

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЯЦЕНКО ВІТАЛІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 631.363.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ПОДРІБНЕННЯ
КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

_____ В.Ю. Яценко

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Яценко Віталій Юрійович. Обґрунтування параметрів системи подрібнення кормозбиральних комбайнів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В роботі викладені основні вимоги до сучасних кормозбиральних комбайнів, проведено аналіз конструкцій та технологічного процесу різання та подрібнення суміші корму. Встановлено основні переваги та недоліки систем подрібнення матеріалу. Під час виконання досліджень дана класифікація подрібнювальних апаратів, проведено аналітичне обґрунтування параметрів системи фрикційно-подрібнювальних вальців, в залежності від кінематичних показників її роботи.

Узгоджено теоретичні передумови проектування конструкційних параметрів плющильно-подрібнювального апарату для приготування силосів та сінажів із бобовозлакових та технічних культур. Запропоновано удосконалену конструкцію системи плющильно-вальцевого подрібнення, проведено динамічний аналіз режимів роботи на якість виконання з метою максимального збереження крохмалю.

В процесі дослідження технологічного процесу було змодельовано динамічну модель плющильно-подрібнювального апарату для кормозбирального комбайну. Отримано математичні моделі, які описують досліджувані процеси та графічні залежності впливу конструкційних параметрів на якісні технологічні показники роботи апарату подрібнення.

Ключові слова: кормозбиральний комбайн, подрібнювальний апарат, плющильно-подрібнювальні вальці, імітаційна модель, технологічні показники.

SUMMARY

Yatsenko Vitaliy. Substantiation of parameters of the system of crushing of forage harvesters. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The main requirements to modern forage harvesters are stated in the work, the analysis of designs and technological process of cutting and grinding of a forage mix is carried out. The main advantages and disadvantages of material grinding systems are established. During the research the classification of grinding devices is given, the analytical substantiation of parameters of system of friction-grinding rollers, depending on kinematic indicators of its work is carried out.

Theoretical prerequisites for designing the design parameters of the flattening and grinding apparatus for the preparation of silos and haulages from legumes and industrial crops have been agreed. The improved design of the system of flattening-roller grinding is offered, the dynamic analysis of operating modes on quality of execution for the purpose of the maximum preservation of starch is carried out.

In the course of research of technological process, the dynamic model of the flattening and crushing device for the forage harvester was modeled. Mathematical models are obtained, which describe the studied processes and graphical dependences of the influence of structural parameters on the qualitative technological indicators of the grinding apparatus.

Key words: forage harvester, crushing machine, flattening and crushing rollers, simulation model, technological indicators.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОДРІБНЕННЯ МАСИ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ТА КОМБАЙНІВ	
1.1. Огляд конструкцій подрібнювальних апаратів кормозбиральних машин.....	7
1.2. Аналіз подрібнювальних апаратів зернової частини кормозбиральних комбайнів.....	11
Висновки до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНО-ПЛЮЩИЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА	
2.1. Моделювання робочого процесу подрібнювально-плющильних вальців кормозбиральних комбайнів.....	14
2.2. Теоретичні передумови плющильних апаратів кормозбиральних комбайнів.....	18
2.3. Визначення продуктивності вальцевого подрібнювального апарата...	20
Висновки до розділу 2.....	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТА КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА	
3.1. Вплив довжини різання матеріалу на подрібнення маси.....	24
Висновки до розділу 3.....	27
ЗАГАЛІНІ ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність теми. Основний обсяг кормів, що закладається, здійснюється кормозбиральними комбайнами. Самохідний кормозбиральний комбайн є досить складною мобільною сільськогосподарською машиною, яка в технологічному процесі послідовно здійснює операції скошування, різання, подрібнення та навантаження подрібненої рослинної маси в транспортний засіб.

