників, які зобов'язані розробляти комплексні заходи щодо забезпечення вимог з охорони праці [34].

4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час збирання НЧВ

Поглянемо на жнивну ниву з точки зору охорони праці та безпеки життєдіяльності. Адже на підприємстві у цю гарячу пору збирається значна кількість різної с/г техніки. Загроза травмування учасників жнив механізмами завжди досить висока. Допускаються випадки знаходження на комбайнах неповнолітніх, працівникам не проводять інструктажів з питань охорони праці та електробезпеки [34].

Небезпеки які підчас роботи комбайна: Рухомі частини машин та агрегатів. Травмування при ремонті, регулюванні, технічному обслуговуванні й очищенні машин, агрегатів, вузлів і робочих органів. Перекидання машин і агрегатів. Наїзди. Зіткнення. Електронебезпека. Загоряння. Опіки. Падіння [35].

4.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час збирання НЧВ

При роботах на кормозбиральних комбайнах є необхідним дотримання наступних заходів безпеки: Особи, які не мають допуску до управління комбайнами, а також не пройшли спеціальні інструктажі, до роботи допускати забороняється. На комбайнах дозволяється перебувати в зручному і добре заправленому одязі та маючи захисні окуляри. Стороннім особам перебувати на комбайнах також заборонено. Вмикати двигун і рушати з місця комбайни дозволяється тільки в тих випадках, коли поряд відсутні люди, і тільки після подавання звукового сигналу. Проведення усіх регулювань та технічне обслуговування слід виконувати лише після повної зупинки комбайну і лише після вимкнення двигуна. Не дозволяється виправляти будь-що під жатками, якщо вони надійно не закріплені стійками та підпорками. Після проведення ремонтних робіт потрібно перевірити, чи не забутий який-небудь допоміжний інструмент. Забороняється зачіпати руками працюючі відкриті механізми та перебувати біля необгороджених шківів, які обертаються, працюючих ланцюгових передачів, пасів і зірочок [38]. Всі наявні захисні пристосування мають бути міцно закріплені на своїх відповідних місцях. Потрібно систематично здійснювати перевірки надійності гальмів, рульового керування та систем сигналізації. Після повної зупинки комбайнів важіль перемикачів передач потрібно перевести в нейтральне положення і обов'язково вимкнути молотарку. Забороняється буксирування комбайнів із ввімкненими передачами. Відкривати кришки радіаторів неохолоджених двигунів без використання рукавиць не можна. При заміні акумуляторних батарей потрібно особливо остерігатися потрапляння електроліту на одяг та незахищені частини тіла. Повороти комбайном потрібно виконувати при швидкостях не більш як 3 ... 4 км/год. На таких ж швидкостях припустимо пересуватися на схилах до 10°, під час туману або похмурою погодою [39]. При проведенні транспортування слід дотримуватись інтервал не менш як 30 м між самим комбайном та транспортом,

