

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

**«Модернізація кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 з
дослідженням подрібнювача»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Геращенко Василь Васильович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Юрій МАЧОК

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Катерина ВАСИЛЬКОВСЬКА

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Геращенко Василя Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 з дослідженням подрібнювача
2. Керівник роботи (проекту) Мачок Юрій Вікторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 05.05.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою є підвищення ефективності роботи подрібнювача кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 шляхом обґрунтування раціонального кута установки ножів подрібнювального барабана, що забезпечує оптимальне поєднання якості подрібнення стебел і мінімальних енергетичних витрат на різання.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Стан досліджуваного питання; 2. Вибір напрямку досліджень; 3. Теоретичний аналіз об'єкта дослідження; 4. Практична реалізація результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу «Вступ»	02.02.2026 р.	
2	Виконання розділу «Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень»	27.02.2026 р.	
3	Виконання розділу «Наукова частина»	27.03.2026 р.	
4	Виконання розділу «Практична реалізація результатів досліджень»	15.04.2026 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці».	22.04.2026 р.	
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини. Підготовка до захисту.	05.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
«19» січня 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«19» січня 2026 р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності роботи подрібнювача кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6.

Проведено аналіз конструкції жатних частин і подрібнювальних апаратів кукурудзозбиральних машин.

Теоретично обґрунтовано вплив кута встановлення ножів барабана на силові, енергетичні показники та якість подрібнення стебел. Аналітично визначений оптимальний кут встановлення ножів, що відповідає мінімальному питомому енерговитрату.

Розраховано конструктивні параметри модернізованого подрібнювача. Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації комбайна.

Abstract

The qualification work is devoted to improving the efficiency of the chopper of the KSKU-6 corn harvester..

An analysis of the design of header units and shredding mechanisms of corn harvesting machines has been carried out. The influence of the drum knife installation angle on power, energy performance, and the quality of stalk shredding has been theoretically substantiated. The optimal knife installation angle corresponding to the minimum specific energy consumption has been determined analytically.

The design parameters of the modernized shredder have been calculated. Measures for occupational safety during the operation of the harvester have been developed.

ЗМІСТ

	стор.
1. Вступ	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	7
3. Наукова частина	20
4. Практична реалізація результатів досліджень	33
5. Охорона праці	40
6. Загальні висновки	43
Список використаної літератури	45

1. ВСТУП

Кукурудза належить до провідних сільськогосподарських культур як у світі, так і в Україні і займає одне з чільних місць у структурі посівних площ. Качани та листостеблова маса мають широке народногосподарське значення – використовуються як кормова, харчова та технічна сировина. Якісне та своєчасне збирання врожаю цієї культури значною мірою залежить від рівня технічного забезпечення, зокрема від ефективності та надійності зернозбиральних комбайнів, оснащених відповідним обладнанням та спеціалізованих кукурудзозбиральних комбайнів, що безпосередньо впливає на повноту збору та якість отриманої продукції.

Комбайн КСКУ-6 є одним із найвідоміших технічних засобів, які застосовуються для збирання кукурудзи як на зерно, так і на силос. Водночас, сучасні умови господарювання та підвищені вимоги до якості обробки качанів та листостеблової маси викликають потребу вдосконалення його конструкції та її окремих робочих органів. На особливу увагу, на наш погляд, заслуговує подрібнювач стебел, оскільки ступінь подрібнення безпосередньо впливає на процеси ферментації силосу і, відповідно, на його поживну цінність.

Однією із основних складових подрібнювального апарату є барабан, який забезпечує подрібнення листостеблової маси в процесі виконання технологічного процесу. Ефективність його роботи визначається співвідношенням конструктивних і технологічних параметрів, серед яких важливу функцію відіграє кут встановлення ножів. Саме даний параметр впливає як на якість різання і ступінь подрібнення сільськогосподарського матеріалу, так і на енергетичні параметри процесу, що загалом безпосередньо впливає на загальну продуктивність збирального агрегату.

Не зважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених механізму різання стеблових матеріалів, питання вибору оптимального кута встановлення ножів для умов роботи комбайна КСКУ-6 залишається актуальним. Відсутність чітких науково обґрунтованих рекомендацій призводить або до погіршення якості подрібнення, або до збільшення

енерговитрат, що негативно впливає на економічну ефективність використання зазначеної машини.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Стан і тенденції використання кукурудзозбиральної техніки в Україні

За даними Мінекономіки на 01.01.2026 року в Україні було зібрано 27,77 млн т кукурудзи при середній урожайності 7,13 т/га [3]. Не зважаючи на війну та, досить несприятливі погодні умови наша країна щорічно експортує близько 2,5 млн т даної культури на суму більшу \$500 млн [1,26].

Такий великий обсяг виробництва та реалізації потребує наявності потужного парку спеціалізованих збиральних машин, здатних якісно й у стислі агротехнічні терміни зібрати врожай.

Машинно-тракторний парк аграрних підприємств України сформовано під впливом двох основних процесів – поступового виведення з експлуатації фізично та морально застарілої радянської техніки й активного надходження нових зарубіжних машин та машин вітчизняного виробництва аж до теперішнього часу. За оцінками аграрних експертів, частка імпортних комбайнів у загальній кількості діючої кукурудзозбиральної техніки сягнула 60–65% станом на початок 2020-х років [11,25]. Ця тенденція зумовлена об'єктивними перевагами зарубіжних машин у продуктивності, надійності та рівні автоматизації технологічних процесів.

Серед організаційних форм використання кукурудзозбиральних чи зернових комбайнів в Україні переважають три моделі: власний парк великих агрохолдингів, орендні послуги технічних сервісних компаній і використання техніки фермерськими господарствами. Кожна з цих форм висуває різні вимоги до технічних характеристик машин, що пояснює різноманітність марочного складу комбайнового парку [11].

Стосовно виконання технологічного процесу то можна побачити два напрямки конструктивних рішень жатної частини. Перша схема склалась ще в минулому столітті і певній мірі захопила початок 2000 років. Це рішення стосувалося як приставок для збирання кукурудзи для зернозбиральних

комбайнів (ППК-4, КМД-6, ПЗКС-6 тощо) так і спеціалізованих машини (ККП-2С, ККП-3, КСКУ-6 «Херсонець – 200 тощо»). Тут качановідривна система є класичною і використовується навіть в сучасних машинах, а збір листостеблової маси в подрібненому стані, як правило, відбувається в транспортний засіб. Друга схема реалізується на сучасних кукурудзозбиральних машинах (пристосуваннях, приставках). Тут відсутній різальний, барабанний подрібнювальний апарат, силосопровідна система. Стебла кукурудзи зрізаються та подрібнюються молотковими різальними апаратами з вертикальною віссю обертання та шарнірним кріпленням ножів. Подрібнена маса рівномірно розподіляється по поверхні поля у вигляді мульчі.

Розглянемо декілька машин, які працюють за першою схемою. Сюди можна віднести приставку ПЗКС-6 (КМД-6) до зернозбирального комбайна КЗС-9-1 (рис. 2.1).

Це фронтальна шестирядна жатка, обладнана вальцьовими механізмами для відокремлення качанів та подрібнювачем рослинної маси. До її складу входять: русла для відривання качанів, ріжучий апарат 4, шнек для качанів 8 і стебел 6, похила камера, подрібнювальний агрегат 9, вивантажувальна труба (силосопровід) 11 та привод робочих органів.

Під час роботи стебла підхоплюються вальцями качановідокремлювального пристрою, які обертаються назустріч один одному, протягуючи їх через зазори між відривними пластинами [16]. Качани відділяються від стебел і за допомогою подавальних ланцюгів транспортуються до шнека, а потім через бітери похилої камери подаються в молотильний апарат. Стебла після проходження через вальці зрізаються ножами ріжучого апарата і направляються до шнека, який звужує потік стебел, та передає їх до бітерів, а далі – до подрібнювача. У подрібнювачі ножі барабана, взаємодіючи з протирізальними пластинами, подрібнюють масу, після чого вона повітряним потоком переміщується через трубопровід у транспортний засіб, що рухається поряд.

Недоліками машини можна вважати складність технологічного процесу та конструкції, відносно низька надійність та підвищена енергоємність.

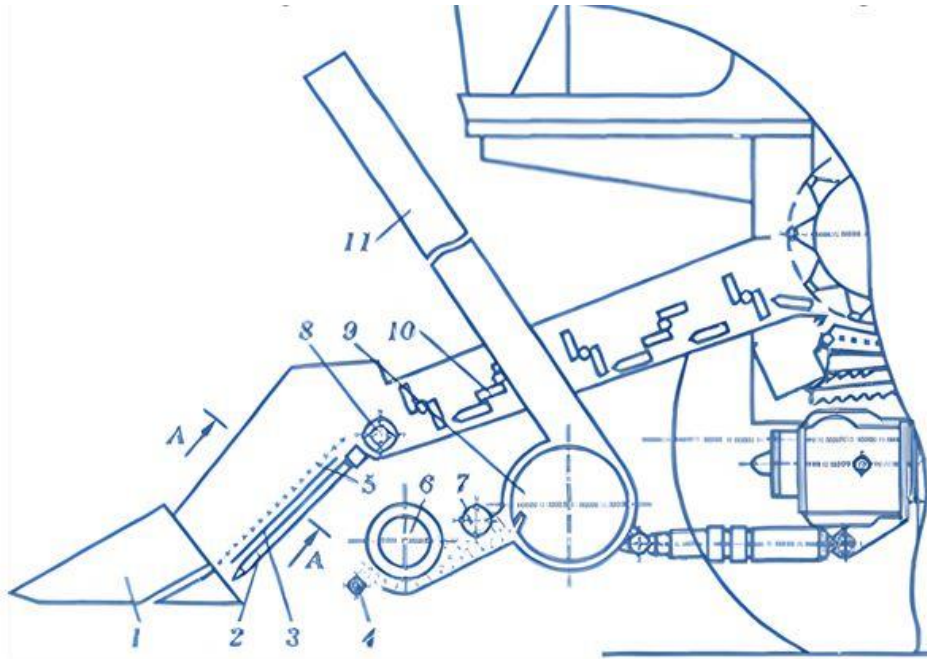


Рис. 2.1. Схема приставки для збирання урожаю кукурудзи ПЗКС-6 (КМД-6) до комбайна КЗС-9-1: 1 – мис; 2 – протягувальні вальці; 3 – пластини відривні; 4 – роторний різальний апарат; 5 – ланцюг; 6 – шнек стебел; 7,10 – бітери; 8 – шнек качанів; 9 – подрібнювальний барабан; 11 – силосопровід

Аналогічною за будовою, але чотирирядною є приставка ППК-4 (рис. 2.2), яка агрегується з комбайном СК-5 «Нива».