Створення сучасного високопродуктивного кормозбирального комбайна пред'являє спеціальні вимоги до надійності виконання ним технологічного процесу, оскільки, невірбничі простоя через поломки, забивання робочих органів призводять до зменшення їх експлуатаційної продуктивності до 20%, а недостатня надійність технологічного процесу - до зниження якості кормів, що заготовлюється. Тому, подальший розвиток та удосконалення робочих органів, як основних та найбільш енергоємних з них - подрібнювальних апаратів різних типів, методами комп'ютерного моделювання технологічних операцій, створення алгоритмів та сучасних методик дослідження їх роботи та розрахунку параметрів, є актуальною технічною задачею.

Метою роботи є: проектування, обґрунтування та розрахунок плющильно-подрібнювального апарату системи різання кормозбиральних комбайнів.

Щоб досягнути поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз сучасних систем подрібнення маси кормозбиральних машин та комбайнів
2. Провести синтез та обґрунтування раціональних параметрів системи різання рослин та подрібнювально-плющильного апарату зернової частини корму.
3. Провести дослідження технологічного процесу подрібнення стебел рослин, за допомогою імітаційно моделі системи та встановити вплив конструкційних параметрів на технологічні показники роботи подрібнювального апарату кормозбирального комбайна.

Об'єкт дослідження – технологічний процес подрібнення маси корму.

Предмет дослідження – вплив зміни конструкційних параметрів на технологічні показники роботи подрібнювального апарату кормозбирального комбайна та взаємозв'язок їх з якісними показниками роботи.

Методи виконання роботи. Робота виконувалась з використання теорії різання сільськогосподарських матеріалів, розрахунку конструкційних параметрів машин, застосовувались алгоритми та комп'ютерні моделі, а також методики розрахунків, на основі яких досліджено подрібнювальні апарати кормозбиральних комбайнів.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Яценко В. Ю. Теоретичні передумови площинних апаратів кормозбиральних комбайнів / В. Ю. Яценко, М. Л. Заєць // Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 55-57.
2. Заєць М. Л. Результати дослідження розподілу початкової маси цукрових буряків / М. Л. Заєць, В. Ю. Яценко // *Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021»*. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 61-65.
3. Заєць М.Л. Огляд конструкцій подрібнювальних апаратів кормозбиральних машин / М. Л. Заєць, В. Ю. Яценко //Зб. Тез *VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* Ж.: ЖАТК, 2021. С.145-147.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 31 сторінка рукописного тексту, 18 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОДРІБНЕННЯ МАСИ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН ТА КОМБАЙНІВ

1.1. Огляд конструкцій подрібнювальних апаратів кормозбиральних машин

Вітчизняне сільськогосподарське машинобудування випускає кормозбиральні машини низької потужності (до 120 кВт) та середньопотужні (120-180 кВт) марок КПФ-30, КПИ-Ф-2,4А, КРП-Ф-2, виробництва "БІЛОЦЕРКІВМАЗ" м. Біла Церква, машина ККЗ-150 "Олімп" та КЗК-4,2 ВАТ "Борекс" с.м.т Березянка Київська область. Основна маса сучасних високопродуктивних машин це імпортовані зарубіжні кормозбиральні комбайни потужністю від 300 до 650 кВт виробництва Євросоюзу, як (Krone, Claas), Сполучені Штати Америки, такі як (John Deere, New Holland) [1].

Основним робочим органом кормозбирального комбайна є різальний апарат та подрібнювальний пристрій маси кормів. Конструкція виконання даної системи приготування кормів визначає технологічно-компоновочну схему машини і розміщення його агрегатів [2, с. 169].

У кормозбиральних комбайнах застосовують два види апаратів точного різання – барабанний і дисковий. Енергія різального пристрою використовують для подачі маси в силосопровід. Основна кількість сучасних самохідних кормозбиральних машин, обладнана барабанною подрібнювальною системою, яка складається із різального барабану, замкнутого корпусом, подавально-притискні вальці, плющильно-подрібнювальний пристрій зернової частини кормів. Різальний апарат включає в себе барабан циліндричної форми, із встановленими в ньому дисками, до яких кріпляться ножі (рис. 1.1.). ножі на барабані можуть встановлюватись в різному порядку лінійно або під кутом, так зване V-подібне розташування, під кутом до твірної циліндра [3, с. 170].