що їде спереду. Від зустрічного транспорту потрібно триматися на відстані 2 м з правої сторони. Рами комбайнів повинні бути заземленими при допомозі масивних металевих ланцюгів. Комбайн має бути забезпеченим набором справного допоміжного інструменту та аптечкою першої медичної допомоги з відповідними лікарськими засобами. Потрібно строго дотримуватись правил протипожежної безпеки, з огляду на це на комбайнах має бути комплект із двох вогнегасників, двох металевих лопат, мітл, брезент і бочка з водою (50 л). На випускную трубу двигуна комбайна має бути натягнуто іскрогасник і добре ущільнено випускний колектор. Комбайн потрібно утримувати в чистому стані та своєчасно проводити очищення від рослинних рештків. Кожного дня потрібно здійснювати перевірку справності електропроводки і не припускати забруднювання її мастилом і паливними матеріалами [37]. При проведенні заправки комбайнів потрібно стежити, щоб не допускати проливання паливних матеріалів. Місце для стоянки комбайнів, польовий стан, а також заправні пункти потрібно по всьому периметру обороти та забезпечити всіма протипожежними засобами, а також тракторами з плугами для обороти ділянок на випадок виникнення пожежі. При нічних зберіганнях комбайни мають знаходитися на відстані не менш як 20 м між собою. Забороняється: - проводити конструктивні зміни в комбайнах без погодження цього з відповідними органами; - розпочинати прибирання зернових на масивах, не розбитих на ділянки по 30...50 га повздовжніми та поперечними смугами завширшки 8 м і без виконання проорювань на ширину 4 м; - проводити вивантаження зерна в машини, що не облаштовані іскрогасниками; використовувати відра з метою заправляння паливних баків; - працювати на комбайнах без проведення регулювань систем живлення і запалювання; - рушати комбайном з місця, не вивільнивши стоянкове гальмо; - працювати із погано натягнутими пасами приводів варіаторів швидкості руху комбайнів; - проводити зварні роботи та палити пербуваючи на зернових масивах або на відстанях менших 30 м від них; - палити багаття на відстані ближче за 200 м від зернових масивів [32].

4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи збирального агрегату НЧВ

Отже, проаналізувавши та виявивши небезпечні зони можна змоделювати виникнення небезпечних умов, а в подальшому і ситуацій при недотриманні хоча б однієї з вище перерахованих вимог. Наприклад розглянемо по одній небезпечній умові, що може виникнути в кожній небезпечній зоні [33] (додаток А)..

Небезпечна умова один НУ1 – надлишковий тиск у гідросистемі. НУ2 – машина знаходиться у відчепленому стані поза майданчиком. НУ3 – комбайн пофарбований в темні кольори. НУ4 – працівник не провів ТО у встановлений строк. НУ5 – рухомі частини агрегату не захищені. НУ6 – механізатор не пройшов інструктаж перед початком робіт. НУ7 – нехтування вимогами виробничої санітарії [34].

Наведені вище небезпечні умови при поєднанні з небезпечними діями працівника можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій, а в подальшому і до отруєнь, аварій, травм чи захворювання. Так, НД1 – працівник знаходиться поблизу гідросистеми. НД2 – навіска агрегатів до трактора. НД3 – працівник не розрахував габарити МТА. НД4 – налагодження чи проведення технічного огляду МТА. НД5 – робота без засобів індивідуального захисту. НС1 – порив магістралей гідросистеми. НС2 – падіння агрегатів при під'єднанні до трактору. НС3 – наїзд на працівника. НС4 – травмування працівника при налагодженні агрегату. НС5 – зоонозні захворювання можуть потрапити організм працівника [33, 34].

Для попередження виникнення аварій, травм, отруєнь чи захворювання необхідно дотримуватись всіх вимог безпеки в усіх небезпечних зонах, так як порушення хоч однієї з них в кінцевому результаті може призвести до небажаних наслідків [34].

Висновки

У питаннях виконання норм та правил з охорони праці дрібниць не буває, за ними — здоров'я та життя працівників [35].

Лише відповідальне ставлення роботодавця до своїх працівників забезпечуватиме безпеку та комфорт на робочому місці та сприятиме уникненню нещасних випадків на виробництві [37].

РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ПОДРІБНЮЮЧОГО АПАРАТУ

Комбайн забезпечує укладання валка соломи для подальшого його підбору. Встановлено, що з підборі такого валка половина повністю втрачається, а втрати соломи становлять близько 10% [32].