Рис. 2.2. Приставка для збирання урожаю кукурудзи ППК-4 в агрегаті з комбайном СК-5 «Нива».

Свого часу це була найпоширенішою машиною даного призначення. До недоліків, які були відзначені відносно попередньої машини тут можна віднести низьку продуктивність через незначну ширину захвату.

До цієї групи машин також можна додати ще дві машини, які виготовлялися на Херсонському машинобудівному заводі - ККП-2С (рис. 2.3) та ККП-3 (рис. 2.4). Це, відповідно, дво – і трирядні причіпні машини.



Рис. 2.3. Причіпний комбайн для збирання кукурудзи ККП-2С.



Рис. 2.4. Причіпний комбайн для збирання кукурудзи ККП-3.

Вони, як і попередні, збирають кукурудзу на зерно, а незернову частину (листочестоблову) подрібнюють та завантажують в транспортний засіб. Якісні показники роботи подібні до попередніх і відповідають агротехнічним вимогам.

За другою схемою компонують жатні частини сучасних кукурудзозбиральних машин. Особливість їх конструкції полягає в тому, що тут не передбачено збір листочестоблової маси. Вітчизняні виробники

пропонують аграріям приставку кукурудзозбиральну КМС-6 (рис. 2.5). Вона також може виготовлятися у восьми рядному варіанті (КМС-8).

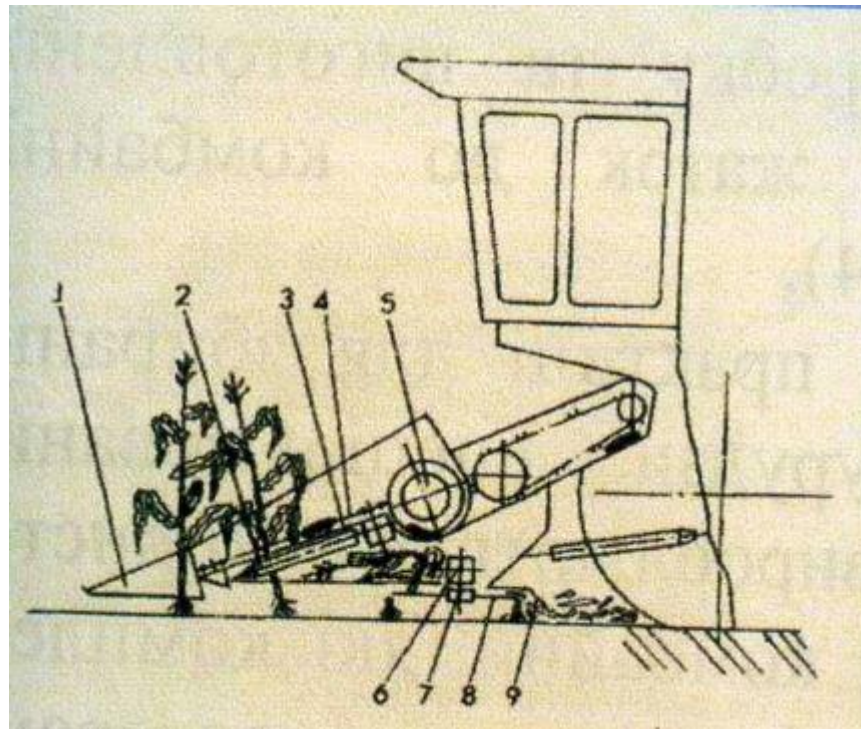


Рис. 2.5. Технологічна схема приставки КМС-6: 1 – мис; 2 – протягувальний валець; 3 – пластина відривна; 4 – подавальні ланцюги; 5 – шнек качанів; 6 – вал різально-подрібнювального апарату; 7 – маточина; 8 – шарнірно закріплені ножі; 9 – кожух

Приставка КМС-6 монтується безпосередньо на похилій камері зернозбирального комбайна і являє собою жатну частину для збирання кукурудзи. Її конструкція включає напрямні миси 1, качановідокремлювальний механізм із вальцями 2, над якими розміщені відривні пластини 3 та подавальні ланцюги 4. Далі за ними встановлений шнек 5 для транспортування качанів і різально-подрібнювальний вузол [11,25].

Останній складається з вертикального валу 6 з маточиною 7, на якій шарнірно закріплені ножі 8, закриті захисним кожухом 9. Усі робочі органи приводяться в дію через ланцюгову передачу від вала контрприводу похилої камери.

Під час роботи комбайна стебла кукурудзи спрямовуються мисами до вальців, де качани відокремлюються від стебел за допомогою відривних пластин. Після цього вони переміщуються ланцюгами з лапками до шнека, який

подає їх на транспортер похилої камери, а звідти – у молотильний апарат. Обмолочене зерно накопичується в бункері та періодично вивантажується в транспорт, який може синхронно рухатися з комбайном.

Стебла кукурудзи зрізаються і подрібнюються ножами різально-подрібнювального механізму та розподіляються по поверхні поля. Одночасно подрібнюються й бур'яни, що ростуть разом із культурою. Перевагами такого апарату є те, що в процесі роботи знищуються бур'яни а на поверхні поля утворюється шар мульчі, який сприятиме збереженню вологи в ґрунті. Крім того, подрібнена листостеблова маса може бути первинною органікою, що потраплятиме в ґрунт в процесі оранки. Дану приставку можна інтегрувати в значну номенклатуру зернозбиральних комбайнів, як вітчизняного так і закордонного виробництва.

Новостворене українське підприємство Fiellday (м. Черкаси, Україна) пропонує ринку чотирьох-, шести- та восьмирядні кукурудзяні жниварки Fiellday (рис. 2.6)



Рис. 2.6. Кукурудзяна жатка Fiellday (м. Черкаси, Україна)

Зазначена жатка призначена для збирання кукурудзи з наступним обмолотом качанів, подрібненням стебел і рівномірним розподілом рослинних

залишків по полю. Її оснащено посиленою рамою та індивідуальними запобіжними муфтами для кожного контуру. Кожне русло має качановідривний та різально – подрібнювальний апарат має два шарнірно закріплені ножі до маточини вертикально розміщеного валу. Така конструкція забезпечую ефективне подрібнення стебел (рис 2.7).

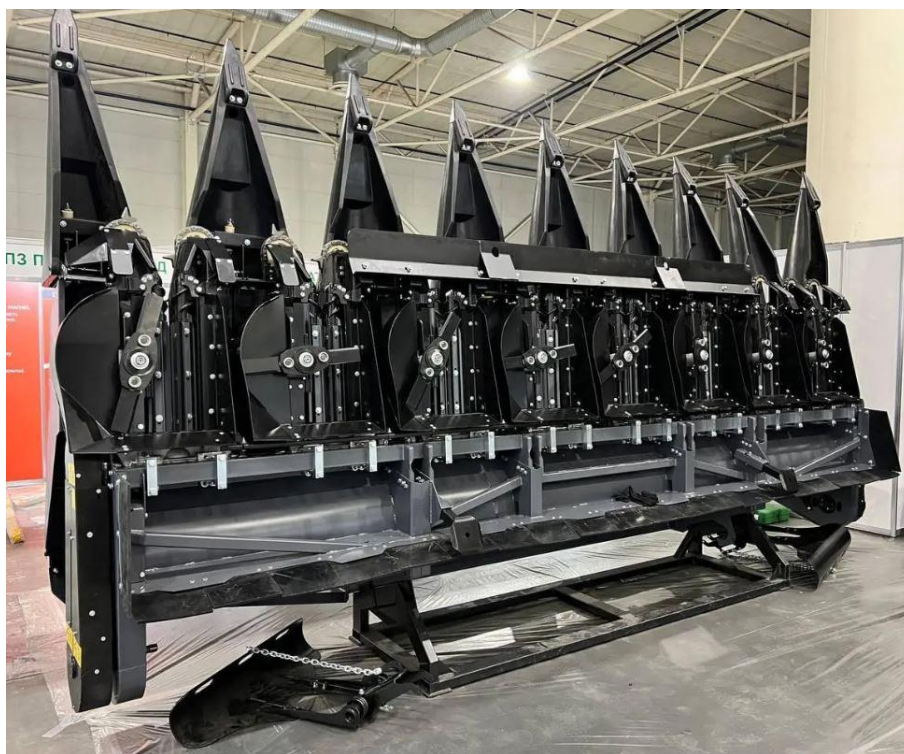


Рис. 2.7. Кукурудзяна жатка Fiellday (вигляд знизу)

Також передбачено механізм притискання стерні до поверхні ґрунту. Усі ці конструктивні рішення сприяють підвищенню продуктивності комбайна завдяки скороченню кількості проходів і розворотів під час роботи на полі.

Аналогічну схему впровадили у виробництво і закордонні виробники, наприклад, кукурудзяна жатка CAPELLO QUASAR F6 (рис. 2.8). Слід зазначити, що даний бренд виготовляє також восьмирядний варіант.

Дана конструкція має, як мінімум дві особливості, які підвищують ефективність подрібнення листостеблової маси. Цей процес починається ще на етапі протягування стебел вальцями завдяки встановленим на них ножів. Крім того, різально – подрібнювальний апарат має не два, як в попередній жатці, а

три ножі, встановлені під кутом 120° один до одного, що має позитивний вплив на ступінь подрібнення (рис. 2.9).



Рис. 2.8. Кукурудзяна жатка CAPELLO QUASAR F6

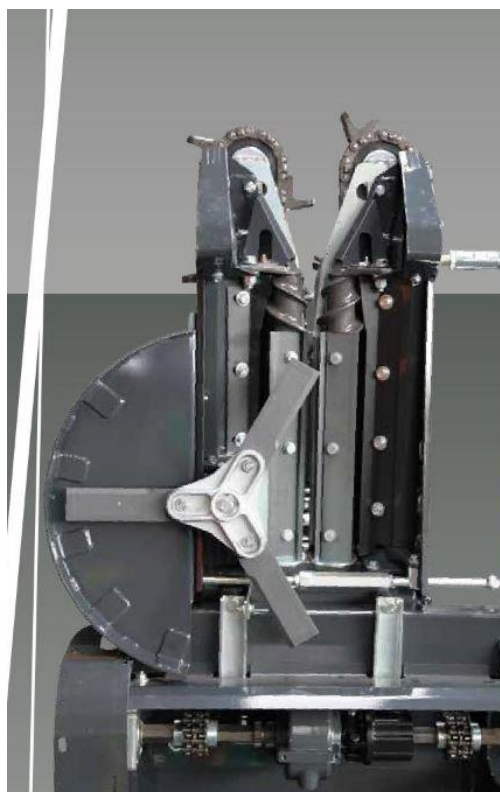


Рис. 2.9. Різально – подрібнювальний апарат жатки CAPELLO QUASAR

F6

За аналогічною схемою побудовано кукурудзяні жатки CASE (рис. 2.10), CLAAS, JOHN DEERE (рис. 2.11) тощо, які можуть мати різну ширину захвату.