Майже всі різальні апарати мають автоматичну систему загострення ножів та сервогідропривід зміни зазору між ножами і протиризальною пластиною.

В основному різальні барабанні апарати (рис. 1.1.) кормозбиральних машин закритого та відкритого виконання (John Deere, Claas, Krone, New Holland, та ін.) виготовляються двох або чотирьох секційні з V-подібним розташування ножів, що забезпечує енергоефективне різання ковзанням і високу ступінь подрібнення і являться динамічно врівноваженим способом подрібнення. При такому способі різання, маса концентрується по центру барабана, що забезпечує формування потоку маси, пониження сили тертя по внутрішнім поверхням трубопроводу та зменшення витрат енергії на переміщення.



Krone, BIG X 500, 650, 800, 1000



Claas, "Jaguar" V-Max серії 930-98



John Deere, Dura-Drum



New Holland серії FR 9000

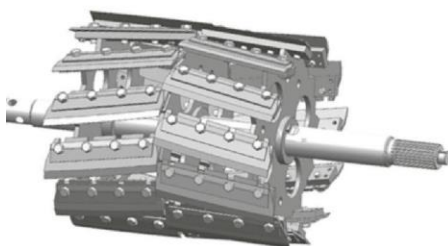


Рис. 1.1. Загальний вид різальних барабанів різних виробників кормозбиральних машин

Барабани закритого типу мають більшу жорсткість, тому більшість виробників кормозбиральних комбайнів переформатувались на дану конструкцію. Основною перевагою барабанних різальних апаратів є значний

момент інерції тіла, що призводить до стійкої роботи та зростання продуктивності системи.

До недоліків барабанних систем подрібнення можна віднести високу споживану потужність для різання та створення потужного повітряного потоку для транспортування маси.

Поряд з барабанними різальними апаратами машинобудівники виготовляють і дискові різальні апарати (рис. 1.2.). Апарати такого типу встановлюють, в основному, на причіпні і напівпричіпні кормозбиральні машини. Такі машини виготовляються виробниками КДП-3000 виробництва "Гомсільмаш", "Champion", Kemper, КПі – 2,4 та іншими. Дисковий апарат має наступну будову: диск закріпленими ножами, завантажувальної камери і циліндричного корпусу з вивантажувальною камерою. Форма ножів виготовляється прямолінійно і встановлюються радіально або під кутом відносно радіальної лінії в одному або зворотньому напрямку. Біля ножів на диску встановлюються радіальні лопаті для надання кінетичної енергії подрібненій масі.