Полова від незернової частини врожаю становить 25%. Усього втрати НЧВ становлять 35%. Вартість 1т. НЧВ за даними учгоспу УНАУ приймаємо рівною 2200 грн. Приймаємо також, що комбайн за збиральний сезон прибирає 300 га зернових за врожайності зерна 3 т/га. Тоді кількість зібраної НЧВ становитиме приблизно $(300\text{га} \cdot 4,5\text{т})$ 1350т. Від цієї кількості 35% чи 472,5т. буде втрачено. Таким чином, тільки за рахунок втрат НЧВ збиток для господарства становитиме приблизно $(472,5\text{т} \times 2200\text{грн})$ 1039500грн при застосуванні комбайна, з пристроєм для укладання у валок. Якщо ж оснастити комбайн гнучким універсальним подрібнювачем з обґрунтованим приладом, що подрібнює, то комбайн забезпечує збір подрібненої НЧВ в змінний візок зі значно меншими втратами НЧВ (до 10%). Вартість подрібнювача, що випускається, становить близько 58000грн [39]. Тоді орієнтовний наближений ефект від застосування на комбайні гнучкого універсального пристрою з обґрунтованим подрібнюючим апаратом та з урахуванням втрат НЧВ становитиме $1039500\text{грн} - 58000\text{грн} = 993500\text{грн}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З аналізу та синтезу раціональних подрібнювальних апаратів випливає: вертикальні, похилі та горизонтальні подрібнювачі-вентилятори на даному етапі у схемах гнучких пристроїв застосовувати не рекомендується, внаслідок незадовільного перебігу технологічного процесу та низької експлуатаційної надійності; при конструюванні подрібнювальних апаратів ріжучі кромки ножа доцільно виконувати прямими і розташовувати їх у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі подрібнюючого барабана, при цьому конструкція ножа не повинна мати виступаючих елементів; доцільно прийняти для розробки однобарабанный багатоножовий подрібнюючий апарат з рядним або шаховим розташуванням ножів з жорсткою або шарнірною їхньою підвіскою, який найбільше відповідає якісним, енергетичним, експлуатаційним та техніко-економічним вимогам.

2. Найбільш доцільна конструктивно-технологічна схема подрібнювального апарату без пристроїв живлення перед подрібнюючим апаратом, що різко спрощує конструкцію, підвищує надійність технологічного процесу і знижує масу пристроїв на 8...10%. Висловлена нами гіпотеза про можливу працездатність подрібнювального апарату без пристроїв живлення при одночасному подрібненні соломи і транспортуванні її в транспортні засоби правомірна, підтверджена результатами експериментів ряду авторів.

3. Надійність технологічного процесу подрібнюючого апарату при роботі його за різними технологічними схемами забезпечується при обертанні подрібнюючого барабана проти ходу руху соломи по соломотрясу, при цьому ножі барабана раціонально розташовувати з деяким нахилом ($5-10^\circ$) у напрямку обертання барабана або радіально. При обертанні подрібнюючого барабана проти ходу руху соломи соломотрясом забезпечується краща якість подрібнення соломи за рахунок більшої деформації соломин.

4. Для виключення негативного впливу на роботу соломотрясу та забезпечення стійкого протікання технологічного процесу подрібнюючий

барабан доцільно встановлювати нижче робочої поверхні соломотрясу, при цьому кут розчину ріжучої пари рекомендується спрямовувати у бік поздовжньої осі барабана.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нагабась В. В. Удосконалення технології збору озимої пшениці з модернізацією комбайна Claas Lexion : дипломний проект бакалавра : 208 Агроінженерія / В. В. Нагабась ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2022. – 49 с. URI: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13510>
2. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : автореф. дис. на здобуття степені кандид. техн. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв» / О.В. Батраченко ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. – Вінниця, 2014 р. – 21 с
3. Мельник Р. П. Удосконалення технологічного процесу збирання конюшини на насіння з модернізацією подрібнювача соломи комбайна : дипломний проект бакалавра : 208 Агроінженерія / Р. П. Мельник ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2022. – 76 с.
URI: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/13372>
4. Парійчук Д. І. Обґрунтування параметрів доподрібнюючого пристрою кормозбирального комбайну : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „133 — галузеве машинобудування“ / Д. І. Парійчук. — Тернопіль: ТНТУ, 2021. — 71 с. URI: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/36797>
5. Wu, T., Liang, XL., Liu, QT. *et al.* Chopper Sugarcane Combine Harvester with Middle-Mounted Primary Extractor. *Sugar Tech* 22, 589–595 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s12355-020-00795-1>
6. Ramulu, Chelpuri and Pateriya, Raj Narayan and Naik, Mude Arjun (2020) *Comparison of Straw Chopper cum Incorporator with Existing Paddy Residue Management Technologies in Combine Harvested Paddy Field at North Western Region of India*. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39 (14). pp. 31-40. ISSN 2457-1024
URL: <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1430694>
7. Victorin, M.; Davidsson, Å.; Wallberg, O. Characterization of Mechanically