Рис. 2.10. Кукурудзяна жатка фірми CASE



Рис. 2.11. Кукурудзяна жатка фірми JOHN DEERE

З наведеного аналізу видно, що кукурудзозбиральні машини виготовлені за різними конструктивними схемами мають, як переваги так і недоліки. Машини, які мають барабанний подрібнювальний апарат з можливістю збирання подрібненої маси для подальшого використання в силу більш складної конструкції є дещо менш надійними та менш продуктивними, але є більш універсальними, що в значній мірі нівелює зазначені недоліки. Їх конструкція дозволяє збирати не лише зернову частину урожаю, а й

листочестеблову масу, яку можна згодовувати тваринам. Такі машини можна використовувати при силосуванні, що є дуже важливим для сільського господарства. До такого типу машин відносять самохідний комбайн КСКУ-6 «Херсонець – 200». Розглянемо особливості його будови та використання.

2.2. Опис об'єкту розробки

2.2.1. Призначення комбайна КСКУ-6

Кукурудзозбиральний комбайн КСКУ-6 призначений для збирання врожаю кукурудзи у фазі повної стиглості за врожайності качанів до 200 ц/га, що використовуються для виробництва продовольчого та кормового зерна. Машина ефективно працює в різних зонах вирощування культури на полях із незначним нахилом схилу та за стандартних параметрів міжряддя. При цьому вологість зерна в період збирання повинна перебувати в допустимих межах, так само як і вологість листочестеблової маси. Висота розміщення нижнього качана від поверхні ґрунту має відповідати встановленим вимогам, а співвідношення маси качанів до стеблової частини – бути оптимальним.

Комбайн виконує комплекс технологічних операцій. Зокрема, він забезпечує збирання качанів із подальшим очищенням від обгорток, подрібненням рослинної маси та її завантаженням у транспортні засоби. Також передбачено режим роботи з обмолотом качанів, під час якого відбувається подрібнення та транспортування отриманої маси. Крім того, машина може використовуватися для збирання кукурудзи у фазі молочно-воскової стиглості з метою заготівлі силосу, включаючи подрібнення та подачу маси в транспорт.

Машина обладнана системою сигналізації, яка дозволяє механізатору контролювати робочі процеси безпосередньо з кабіни. Усі основні механізми приводяться в дію від двигуна через відповідну систему передач, що забезпечує узгоджену роботу вузлів і агрегатів.

2.2.2. Будова та процес роботи комбайна

Основними вузлами, які визначають роботу комбайна є: мис 1, русло 2, подрібнювач 3; шнек стебел 4; похила камера 5; силосопровід 6; транспортер качанів 7; очисник качанів 8; завантажувальний транспортер 9 (рис. 2.12)

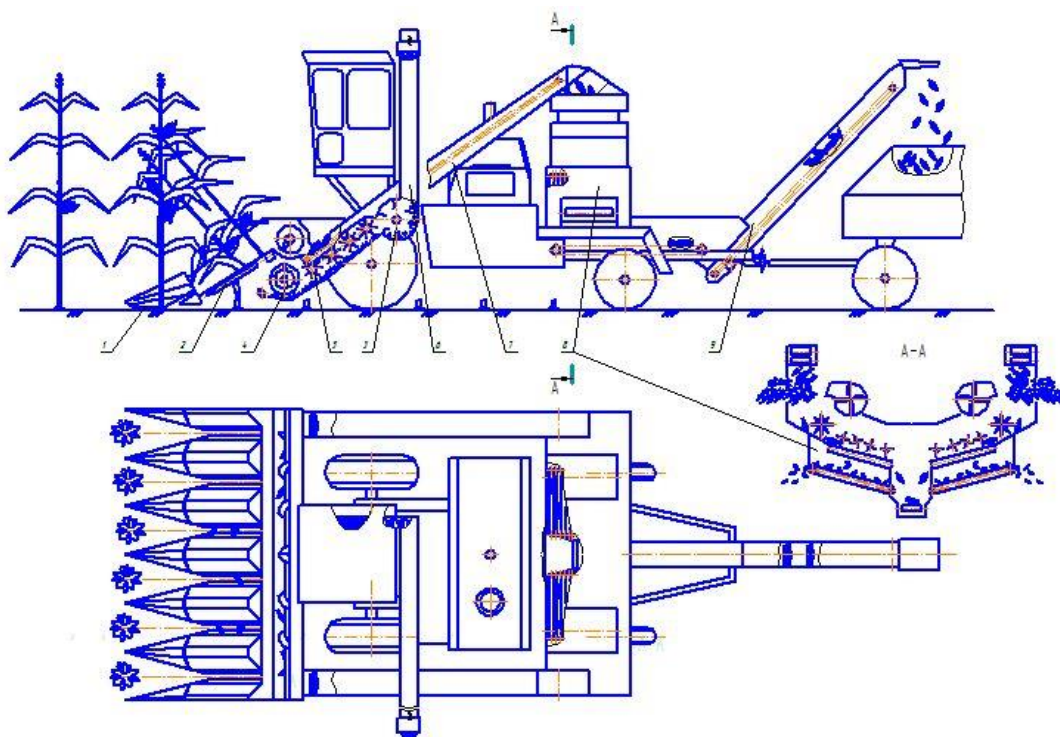


Рис. 2.12. Функціональна схема комбайна КСКУ-6: 1 – мис; 2 – русло; 3 – подрібнювач; 4 – шнек стебел; 5 – похила камера; 6 – силосопровід; 7 – транспортер качанів; 8 – очисник качанів; 9 – завантажувальний транспортер

Всі зазначені механізми розміщені на шасі з двигуном. Жатна частина комбайна являє собою шестируслову конструкцію, яка дозволяє прибирати кукурудзу одночасно з шести рядків. Тут в процесі роботи технологічні потоки розділяються. Перший потік – обробка качанів, другий – листостеблової маси. При протягуванні стебел відривним механізмом качани відділяються від стебел, потрапляють в шнек стебел, звужуються ним в потоці, підхоплюються транспортером і подаються до наступного робочого органу. Залежно від поставлених задач і комплектації це може бути очисник качанів чи молотарка. Потрапляючи на той чи інший робочий орган качани піддаються відповідній дії. Далі отриманий продукт завантажувальним транспортером подається в

транспортний засіб і переміщується до місця зберігання чи подальшої переробки.

Зрізана листостеблова маса системою бітерів подається до барабанного подрібнювача, подрібнюється до встановленого розміру і через силосопровід подається в транспортний засіб.

2.2.3. Агротехнічні вимоги до кукурудзозбиральних машин

Кукурудзозбиральна техніка повинна відповідати встановленим агротехнічним вимогам. Зокрема, вона має забезпечувати якісне скошування стебел висотою до 4 метрів, при цьому рівень зрізу повинен знаходитись у межах 100–150 мм від поверхні ґрунту. Важливим оціночним критерієм є повнота збирання качанів, яка має становити не менше 98,5 %, причому не менше 95 % з них повинні бути очищені від обгортки.

Якість роботи машин також оцінюється за рівнем пошкодження зерна. Цей показник не повинен перевищувати 2,5 % від загальної маси. Допустимі втрати у вигляді вибитого зерна з качанів обмежуються: до 3 % при використанні очисників і до 1 % без них. Частка поламаних качанів не повинна перевищувати 2 %.

У випадку збирання кукурудзи з одночасним обмолотом качанів необхідно забезпечити ефективну роботу при вологості зерна в межах 25–32 %. За таких умов допускаються певні втрати і відхилення від ідеальних показників, зокрема: втрата вільного зерна за комбайном – до 1 %, вміст зерна в силосній масі – не більше 0,8 %, частка недомолоченого зерна – до 1,2 %, рівень подрібнення зерна – до 2,5 %, а засміченість зібраного продукту не повинна перевищувати 4 %.

2.2.4. Аналіз недоліків та пропозиції щодо удосконалення конструкції копача

В даній роботі основну увагу приділено удосконаленню конструкції подрібнювального апарату комбайна. Якісні та енергетичні показники його роботи залежать від відповідних налаштувань, які стосуються рівномірності

подачі листостеблової маси до подрібнювача, кута установки ножів барабана, їх гостроти. На рівномірність подачі в значній мірі впливає шнек стебел. На комбайні використано шнек з однозахідними витками, що супроводжується пульсуючою подачею маси. Тому, пропонується спроектувати шнек з двозахідними витками. Кут установки ножів складає близько $20 - 30^{\circ}$, що потребує його оптимізації для зниження енерговитрат на процес різання.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Мета та задачі досліджень

Мета роботи – підвищення ефективності роботи подрібнювача кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 шляхом обґрунтування раціонального кута установки ножів подрібнювального барабана, що забезпечує оптимальне поєднання якості подрібнення стебел і мінімальних енергетичних витрат на різання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі конструкції жатних частин кукурудзозбиральних комбайнів та встановити основні недоліки та перспективи використання;

- проаналізувати існуючі конструкції подрібнювальних апаратів кукурудзозбиральних машин та встановити основні напрями їх удосконалення;

Теоретично обґрунтувати процес різання стебел кукурудзи під кутом та виявити закономірності впливу кута установки ножів на силові та енергетичні показники різання;

- визначити раціональне значення кута установки ножів, що забезпечує найкращі показники якості подрібнення та мінімальні енергетичні витрати;

Об'єкт дослідження – процес подрібнення стебел кукурудзи ножами подрібнювального барабана кукурудзозбирального комбайна.

Предмет дослідження – залежності показників якості подрібнення стебел та питомих витрат енергії на різання від кута установки ножів подрібнювального барабана.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні кількісних залежностей між кутом установки ножів подрібнювального барабана, якістю подрібнення стебел кукурудзи та питомими витратами енергії на різання, що дозволяє науково обґрунтувати раціональний кут установки ножів для умов роботи комбайна КСКУ-6.

3.2. Аналіз конструкцій подрібнювачів кукурудзозбиральних машин

Подрібнення листостеблової маси є однією з основних операцій у технологічному процесі збирання кукурудзи на зерно та на силос. Якість виконання цього процесу безпосередньо впливає на якість підготовки поля до основного обробітку ґрунту та поживну цінність корму. При подрібненні вирішується завдання отримання частинок заданої довжини при мінімальних енерговитратах і рівномірній довжині різки.

Листостеблова маса кукурудзи характеризується значною неоднорідністю за фізико-механічними властивостями. Стебла мають волокнисту структуру, високий вміст вологи та значну міцність на розтяг і згин. Листя, навпаки, є менш міцним і легше піддається руйнуванню. Це зумовлює складність процесу подрібнення, оскільки різні частини рослини по-різному реагують на дію різальних органів.