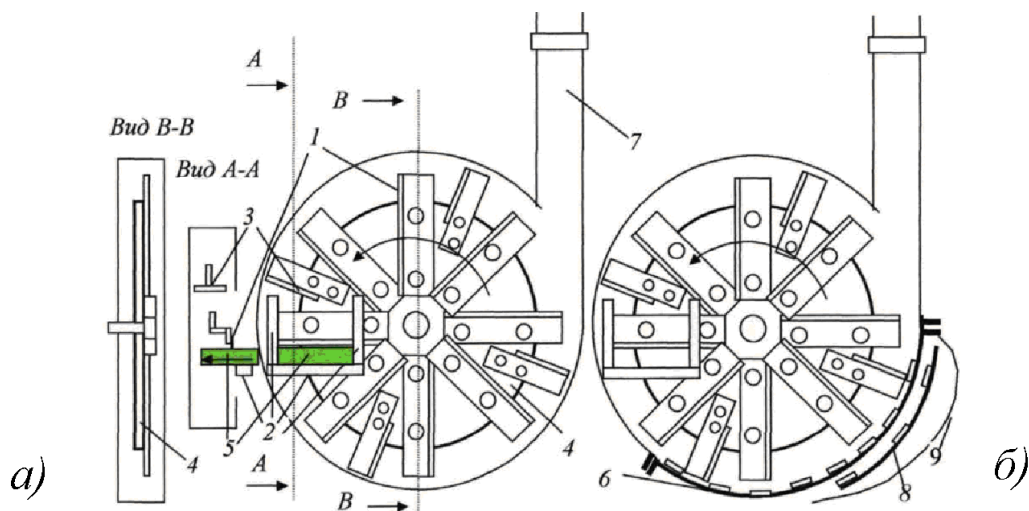


Рис. 1.2. Дисковий різальний апарат з гладенькою (а) та решітчастою (б)

декою:

1 - ніж; 2 - протиризальна пластина; 3 - транспортувальна лопать; 4 - диск; 5 - сформований потік стебл; 6 - решітчаста дека; 7 - силосопровід; 8 - дека; 9 - козух

Робочий діаметр диска різального апарату регулюється в межах 670 ... 1200 мм, по торцях ножів. Колова швидкість обертання сягає $V_k = 30...50$ м/с, мінімальна швидкість різання становить $V_{min} = 18...22$ м/с.

Дискові різальні апарати мають ряд недоліків, до яких можна віднести не велика ширина потоку маси стебел, що зумовлено невеликим радіусом різання. Це обмеження не дозволяє досягти високої продуктивності апарату, а також виникає незрівноважене навантаження на підшипники вала дискового апарату. Основним недоліком плоского ножа є високі енергетичні показники його роботи, і як наслідок перевантаження вузла підшипників вала. Але, в основному встановлюються саме плоскі ножі, виходячи з умови простоти їх конструкції.

Поряд з розповсюдженими барабанними та дисковими різальними апаратами рідше використовується роторний тип апарату, який має наступну будову: ротор з горизонтальною віссю обертання, на якому шарнірно встановлено ножі в комбінації з лопатями для створення потоку маси та протирізальна пластина і корпуса з вивантажувальним патрубком (рис. 1.3.).

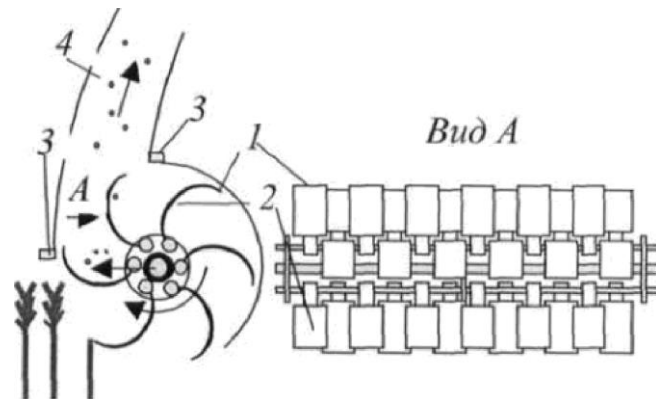


Рис. 1.3. Роторний різальний апарат

1 – ніж; 2 – лопать ножа; 3 – протирізальна пластина; 4 – вивантажувальна камера.

Даний подрібнювальний апарат має діапазон регулювань по діаметру від 550 до 850 мм та довжини до 2000 мм. Ротор має діапазон частот в межах 1000 до 1500 хв^{-1} , колову швидкість ножів $V_k = 30$ до 62 м/с. різальні країки ножів встановлені аксіально осі обертання ртора, що створює різання маси рубанням.

Слід відмітити, що перевага в простоті конструкції та невибагливість і надійність, основними недоліками такого апарату є висока енергоємність, низька продуктивність та різання стебел розривом, що не дозволяє отримати фракцію однаково довжини [3, 4].