- Pretreated Wheat Straw for Biogas Production. *BioEnergy Res.* 2020, 13, 833–844. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
8. Chen, L.; Sun, S.; Yao, B.; Peng, Y.; Gao, C.; Qin, T.; Zhou, Y.; Sun, C.; Quan, W. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: A review. *Front. Plant Sci.* 2022, 13, 986763. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
 9. Hashem, F.R.; Ibrahim, M.M.; Nasr, G.M. Modification of a machine for chopping rice straw using a circular saw. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2022, 24, 230–243. [Google Scholar]
 10. Wang, J.; Wang, X.; Li, H.; Lu, C.; He, J.; Wang, Q.; Liu, D.; Deng, B.; Zhang, M. Improvement of Straw Throwing Performance of Harvester Based on Matching Header Width. *Agriculture* 2022, 12, 1291. [Google Scholar] [CrossRef]
 11. Xu, G.; Xie, Y.; Matin, A.; He, R.; Ding, Q. Effect of Straw Length, Stubble Height and Rotary Speed on Residue Incorporation by Rotary Tillage in Intensive Rice–Wheat Rotation System. *Agriculture* 2022, 12, 222. [Google Scholar] [CrossRef]
 12. Jankauskas V, Abrutis R, Žunda A, Gargasas J. Wear Study of Straw Chopper Knives in Combine Harvesters. *Applied Sciences*. 2023; 13(13):7384. <https://doi.org/10.3390/app13137384>
 13. Jia, H.; Jiang, X.; Guo, M.; Liu, X.; Wang, L. Design and experiment of V-L shaped smashed straw blade. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2015, 31, 28–33. [Google Scholar] [CrossRef]
 14. Liu, P.; He, J.; Lou, S.; Wang, Y.; Zhang, Z.; Lin, H. Design and experiment for dynamic supporting type maize straw chopping retention device with different rotation speeds of disc blade. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2021, 52, 41–50. [Google Scholar] [CrossRef]
 15. Han, X.; Zhang, J.; Gao, Y.; Zhang, J.; Yu, B.; Geng, A. Design and test of saw disc type straw crushing and returning machine. *J. Chin. Agric. Mech.* 2017, 38, 7–11. [Google Scholar] [CrossRef]