Процес подрібнення супроводжується різанням, зминанням та частковим розривом матеріалу. Найбільш ефективним є різання, яке забезпечує чистий зріз із мінімальними затратами енергії. Для цього необхідно забезпечити оптимальне співвідношення швидкості руху ножів і подачі матеріалу, а також мінімальний та достатній зазор між ріжучими та протиріжучими елементами за умови підпорного різання та відповідного значення колової швидкості ножів при безпідпорному різанні. Слід зазначити, що зазначений процес подрібнення характерний не лише для кукурудзозбиральних машин, а й для кормозбиральних. Тому, в основу огляду покладемо подрібнювальні апарати обох груп машин. В конструкціях зазначених машин найчастіше можна бачити барабанні (рис. 3.1), дискові (вертикально – дискові), вальцові та комбіновані.

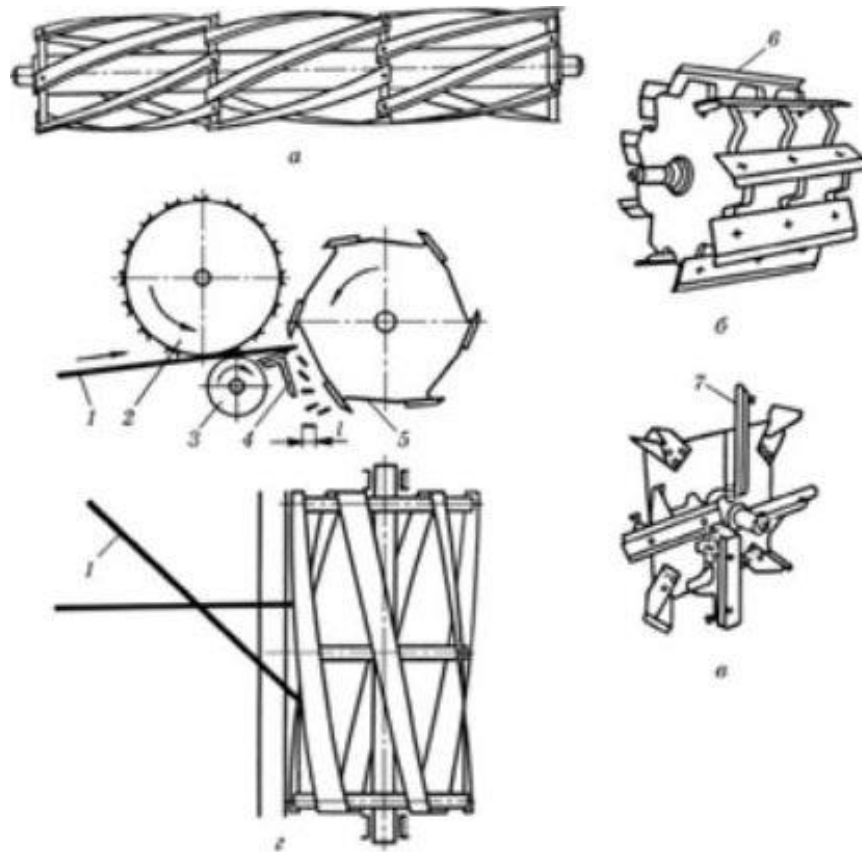


Рис. 3.1. Барабанні подрібнювальні апарати:

а) багатосекційний; б) плосконожовий; в) дисковий; г) з гвинтовими ножами;
1 – стебло; 2,3 – верхній та нижній вальці; 4 – протиризальна пластина; 5 – подрібнювальний барабан; 6,7 – ножі

Розглянемо деякі конструкції барабанних подрібнювальних апаратів. Молоткові апарати (рис. 3.2) є дуже поширеними в конструкціях зернозбиральної машин. Принцип їх дії засновано на ударній взаємодії шарнірно закріплених молотків на барабані, який обертається з матеріалом, що подається між барабаном і протиризальною частиною (декою). Частота обертання барабана (ротора) коливається в межах 1 200–2 200 об/хв.

До переваг даної конструкції можна віднести: простота технічного обслуговування, можливість замінювати зношені молотки без демонтажу барабана, здатність подрібнювати сільськогосподарський матеріал різної вологості без проведення додаткових регулювань. Крім того, молоткові апарати характеризуються рівномірним ступенем подрібнення листостеблової маси та здатністю до самоочищення за рахунок дії відцентрових сил.



Рис. 3.2. Барабани (ротори) молоткового подрібнювального апарату

Однак, дані апарати мають також суттєві недоліки. По-перше, питомі витрати енергії молоткових подрібнювальних апаратів є найвищими серед інших типів і складають в середньому 18–25 кВт · год/т. Це пов'язано з нераціональним характером удару. По-друге, молотки піддаються інтенсивному зношуванню при зустрічі з мінеральними домішками (грудки ґрунту, каміння), а зміна їх геометрії значно посилює питоме споживання потужності та знижує якісні показники роботи. По-третє, за підвищеної вологості молоткові апарати схильні до налипання стеблових соку та частинок ґрунту на молотки.

Альтернативою молотковим подрібнювачам є барабанні ножові подрібнювачі. Їх поділяють на декілька типів: плосконожові з прямолінійно встановленими ножами вздовж барабану (рис. 3.1, б) та з ножами встановленими по гвинтовій лінії (3.1, г). Слід зазначити, що встановлені по гвинтовій лінії ножі забезпечують більш плавний режим роботи та більш рівномірне навантаження на подрібнювач.

На відміну від молоткових ножі тут мають жорстке кріплення до периферії барабана. Це дозволяє забезпечити різальний а не ударний процес подрібнення матеріалу. Витрати питомої енергії на різання знаходяться рівні 10 – 16 (кВт · год)/т.

Фракційний склад подрібненого матеріалу є більш рівномірним, який залежить від кроку між ножами та швидкістю подачі маси, а не залежить від хаотичного процесу удару в молоткових апаратах.

Головним недоліком даних апаратів є вразливість жорстко закріплених ножів до каміння і інших сторонніх предметів. Практика показує, що навіть одинарне зіткнення з зазначеними перешкодами здатне вивести з ладу одночасно кілька ножів. За гірших умов можливе навіть деформування барабану. Тому всі сучасні ножові подрібнюючі апарати оснащують додатковими конструктивними елементами захисту – гідравлічними запобіжниками або зрізними болтами.

Аналіз ринку кукурудзозбиральної техніки вказує на тенденцію до збільшення кількості ножів (до 24 і більше) при зменшенні їх ширини, що забезпечує кращу рівномірність різки. З метою створення кращих умов для регулювання ступеня подрібнення використовують багатосекційні подрібнювальні барабани.

У виробництві також широко використовують дискові подрібнювачі. В основному це стосується пожнивних решток.

Конструктивно являють собою один або декілька горизонтальних чи вертикальних дисків із закріпленими жорстко чи шарнірно ножами (сегментами).

Перевагою вертикально-дискових апаратів є низьке розташування ріжучих елементів відносно поверхні поля, що забезпечує мінімальну висоту різку (35–50 мм) та гарне подрібнення прикореневої частини стебла. Горизонтально – дискові конструктивні схеми відрізняються ширшою зоною захвату й більш рівномірним розподілом подрібненої маси на поверхні поля.

До недоліків даних подрібнювачів є складність механізму приводу, особливо при збільшенні ширини захвату. Це супроводжується збільшенням матеріалоємності, енергоємності та зменшенням надійності конструкції. Крім того, дискові апарати вимагають більш точного регулювання висоти

розміщення відносно поверхні поля через можливе контактування твердими перешкодами, наприклад камінням, з наступним руйнуванням.

Останнім часом на машинах можна бачити вальцьові подрібнювачі (рис. 3.3). Дані апарати реалізують принцип роздавлювання та стирання листостеблової маси.



Рис. 3.3. Подрібнювач Claas Körnerprozessor MCC Shredlage до комбайна.

Пара або кілька пар рифлених чи гладких вальців обертаються назустріч один одному, захоплюючи стебла й пропускаючи їх через зазор (рис. 3.4).

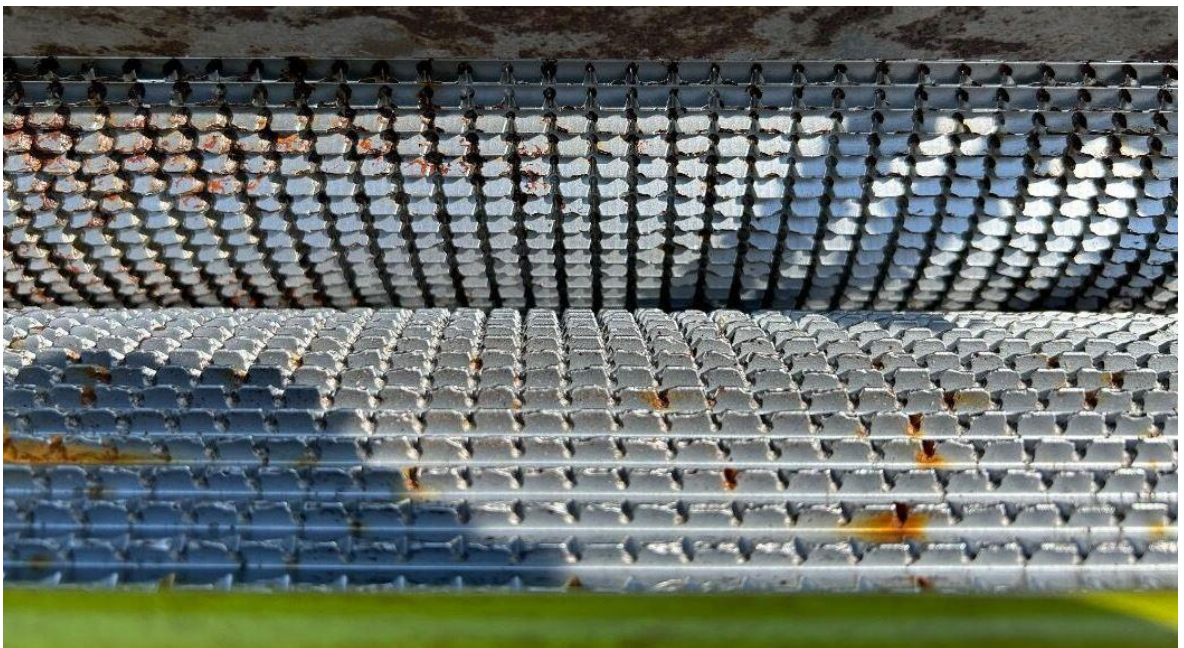


Рис. 3.4. Рифлені вальці Claas Körnerprozessor MCC Shredlage

Ступінь подрібнення залежить від профілю рифлів (прямі, косі, перехресні) та величиною міжвальцьового зазору, який може коливатися залежно від поставлених задач в межах 0,5–3 мм.