1.2. Аналіз подрібнювальних апаратів зернової частини кормозбиральних комбайнів

Успіх підприємства безпосередньо залежить від якості заготовленого подрібненого силосу. Сучасні комбайни обладнані подрібнюючою системою або дробаркою зерна CORN CRACKER (рис. 1.4.) машини CLAAS JAGUAR яка відносяться до найефективнішої системи, пропонованої нині на світовому ринку. Завдяки їй можна досягти найвищої якості кормів, що повністю задовольнить виробників – при збиранні кукурудзи та інших культур за допомогою системи подрібнення маси CORN CRACKER. Кукурудзяний силос – найважливіший різновид основного корму. Для підготовки оптимального корму зерна кукурудзи мають бути подрібнені. Подрібнювач CORN CRACKER в комбайні JAGUAR має пилкоподібний зубчастий профіль із зустрічним рухом (на вибір 80, 100 або 125 зубів по колу вальця). Різна швидкість обертання обох вальців і зазор між ними зручно регулюється з кабіни водія або гідромеханічним приводом безпосередньо на дробарці CORN CRACKER [5]



Рис. 1.4. Подрібнююча система CORN CRACKER комбайна CLAAS JAGUAR

На (рис. 1.5.) показано систему подрібнювального апарата кормозбирального комбайна KRONE BIG X 1180.

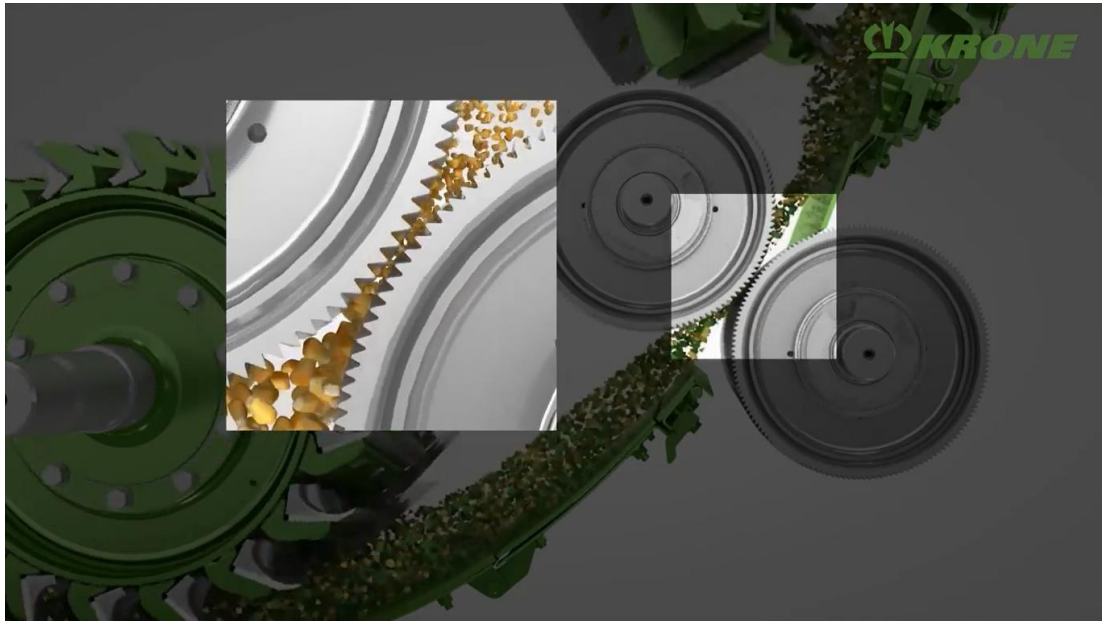


Рис. 1.5. Подрібнювальний апарат кормозбирального комбайна KRONE BIG X 1180.

З рисунка видно, що робочі органи даного апарату подібні до апарату фірми КЛААС, а це підтверджує одноманітність та необхідність в розробці нових більш ефективних пристроїв для подрібнення зернової частини силосної маси.