16. Sun, N.; Wang, X.; Li, H.; He, J.; Wang, Q.; Wang, J.; Liu, Z.; Wang, Y. Design and experiment of differential sawing rice straw chopper for turning to field. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2019, 35, 267–276. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
17. Wang, J.; Wang, X.; LI, H.; He, J.; Lu, C.; Liu, D. Design and experiment of rice straw chopping device for agitation sliding cutting and tearing. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2021, 52, 28–40. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Chen, L.; Wang, L.; Zhang, J.; Zhang, J.; He, C. Design of 1JHSX-34 straw crusher for whole-feeding combine harvesters. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2011, 27, 28–32. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Schillinger, W.F.; Smith, T.A.; Schafer, H.L. Chaff and straw spreader for a plot combine. *Agron. J.* 2008, 100, 398–399. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Korn, C.; Fehrmann, J.; Herlitzius, T.; Flanhardt, M.; Acimas, A. Development of a straw chopper for combines for increased working width. *Landtechnik* 2012, 67, 11–16. [[Google Scholar](#)]
21. Zhang, Z. *Research on Corn Straw Chopping and Spreading Machine Design and Dynamic Characteristic of Straw*; China Agricultural University: Beijing, China, 2018. [[Google Scholar](#)]
22. Fang, M.; Yu, Z.; Zhang, W.; Liu, W.; Bie, Z.; Song, J. Analysis and experiments of the movement process for the shredded material of disc knife chaff cutter. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2021, 37, 76–84. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
23. Wang J, Wang X, Li H, Lu C, He J, Wang Q, Liu D, Deng B, Zhang M. Improvement of Straw Throwing Performance of Harvester Based on Matching Header Width. *Agriculture*. 2022; 12(9):1291. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091291>
24. Zhu, Z. H. A. O., Zhongnan, W. A. N. G., Bintong, Z. H. A. O., Yuqiu, S. O. N. G., & Mingjin, X. I. N. (2022). Designing a longitudinal hob-type stalk chopping device for corn combine harvester. *INMATEH-Agricultural Engineering*, (2).
25. Jiang, J.; Лю, К.; Сюй, Х.; Бу, Т.; Фенг, Дж.; Цзоу, Х.; Li, Y. Аналіз і конструкція центрально встановленого каналу подрібнювача для комбайна

- для збирання цукрової тростини. *Препринти* 2023 , 2023060817.
<https://doi.org/10.20944/preprints202306.0817.v1>
26. Liu, Q.T. Sugarcane cutting mechanism. Guangzhou: South China Agricultural University. 2004.
 27. Xu, H., Wu, T., Liu, Q., and Li, J. Research on the cut-throwing performance of chopper of sugarcane harvester. *Comp. Res. Prog. Appl. Sci. Eng.*. 2019, 05 (3): 85-91
 28. Xie, L., Wang, J., Cheng, S., Zeng, B., and Yang, Z. Performance evaluation of a chopper system for sugarcane harvester. *Sug. Tech.* 2019, 21 (5): 825-837.
 29. Xu, H., Wu, T., Liu, Q., Zhang, Z., Gan, X., and Liang, X. Investigation of the trajectory of expelled billets from the chopping rollers of a sugarcane harvester. *Sug. Tech.* 2020, 22 (5): 896-910.
 30. Liu, Q.T., Ou, Y.G., and Qing, S.L. Cutting force test of sugarcane stalk. *J. South Chin. Agric. Eng.*. 2007, 23 (7): 90-94.
 31. Zastempowski M., Bochat A. Modeling of cutting process by the shearfinger cutting block. *Applied engineering in agriculture*. 2014. Vol. 30, Is. 3, P. 347- 353.
 32. Кайданюк В.І. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів підбирача-подрібнювача соломи. Магістерська робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія», ВНАУ, Вінниця, 2020. 106 с. <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/25971.pdf>
 33. Діденко А.С. «Обґрунтування параметрів та дослідження процесу обмолоту зерна». Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024, 56с.
 34. Гладинюк Ю.М. Дослідження процесу збирання зерна методом обчісування. Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024, 55 с.
 35. Охорона праці при збиранні ранніх зернових
<https://oppb.com.ua/news/ohorona-praci-pri-zbyranni-rannih-zernovyh>
 36. Охорона праці при проведенні зернозбиральних робіт <https://rda-m-p.gov.ua/novini/ohorona-praci-pri-provedenni-zernozbiralnih-robot/>

37. ДНАОП 2.0.00-1.01-00 Охорони праці у сільськогосподарському виробництві <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/pravyla-ohorony-praci-u-silskohospodarskomu-vyrobnystvi-2000.pdf>
38. Інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва https://dnaop.com/html/31897_5.html
39. <https://agromarsh.com.ua/goods/izmelchitel-kombayna-niva-pun-5-v-sbore-niva-sk-5m/>

ДОДАТКИ