Основною перевагою вальцьового принципу подрібнення є відносно дуже низькі витрати енергії (6–10 кВт · год/т), що забезпечується рівномірним прикладанням зусиль стиснення без ударних пікових навантажень. Це дозволяє значно зменшити встановлену потужність приводу при тій же продуктивності.

Однак, вальцьові подрібнювальні апарати мають обмежену область застосування. Вони добре справляються з однорідним стебловим матеріалом, але майже не придатні для подрібнення качанів із зерном, тому що тверде зерно не руйнується при стисненні між рифленими вальцями до потрібної фракції, а підвищення тиску призводить до підвищення навантаження на підшипники та швидкого зносу поверхні вальців. Характерним для вальцьових апаратів є нерівномірний розподільний матеріалу по ширині захвату тому вимагає встановлення розподільних шнеків або транспортерів, що призводить до ускладнення конструкції.

Кожний з розглянутих подрібнювачів має певні обмеження, що спонукає розробників впроваджувати комбіновані рішення. Це можуть бути двоступінчасті схеми «барабан – рифлені вальці», які передбачають переднє грубе різання ножами барабанного подрібнювача з довжиною різки 25–50 мм, після чого матеріал надходить на пару рифлених вальців для додаткового подрібнення та розщеплення стебел. При дещо більших витратах енергії досягається вища якість подрібнення. Недоліком комбінованих схем є їх складність, підвищена металоємність та потрібна синхронізація приводів обох ступенів.

З викладеного можна зробити висновок, що одним з найбільш ефективних є барабанний подрібнювальний апарат з жорстким кріпленням ножів. Для досягнення максимальної якості різання, оптимальних енергетичних показників актуальним є визначення раціонального кута встановлення ножів.

3.2. Теоретичне обґрунтування впливу кута встановлення ножів на барабані барабанного подрібнювача листостеблової маси кукурудзозбирального комбайна на якісні показники та енергоємність процесу подрібнення

Барабанні подрібнювачі листостеблової маси є головними робочими органами кукурудзозбиральних комбайнів, що визначають якість підготовки рослинних решток до заорювання в ґрунт або подальшої переробки та застосування. Серед конструктивних параметрів особливе місце займає кут встановлення ножів φ на барабані, оскільки він формує кінематику різання, характер навантаження на ніж і питомі енерговитрати на процес.

Кут встановлення ножа φ знаходиться між площиною леза ножа та радіальним напрямком барабана у точці контакту. Розрізняють радіальне встановлення ($\varphi \approx 0^\circ$) та похиле встановлення ($\varphi > 0^\circ$) – ніж нахилений у напрямку обертання. Кут встановлення φ , кут загострення леза β та кут ковзання δ формують загальний кут різання θ [4,9,10,18,20,21].

Для барабанної схеми кут ковзання δ приблизно дорівнює куту встановлення φ , оскільки вектор швидкості леза відхиляється від нормалі до ріжучої кромки саме на величину φ [4,9,10,18,20,21]

$$\delta \approx \varphi \quad (3.1)$$

Зусилля різання з ковзанням P пов'язане із зусиллям різання без ковзання P_0 через кут ковзання δ

$$P = P_0 \cdot \cos(\delta) \quad (3.2)$$

Підставляючи $\delta \approx \varphi$, отримуємо аналітичну залежність зусилля різання від кута встановлення ножа

$$P(\varphi) = P_0 \cdot \cos(\varphi) \quad (3.3)$$

де P_0 – зусилля різання без ковзання (при $\varphi = 0^\circ$), Н;

φ – кут встановлення ножа, рад.

Залежність (3.3) є монотонно спадаючою. Зі збільшенням кута φ від 0° до 45° зусилля різання зменшується від P_0 до $P_0 \cdot \cos(45^\circ) \approx 0,71 \cdot P_0$, тобто на 29 %. Відповідна графічна залежність наведена на рис. 3.5.

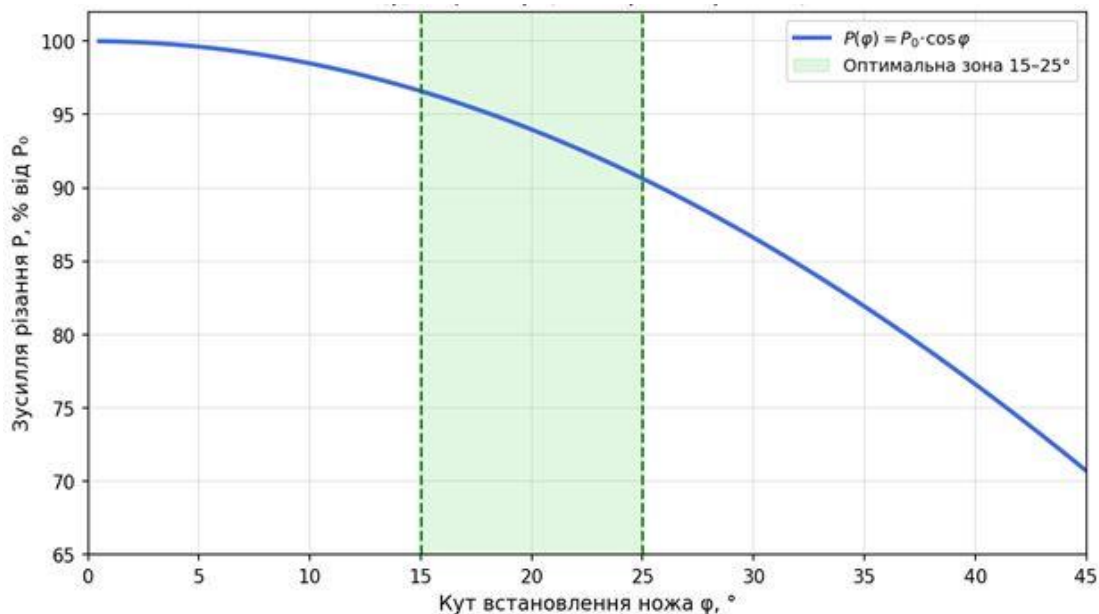


Рис. 3.5. Залежність зусилля різання від кута встановлення ножів:

$$P(\varphi) = P_0 \cdot \cos(\varphi)$$

Визначимо аналітичну залежність питомої енергоємності подрібнення.

Питома енергоємність подрібнення E складається з двох основних складових – енергії безпосереднього різання E_p та енергії тертя леза об матеріал E_T .

$$E(\varphi) = E_p(\varphi) + E_T(\varphi) \quad (3.4)$$

Потужність різання визначається як добуток зусилля різання $P(\varphi)$ на робочу складову швидкості леза $v_p(\varphi)$. Оскільки $v_p = v \cdot \cos(\varphi)$ (проекція повної швидкості леза на напрямок, нормальний до ріжучої кромки), маємо

$$N_p(\varphi) = P(\varphi) \cdot v_p(\varphi) / \eta = P_0 \cdot \cos(\varphi) \cdot v \cdot \cos(\varphi) / \eta$$

Або

$$N_p(\varphi) = (P_0 \cdot v / \eta) \cdot \cos^2(\varphi) = C_1 \cdot \cos^2(\varphi) \quad (3.5)$$

де $C_1 = P_0 \cdot v / \eta$ – стала;

η – ККД приводу.

Складова різання монотонно спадає з ростом φ .

Сила тертя леза об матеріал

$$F_T = \mu \cdot P(\varphi) \quad (3.6)$$

де μ – коефіцієнт тертя стебла кукурудзи по сталі [3,4], $\mu = 0,55-0,65$,
призначаємо $\mu = 0,60$.

Тангенційна складова швидкості

$$v_T = v \cdot \sin(\varphi)$$

Тому потужність тертя

$$N_T(\varphi) = \mu \cdot P(\varphi) \cdot v_T = \mu \cdot P_0 \cdot \cos(\varphi) \cdot v \cdot \sin(\varphi)$$

Або

$$N_T(\varphi) = (\mu \cdot P_0 \cdot v/2) \cdot \sin(2\varphi) = C_2 \cdot \sin(2\varphi) \quad (3.7)$$

$$\text{де } C_2 = \mu \cdot P_0 \cdot v/2 = \mu \cdot C_1/2.$$

Складова потужності тертя монотонно зростає від 0° до 45° .

Підставляючи (3.5) та (3.7) у (3.4) отримаємо вираз для визначення
питомої енергоємності подрібнення (рис. 3.6)

$$E(\varphi) = C_1 \cdot \cos^2(\varphi) + C_2 \cdot \sin(2\varphi) \quad (3.8)$$

$$\text{де } C_2 = \mu \cdot \frac{C_1}{2} \quad \text{при } \mu = 0,60$$

Для знаходження мінімуму беремо першу похідну та прирівнюємо до
нуля

$$dE/d\varphi = -2C_1 \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\varphi) + 2C_2 \cdot \cos(2\varphi) = 0$$

Звідси

$$-C_1 \cdot \sin(2\varphi) + 2C_2 \cdot \cos(2\varphi) = 0$$

Тоді тангенс оптимального кута φ визначиться

$$\operatorname{tg}(2\varphi_{\text{опт}}) = 2C_2/C_1 = 2 \cdot \mu \cdot C_1/(2 \cdot C_1) = \mu \rightarrow \operatorname{tg}(2\varphi_{\text{опт}}) = 2\mu$$

Тоді оптимальне значення кута встановлення ножа визначиться

$$\varphi_{\text{опт}} = (1/2) \cdot \operatorname{arctg}(2\mu) \quad (3.9)$$

Підставляючи $\mu = 0,60$

$$\varphi_{\text{опт}} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \operatorname{arctg}(1,20) = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot 50,2^\circ \approx 25,1^\circ$$

Таким чином, оптимальний кут встановлення ножів $\varphi_{\text{опт}} \approx 25^\circ$
аналітично виводиться з умови мінімуму повної питомої енергоємності і
лежить в межах заводських вимог.