Пристрій доподрібнювальний (рис. 1.6, а) комплекс кормозбираний високовиробничий КВК-800 «ПОЛІССЯ-800» виробництва Білорусь, призначений для дроблення та плющення зерен кукурудзи у фазі воскової або повної стиглості зерна. Руйнування зерен здійснюється за допомогою двох рифлених вальців 14, 21, що обертаються з різною частотою, на 20%. На заводі між вальцями виставлено мінімальний зазор 1...2 мм. Мінімальний зазор фіксується упором 27 і 26 контргайкою на тязі 20 пружини. Щоб уникнути аварійної поломки, мінімальний зазор змінювати не рекомендується. Робочий зазор між вальцями становить від 1,5 до 6 мм. Регулювання зазору гідросистемою (рис. 1.6,б).

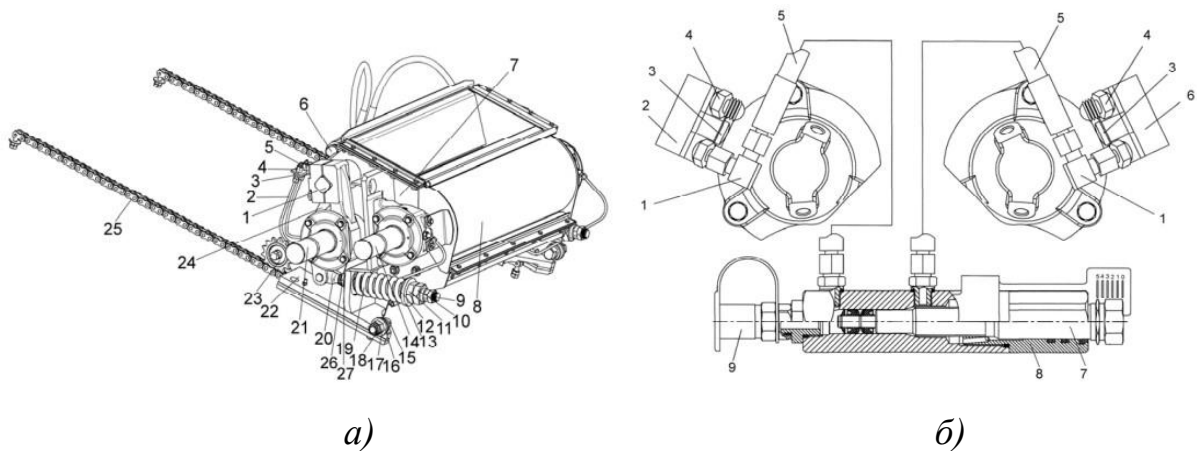


Рис. 1.6. Пристрій доподрібнюючий (а) з гідросистемою регулювання зазору(б):

а) 1 – вал; 2 – трубка; 3, 11, 17 – гайки; 4 – штуцер; 5 - маслянка; 6 – гідросистема регулювання зазору; 7 – корпус; 8 – кожух верхній; 9, 10, 18, 26 – контргайки; 12 – гільза; 13, 16 - шайби; 14 - валець верхній; 15, 27 - упор; 19 – пружина; 20 – тяга; 21 – валець нижній; 22 – опора; 23 – механізм переміщення; 24 – кожух нижній; 25 – ланцюг; б) 1 – косинець; 2, 6 – штовхачі; 3 – поршень; 4 – клапан перепускний; 5 – рукав; 7 – шток; 8 – циліндр; 9 – напівмуфта

Висновки до розділу 1

Проведено аналіз конструкцій відомих подрібнювальних апаратів сучасних кормозбиральних машин, зокрема барабанного, дискового та роторного типу, дозволяє зробити висновок, що зусилля і енергоефективність різання матеріалу, доцільно виконувати апаратами з косим ударом та V-подібними ножами. Компоновки різальних систем, які мають барабанний різальний тип подрібнювача, в парі з вальцевим подрібнювачем зернової частини культур підвищує якість заготовки кормів. Даний технологічний процес подрібнення стеблової маси і аналогічна компоновка подрібнювального пристрою були прийняті у якості моделі удосконалення та предмета досліджень. Запропонована проектна модель пристрою може бути застосована за встановлення раціональних конструкційних параметрів і режимів роботи подрібнювального апарату системи.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНО-ПЛЮЩИЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