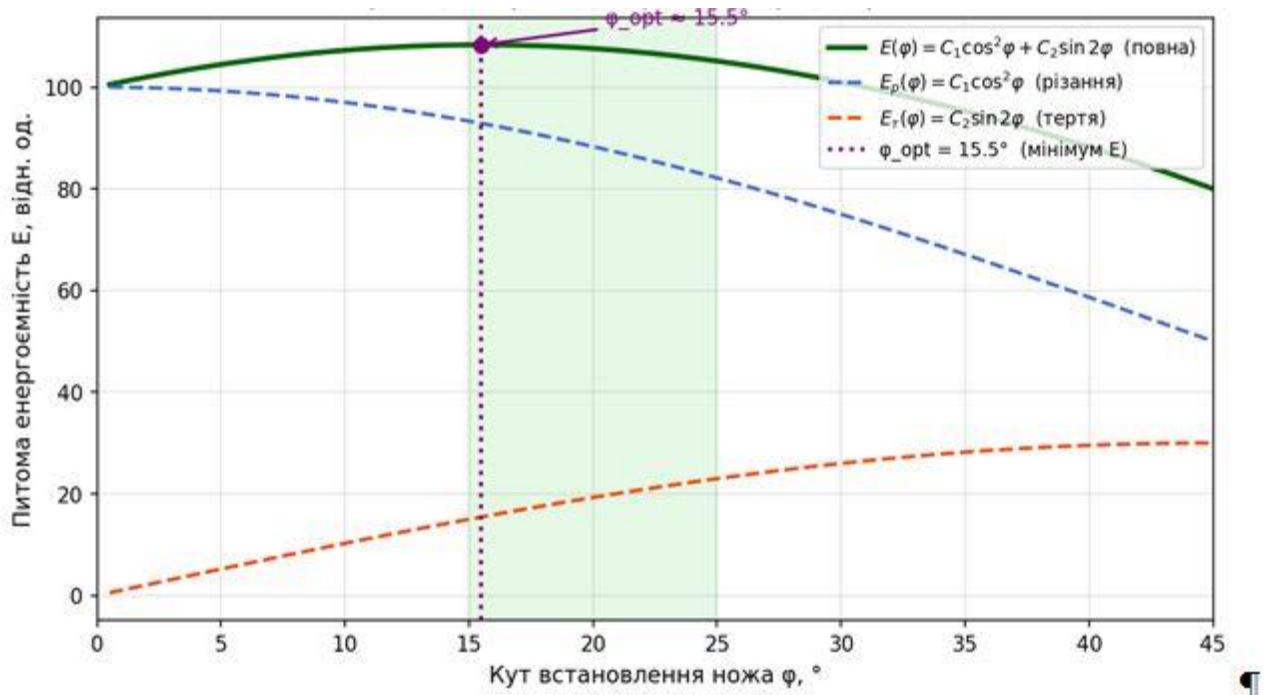


Рис. 3.6. Залежність питомої енергоємності від кута встановлення ножів

Визначимо вплив кута встановлення ножа на якість подрібнення.

Нерівномірність довжини різки пов'язана з динамічним характером навантаження при рубуючому різанні. Динамічне зусилля $F_{\text{дин}}$, яке є причиною зміщення матеріалу в зоні різання, визначається через різницю між максимальним зусиллям (P_0 при $\varphi = 0^\circ$) та фактичним $P(\varphi)$

$$F_{\text{дин}}(\varphi) = P_0 - P(\varphi) = P_0 \cdot (1 - \cos(\varphi))$$

Зміщення матеріалу пропорційне $F_{\text{дин}} / P(\varphi)$, тому дисперсія довжини різки дорівнюватиме

$$\sigma^2(\varphi) \sim F_{\text{дин}}^2(\varphi) / P(\varphi) = P_0 \cdot (1 - \cos(\varphi))^2 / \cos(\varphi) \quad (3.10)$$

При $\varphi \rightarrow 0$: $\sigma^2 \rightarrow 0$ (рубання без ковзання, але з ударом). При $\varphi \rightarrow 45^\circ$: σ^2 зростає різко – через зминання і розщеплення стебел, що є неприйнятним з агрозоотехнічних вимог [10,19].

Якість подрібнення Q оцінюється часткою різки стандартної довжини 50 – 80 мм [10,19]. Вона знижується як при малих кутах (нерівний зріз від ударного навантаження), так і при великих (зминання при $\varphi > 28-30^\circ$). Залежність $Q(\varphi)$ описується виразом

$$Q(\varphi) = Q_{\text{max}} \cdot [1 - k \cdot \sigma_{\text{норм}}^2(\varphi)] - \Delta_{\text{зм}}(\varphi) \quad (3.11)$$

де $\sigma_{\text{норм}}^2$ – нормована дисперсія за формулою (3.10);

$\Delta_{\text{зм}}(\varphi)$ – функція змінання, що активується при $\varphi > 28^\circ$. Максимум $Q(\varphi)$ лежить в діапазоні $\varphi = 15\text{--}25^\circ$.

Графічна інтерпретація викладеного зображена на рис. 3.7.

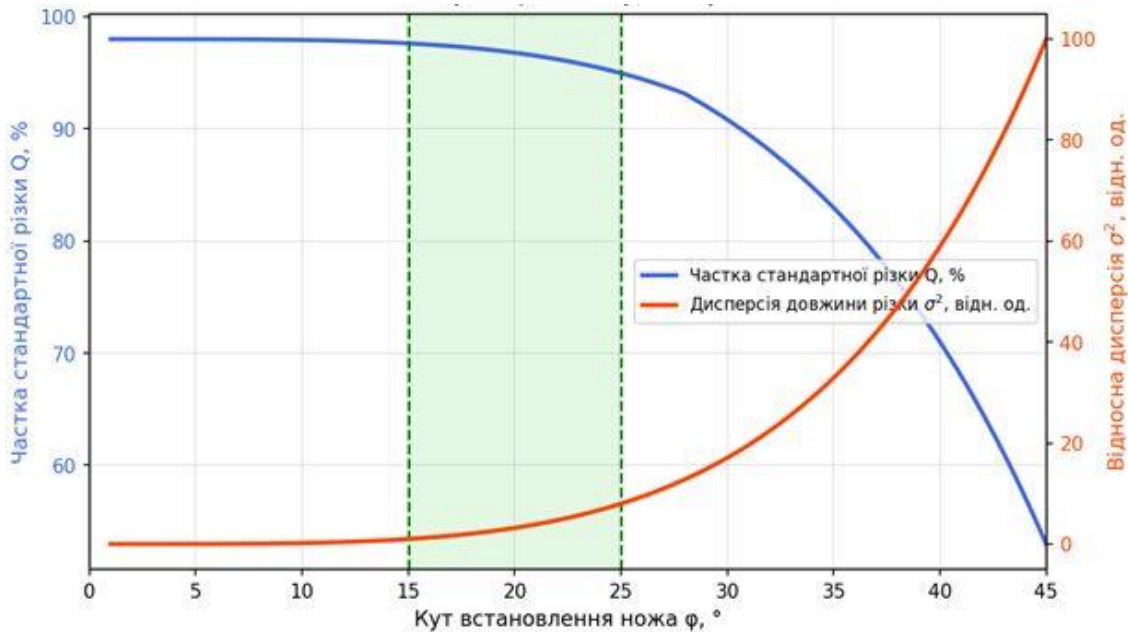


Рис. 3.7 Вплив кута встановлення ножів на якість подрібнення

Висновки по розділу.

1. Аналіз конструкції подрібнювачів показав, що кожен тип – молотковий, ножовий, дисковий, вальцювий та комбінований – має особливі переваги й недоліки за критеріями енергоємності, якості різки та надійності. Найбільш перспективним для подрібнення листостеблової маси кукурудзи є ударний ножовий апарат із жорстким кріпленням ножів, для якого актуальним завданням є обґрунтування раціонального кута встановлення ножів.

2. Залежність зусилля різання від кута встановлення ножів описується формулою $P(\varphi) = P_0 \cdot \cos(\varphi)$ і є монотонно спадаючою.

3. Питома енергоємність визначається сумою двох складових: спадної $E_p = C_1 \cdot \cos^2(\varphi)$ та зростаючої $E_t = C_2 \cdot \sin(2\varphi)$. Ця сума має мінімум, звідки аналітично виводиться формула оптимального кута

$$\varphi_{\text{опт}} = (1/2) \cdot \arctg(2\mu).$$

4. При $\mu = 0,60$ (стебло кукурудзи по сталі) $\varphi_{\text{опт}} \approx 25^\circ$, що збігається з рекомендаціями літературних джерел виробника.

5. Показники якості різки $Q(\varphi)$ та $\sigma^2(\varphi)$ також мають оптимум у діапазоні $15-25^\circ$, що підтверджує обраний оптимальний діапазон за всіма критеріями одночасно.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Технологічний розрахунок

4.1. Розрахунок подрібнювача листостеблової маси

У конструктивному рішенні модернізованого самохідного комбайна КСКУ–6 передбачено використання подрібнювача барабанного типу з похилим різанням. Цей вузол виконує подвійну функцію: безпосереднє подрібнення рослинної маси та її транспортування силосопроводом до транспортних засобів.

До основних конструктивних характеристик барабанного подрібнювача належать: діаметр барабана D_6 , його довжина L_6 , висота розміщення горловини h відносно горизонтальної осі барабана (зона встановлення протирізальної пластини), а також частота обертання n_6 [4,18,21].

Аналіз кінематики руху леза ножа у площині, перпендикулярній до площини різання листостеблового шару, дозволяє встановити аналогію між цим рухом та рухом планки мотвила зернозбиральної техніки. Принципова відмінність полягає в тому, що в подрібнювачі поступальний рух виконує шар листостеблової маси, а не сам барабан [4,18,21] (рис. 4.1).

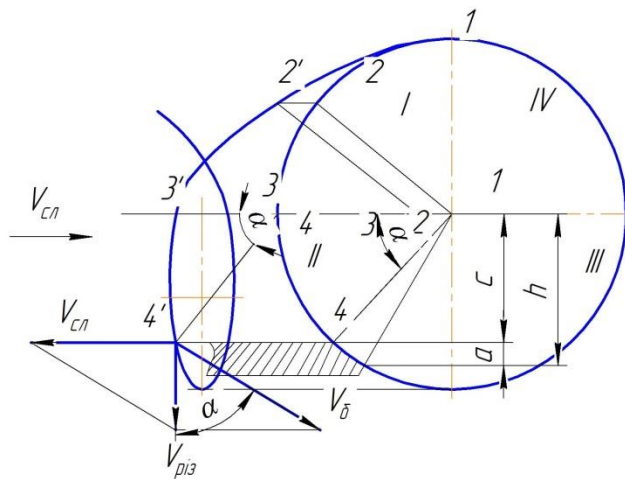


Рис. 4.1. Схема до обґрунтування параметрів барабана

Величина h , що визначає положення горловини відносно горизонтальної осі барабана, залежить від співвідношення між поступальною складовою V_f та коловою швидкістю барабана V_6 .

Зі схеми випливає, що в першому квадранті частинки стебел зазнають відштовхувального впливу від леза ножа, що унеможливило їх надходження до подрібнювача та порушує нормальний процес різання.

Натомість при контакті з шаром стебел у другому квадранті (точка 4) лезо сприяє втягуванню матеріалу в зазор різальної пари, що забезпечує оптимальні умови функціонування подрібнювача [4,18,21].

Розрахункове значення h визначається за виразом

$$h = a + c \quad (4.1)$$

де: a – товщина шару стебел, рівна висоті горловини;

c – відстань від осі до шару стебел

$$c = \frac{D_6}{2} \cdot \sin \alpha = \frac{D_6}{2} - \frac{V_{ст}}{V_6} \quad (4.2)$$

Визначення діаметра барабана D_6 .

Для обертово-циліндричних апаратів похилого перерізу з протирізальними пластинами, до яких відноситься барабанний подрібнювач, швидкість леза $V_6 = 10-15$ м/с є достатньою для забезпечення якісного подрібнення. Проте з огляду на те, що даний вузол додатково здійснює подачу подрібненої маси у транспортні засоби, мінімально допустима швидкість ножів має становити $V_6 \geq 40$ м/с.

Теоретична довжина різання розраховується за формулою

$$\lambda_p = \frac{60 \cdot V_{ст}}{z_n \cdot n_6} \quad (4.3)$$

$V_{ст}$ – швидкість подачі листостеблового матеріалу до подрібнювача (швидкість бітера похилої камери);

z_n – кількість ножів;

n_6 – частота обертання барабана.

Оскільки стебла надходять до барабанного подрібнювача не строго перпендикулярно до його осі, розрахункову довжину подрібнення коригують із застосуванням коефіцієнта φ , значення якого для обертово – циліндричних подрібнювачів знаходиться в діапазоні $\varphi = 1,5 \dots 2,0$ [4,18,21].

$$\lambda_{pp} = \beta \cdot \lambda_p \quad (4.4)$$

Визначення частоти обертання барабана

$$n_{об} = \frac{60 \cdot V_{ст}}{\beta \cdot \lambda \cdot z_n} \quad (4.5)$$

Для виконання заданих показників продуктивності швидкість шару листостеблової маси рекомендується визначати як [4,18,21]

$$V_{ст} = 1,15 \cdot V_m = 1,15 \cdot 2,25 = 2,59 \frac{м}{с}$$

Приймаємо $z_n = 4$

Згідно агротехнічних вимог $\lambda_p = 15-40 мм$

Приймаємо $\lambda_p = 0,015 м$, $\beta = 2,0$

Тоді

$$n_{об} = \frac{60 \cdot 2,59}{2,0 \cdot 0,015 \cdot 4} = 1295 \text{ об/хв}$$

Призначаємо $n_6 = 1300 \text{ об/хв}$.

Діаметр барабана обчислюється за формулою

$$D_6 = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V_6}{\pi \cdot n_6} \quad (4.6)$$

Тоді

$$D_6 = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 1300} = 587 \text{ мм}$$

Приймається $D_6 = 600 \text{ мм}$

Діаметр D_6 та довжина барабанного подрібнювача L_6 пов'язані між собою наступним співвідношенням

$$D_6 = L_6 \cdot z_n \cdot tg \frac{\tau}{\pi} \quad (4.7)$$

де τ – кут ковзання (кут між лезом ножа та протирізальною пластиною),
 $\tau = 20 \dots 30^\circ$.

Приймаємо $\tau = 25^\circ$;

Тоді

$$L_6 = \frac{\pi \cdot D_6}{z_n \cdot tg \tau} = \frac{3,14 \cdot 600}{4 \cdot tg 25^\circ} = 932 \text{ мм} \quad (4.8)$$

Приймаємо $L_6 = 950\text{мм}$

Перевірка продуктивності подрібнювача

$$Q_6 = \frac{a \cdot \lambda_{\text{pp}} \cdot b \cdot \gamma \cdot z_n}{t} \geq Q_m \quad (4.9)$$

Висота горловини подрібнювача приймається $a = 0,06\text{ м}$, ширина горловини $b = L_6 = 1,2\text{ м}$

Тривалість одного оберту барабана визначається як

$$t = \frac{60}{n_6} = \frac{60}{1300} = 0,046\text{ с}$$

Тоді

$$Q_6 = \frac{0,06 \cdot 1,2 \cdot 2,0 \cdot 0,15 \cdot 4}{0,046} = 16,9\text{ кг/с}$$

4.2.2. Розрахунок параметрів шнека стебел

У процесі модернізації машини було оптимізовано механізм подачі листостеблової маси. Заміна однозахідного горизонтального шнека на двозахідний дозволила досягти більшої рівномірності руху листостеблової маси від центральної частини машини через похилу камеру до подрібнювального апарату.

Продуктивність шнека [5]

$$Q_{\text{ш}} = 47,1[(D_{\text{ш}} + 2\lambda)^2 - d^2] \cdot t \cdot \lambda \cdot \psi \cdot n \cdot \gamma \cdot c, \text{ т/год} \quad (4.10)$$

де $D_{\text{ш}}$ – зовнішній діаметр гвинтової поверхні шнека, м;

$\lambda = 3\text{--}20\text{мм}$ – за рекомендаціями виробника зазор між зовнішньою окрайкою гвинта і внутрішньою поверхнею кожуха;

d – діаметр валу шнека, м;

t – крок гвинта, м;

ψ – коефіцієнт заповнення;

n – частота обертання шнека, об/хв;

γ – об'ємна маса стеблової маси, т/м³;

c – коефіцієнт, який враховує зменшення продуктивності під дією кута нахилу шнека.

За умови максимальної урожайності гібриду кукурудзи ДБ Хотин української селекції 120 ц/га, продуктивність шнека визначиться

$$Q_{\text{ш}} = \frac{1}{2} W_{\text{м}} = \frac{1}{2} 120 = 60 \text{ ц/га} = 6,0 \text{ т/га}$$

З технічної характеристики продуктивність комбайна складає до 3,5га/год годинна продуктивність шнека визначиться

$$Q_{\text{ш}}^{\text{год}} = 3,5 \cdot 6 = 21 \text{ т/год}$$

За рекомендаціями заводу-виробника призначаємо

$$D_{\text{ш}} = 0,32 \text{ м}; d = 0,3 \text{ м}; \lambda = 0,02 \text{ м}$$

Рекомендована величина кроку шнека [5]

$$t = (0,8 \dots 1,0) D_{\text{ш}} = 0,9 \cdot 0,32 = 0,29 \text{ м} \quad (4.11)$$

Об'ємна маса стеблової маси

$$\gamma = 90 \text{ кг/м}^3$$

За умови, що шнек розміщується горизонтально $c = 1,0$

Коефіцієнт заповнення шнека $\psi = 0,4$

Частота обертання шнека

$$n_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{ш}}^{\text{год}}}{47,1[(D_{\text{ш}} + 2\lambda)^2 - d^2]t \cdot \psi \cdot \gamma \cdot c} \quad (4.12)$$

Тоді

$$n_{\text{ш}} = \frac{21,0}{47,1[(0,32 + 2 \cdot 0,02)^2 - 0,3^2]0,46 \cdot 0,4 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0} = 242,8 \text{ об/хв}$$

Призначаємо $n_{\text{ш}} = 245 \text{ об/хв}$

4.3. Енергетичні розрахунки

4.3.1. Розрахунок потужності, яка витрачається на привід шнека

Затрати потужності на транспортування листостеблової маси визначаються через показник продуктивності, довжину шнека та дальність

переміщення матеріалу. Також на енергоємність процесу впливають фізико-механічні властивості кукурудзи та інших факторів [5,19,21].

Розрахувати даний показник можна з виразу

$$N_{ш} = \frac{q_{ш} \cdot \lambda_{ш} (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}{102}, \text{ кВт} \quad (4.13)$$

де $q_{ш}$ – продуктивність шнека за секунду, кг/с;

$\lambda_{ш} = 4,2$ м – довжина шнека;

$f = 1,2 - 0,3$ – коефіцієнт опору руху стеблової маси по поверхні кожуха;

$\alpha = 0^0$ – нахил шнека.

Секундна подача (продуктивність) шнека

$$q_{ш} = 21,0 \frac{\text{т}}{\text{год}} = 5,8 \text{ кг/с}$$

Тоді

$$N_{ш} = \frac{5,8 \cdot 4,2 \cdot 1,0}{102} = 0,24 \text{ кВт}$$

$$N_{ш} = \frac{10,7 \cdot 4,2 \cdot 1,0}{102} = 0,44 \text{ кВт}$$

4.3.1. Розрахунок потужності на привід подрібнювача листостеблової маси

Для конструкції подрібнювача потужність на його привод розраховуємо з виразу [5,19,21]

$$N_{подр} = N_{хх} + q_{ш} \cdot N_{пит.п}, \text{ кВт} \quad (4.14)$$

де $N_{хх}$ – потужність холостого ходу барабана подрібнювача, кВт;

$N_{пит.п}$ – питома потужність подрібнювача, яка витрачається на подрібнення та транспортування подрібненої маси у транспортні засоби.

За даними заводу-виробника

$$N_{пит.п} = 2,3 - 2,5 \text{ кВт/(кг/с)}$$

Прийнявши $N_{хх} = 10$ кВт, $N_{пит.п} = 2,5$ кВт/(кг/с) і враховуючи, що $q_{ш} = 5,8$ кг/с, отримаємо

$$N_{подр} = 10 + 5,8 \cdot 2,5 = 24,5 \text{ кВт}$$

Висновки по розділу. У результаті проведених технологічних розрахунків обґрунтовано конструктивні параметри модернізованого комбайна КСКУ-6. Визначено оптимальні характеристики барабанного подрібнювача ($D = 600$ мм, $n = 1300$ об/хв), що забезпечують похиле різання та ефективне транспортування маси.

Встановлено, що впровадження двозахідного шнека підвищує рівномірність подачі сировини. Енергетичний аналіз підтвердив, що загальна потужність на привод робочих органів відповідає технічним можливостям машини.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Небезпечні і шкідливі і фактори при роботі комбайна КСКУ-6 і рекомендації щодо їх усунення

Кукурудзозбиральний комбайн КСКУ-6 є складною самохідною машиною, що виконує комплекс технологічних операцій: зрізування стебел, очищення качанів від обгорток обмолот качанів, подрібнення стебел та відвантаження зерна. Виконання цих процесів супроводжується дією численних небезпечних і шкідливих виробничих факторів на механізатора та обслуговуючий персонал.

5.1.1. Фізичні небезпечні та шкідливі фактори.

Рухомі частини та механізми. Комбайн КСКУ-6 обладнаний жатками, молотильним апаратом, подрібнювачем стебел, транспортерами та іншими органами з обертовим рухом. Контакт із незахищеними рухомими частинами є основною причиною виробничого травматизму при технічному обслуговуванні [7,8]. Згідно з вимогами охорони праці, усі небезпечні зони машини мають бути огорожені захисними кожухами та щитками. Регулювання, змащування і технічне обслуговування вузлів дозволяється виключно після повної зупинки двигуна та знеструмлення приводів. Ключ від запалення повинен зберігатися у механізатора під час проведення будь – яких ремонтних робіт.

Шум та вібрація. Під час роботи двигуна, жатної частини, подрібнювача, очисника качанів, молотильного апарату на робочому місці механізатора формується сталий шумовий фон. Нормативно допустимий рівень звуку на робочому місці самохідної сільськогосподарської машини становить 80 дБА відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [6]. Перевищення цього показника спричиняє стійке зниження слуху, порушення нервової системи та серцево – судинної діяльності. Для зниження шуму на робочому місці кабіна комбайна обладнана звукопоглинаючим облицюванням, ущільнювачами дверей та віброізолюючими підвісками сидіння. Механізатору рекомендується використовувати засоби індивідуального захисту органів слуху – протишумові навушники або вкладки класу захисту, що відповідає реальному рівню шуму.

Загальна та локальна вібрація передається на тіло оператора через сидіння та органи управління від ходової частини і приводних механізмів. Тривалий вплив вібрації понад нормативні значення призводить до вібраційної хвороби, уражень опорно – рухового апарату та периферійної нервової системи [8]. Для зменшення вібраційного навантаження на механізатора застосовуються: амортизоване підресорене сидіння з регулюванням за масою тіла, гумові віброізолятори в місцях кріплення кабіни до рами, а також підтримання належного технічного стану ходової частини – своєчасне регулювання тиску у шинах.

Запиленість повітря робочої зони. Збирання кукурудзи супроводжується утворенням значної кількості органічного пилу – подрібнені частки стебел, обгорток качанів, пилок та дрібне зерно. Концентрація органічного пилу у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 4 мг/м^3 [8]. Тривале вдихання пилу призводить до розвитку бронхіту та алергічних захворювань. Для захисту оператора кабіна оснащена системою вентиляції та кондиціонування з фільтрацією повітря. Технічне обслуговування, що виконується поза кабіною у запилених умовах, потребує обов'язкового застосування респіраторів [8].

Пожежна небезпека. Пожежна небезпека при роботі комбайна обумовлена одночасною наявністю джерел запалювання (нагріті деталі двигуна, системи випуску відпрацьованих газів, електричні контакти) та горючих матеріалів (паливо, мастила, рослинна маса). На комбайні обов'язково передбачається первинний засіб пожежогасіння – вогнегасник типу ВП-5 або ВВК-2, а також іскрогасник на вихлопній трубі. Щоденний огляд перед початком роботи включає перевірку відсутності накопичень рослинних решток на нагрітих поверхнях двигуна та очищення моторного відсіку від пилу [8].

5.1.2. Психофізіологічні фактори та мікроклімат

Напруженість та важкість праці. Тривала робота механізатора в умовах обмеженого простору кабіни, постійного контролю за станом машини та технологічним процесом спричиняє значне нервово – емоційне та зорове напруження. Важкість праці визначається вимушеною робочою позою та

монотонністю виробничого процесу. Для зниження стомлюваності рекомендується встановлення раціонального режиму праці та відпочинку з перервами тривалістю не менше 10 хвилин через кожні дві години роботи. Ергономічне організування робочого місця механізатора – регульоване сидіння, розташування органів управління в зоні оптимальної досяжності – також суттєво зменшує фізичне навантаження.

Несприятливий мікроклімат. Збирання кукурудзи в Україні відбувається переважно у вересні–жовтні, проте в окремі роки – в умовах підвищеної температури навколишнього середовища. Мікроклімат кабіни регламентується ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [8]: температура повітря в теплий період має становити 22–28°C, відносна вологість – 40–60%, швидкість руху повітря – не більше 0,2 м/с.

5.1.3. Організаційні заходи з охорони праці.

До керування комбайном КСКУ-6 допускаються особи, які: досягли 18 – річного віку; пройшли медичний огляд і не мають медичних протипоказань; мають посвідчення тракториста – машиніста; пройшли інструктажі з охорони праці та стажування під керівництвом досвідченого оператора.

Перед початком збирального сезону роботодавець зобов'язаний провести позаплановий інструктаж з особливостей безпечної роботи на даному типі машини та перевірити технічний стан комбайна.

Висновки по розділу. Таким чином, забезпечення безпечних і здорових умов праці при експлуатації кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 досягається комплексом технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів, що базуються на вимогах чинного законодавства з охорони праці. Систематичний контроль стану засобів захисту, дотримання правил технічного обслуговування та забезпечення операторів засобами індивідуального захисту дозволяють суттєво знизити ризик виробничого травматизму та профзахворювань.

6. Загальні висновки

Магістерська робота присвячена підвищенню ефективності роботи подрібнювача кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 шляхом обґрунтування раціонального кута встановлення ножів подрібнювального барабана.

У ході виконання роботи проведено критичний аналіз конструкції жатних частин та подрібнювальних апаратів кукурудзозбиральних машин. Встановлено, що сучасні кукурудзозбиральні машини реалізуються за двома технологічними схемами: з барабанним подрібнювачем і збором листостеблової маси та з різально-подрібнювальними апаратами з вертикальною віссю обертання в результаті роботи який утворюється подрібнена маса, яка рівномірно розподіляється по полю. Доведено, що машини першої групи, до яких належить КСКУ-6, є більш універсальними можливостями завдяки заготівлі силосу та використання маси на корм тваринам.

Порівняльний аналіз типів подрібнювальних апаратів – молоткових, ножових, дискових, вальцьових та комбінованих – показав, що найбільш ефективним для умов роботи комбайна КСКУ-6 є барабанний ножовий апарат із жорстким кріпленням ножів. Він забезпечує раціональне різання замість удару, формує рівномірний фракційний склад різки та характеризується питомими витратами енергії близько 10–16 кВт · год/т, що значно нижче, ніж у молоткових аналогів.

Теоретично обґрунтовано вплив кута встановлення ножів на силові та енергетичні показники процесу різання. Встановлено, що зусилля різання описується залежністю $P(\varphi) = P_0 \cdot \cos(\varphi)$ і монотонно зменшується зі збільшенням кута. Повна питома енергоємність є сумою двох складових: спадної $E_p = C_1 \cdot \cos^2(\varphi)$ та зростаючої $E_t = C_2 \cdot \sin(2\varphi)$, що дозволило аналітично вивести формулу оптимального кута: $\varphi_{\text{опт}} = \frac{1}{2} \cdot \arctg(2\mu)$. З урахуванням значення коефіцієнта тертя стебла кукурудзи по сталі $\mu = 0,60$ отримано $\varphi_{\text{опт}} \approx 25^\circ$. Цей результат підтверджується аналізом показників якості подрібнення, максимум яких досягається також у межах 15–25°.

У практичній частині роботи визначено конструктивні параметри модернізованого подрібнювача: діаметр барабана – 600 мм, частота обертання – 1300 об/хв, довжина барабана – 1200 мм. Запропоновано заміну однозахідного шнека стебел на двозахідний, що забезпечує рівномірну подачу листостеблової маси до подрібнювача та зменшує пульсуючі навантаження на робочі органи. Розрахована потужність приводу подрібнювача – 24,5 кВт, що відповідає технічним характеристикам машини.

Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації комбайна КСКУ-6, які забезпечують захист від небезпечних механічних, шумових і вібраційних факторів, нормалізацію мікроклімату кабіни та організаційні вимоги до допуску механізатора до виконання своїх функцій.

Список використаної літератури

1. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін. 2016. 204 с.
2. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки. : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін, 2019. 164 с.
3. Врожайність кукурудзи в Україні: топ-5 областей у сезоні 2025. URL: <https://latifundist.com/novosti/69206-vrozhajnist-kukurudzi-v-ukrayini-top-5-oblastej-u-sezoni-2025>.
4. Гевко Б. М. Сільськогосподарські машини. Конструкції та розрахунок : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2012. 280 с.
5. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
6. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : затв. постановою Гол. держ. санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37. Київ, 1999. 34 с.
7. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 28 с.
8. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. : навч. посібник. Київ : «Основа», 2011. 551 с.
9. Іванов І. І., Петренко О. О. Дослідження процесу подрібнення листостеблової маси кукурудзи. Техніка і технології АПК. 2019. № 3. С. 15–20.
10. Кравчук В. І., Мельник Ю. Ф. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Урожай, 2005. 480 с.

11. Машини для збирання зернових культур. URL: <https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/Agricultural%20machinery/6/6.3.htm>.
12. Машини для збирання зернових та технічних культур : посібник / за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. – Дослідницьке : УкрНДПБТ ім. Л. Погорілого, 2009. – 296 с.
13. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник [Текст] / [О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.], К.: Мета – 2003. - 448 с.
14. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Практикум [Текст] / [Д. Г. Войтюк, О. М. Царенко, С. С. Яцун та ін.], К.: Аграрна освіта. – 2000. – 93 с.
15. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні : затв. наказом М-ва внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417. Київ, 2014. 84 с.
16. Павленко Р.А. Обґрунтування діаметру протягувальних вальців / Р.А. Павленко, Ю.В. Мачок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький: ЦНТУ. 2019. – С. 23-25.
17. Пастухов В. І. Машини для заготівлі кормів : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2010. 350 с.
18. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 “Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва”. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / за редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. – Кам’янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011.- 640 с.
19. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. , Мартишко В.М. , Гуменюк Ю.О. – Київ : «Агроосвіта», 2017. – 180 с.

20. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
21. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : підручник / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало ; за ред. М.І. Черновола. – Київ : Урожай, 2002. – Кн.2 : Машини для рільництва. – 2002.– 364 с.
22. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Engineering principles of agricultural machines. 2nd ed. St. Joseph, MI : ASABE, 2006. 588 p.
23. Технічні культури: навч. посібник / О.С. Городецький, Л.М. Качан, С.П. Вахній, В.С. Хахула; За ред. О.С. Городецького.- Біла Церква, 2018.– 288 с.
24. Технологія заготівлі кукурудзяного силосу Shredlage від Claas. URL: <https://traktorist.ua/technologies/32-tehnologiya-zagotivli-kukurudzyanogo-silosu-shredlage-vid-claas>.
25. Українські аграрії придбали 3029 комбайнів в 2021 р. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/news-agro/ukrainski-agrarii-pridbali-3029-kombayniv-v-2021-r>.
26. Частка агропродукції в загальному експорті України складає 58%. URL: <https://agroportal.ua/news/ukraina/chastka-agroprodukciji-v-zagalnomu-eksporti-ukrajini-skladaye-58>.