2.1. Моделювання робочого процесу подрібнювально-плющильних вальців кормозбиральних комбайнів

Успіх підприємства безпосередньо залежить від якості заготовленого подрібненого корму. Приймавши рішення на користь сучасних інтегрованих систем подрібнення, ми отримуємо якісний силос та сінаж. Нові кормозбиральні машини, обладнані подрібнювальними системами і апаратами для подрібнення типу “CORN CRACKER”, які відносяться до найбільш ефективних, запропонованих в даний час на світовому ринку, забезпечують цей процес отримання такого корму в достатній мірі [5]. Але під час проектування та подальшої експлуатації даних машин виникають нові недоліки даних систем такі як, недостатній ступінь подрібнення зернової частини культури, яку збирають, оскільки подрібнювальні механізми, досить у великій мірі впливають на зниження робочої швидкості агрегату, шляхом зупинки повітряного потоку від барабана, і як наслідок, зниження продуктивності.

Ми пропонуємо вдосконалити дану систему (рис. 2.1.), завдяки, якій можна домогтися найвищої якості кормів, щоб повністю задовольнить виробників - при збиранні кукурудзи та інших культур за допомогою сучасних кормозбиральних машин.

Диски конічної форми на периферії (рис. 2.1.б), які утворюють вальці, що є конструкційно модернізовано в доподрібнювачі, монтуються на привідні вали, за допомогою шліцевого з'єднання. Такий монтаж дозволяє надійно фіксувати диски з відповідним кроком встановлення. Завдяки конічній формі виступів дисків, ми збільшили робочу площу подрібнення в 2.7 разів при незмінній ширині камери транспортуючого каналу, у порівнянні із довжиною гладеньких вальців.

Це розширює діапазон регулювання робочого зазору між вальцями при незмінній пропускній здатності. Конструкція диска у формі зрізаного конуса дозволяє збільшити довжину робочого зазору. Зміна колових швидкостей дисків у зоні подрібнення та плющення, дозволяє виконувати процес з достатньою ефективністю, при однаковій частоті обертання вальців, це ефект створюється з умови різниці даметрів конічних дисків (2.1, б).



a)

б)



в)

Рис. 2.1. Вальці які встановлюються (*a*) та запропонована конструкція інтегрованих подрібнювальних вальців (*б, в*)

Кукурудзяний силос - найважливіша різновид основних кормів. Для підготовки оптимального корму зерна кукурудзи повинні бути роздріблені. Запропонований подрібнювач в системі комбайна відповідає за:

- Інтенсивну обробку корму зубоподібний профіль із зустрічним напрямом обертання
- З можливістю інтенсифікації процесу подрібнення 80, 100 або 125 зубів по колу вальців
- Різну швидкість обертання обох вальців
- Зазор між вальцями регулюється з місця оператора комбайна гідромеханічним приводом безпосередньо на подрібнювачі.

Висока продуктивність подрібнення і однорідність маси безпосередньо взаємопов'язані. Якість різання є необхідною умовою для створення ідеального силосу, придатного для біогазових установок. Крім продуктивності, все більша увага приділяється ефективності. Безперервне вдосконалення систем різання та подрібнення призводить до поліпшення умов експлуатації машин та розширює можливості використання кормозбиральних комбайнів, наприклад використання їх для виробництва біогазу.

Для оптимального виробництва силосу потрібно висока якість: ідеальна довжина різання в поєднанні з правильною підготовкою рослин і зерна. Ножі, розташовані за V-подібною схемою, забезпечують косе різання максимально близько до протиріжучої пластини (рис. 2.2.). За рахунок цього створюється однорідна маса (рис. 2.3.). Живильні вальці ущільнюють масу під навантаженням близько 3 т перед протирізальною пластиною, формуючи матеріал.



Рис. 2.3. Моделювання процесу формування з ущільненням маси та подрібнення

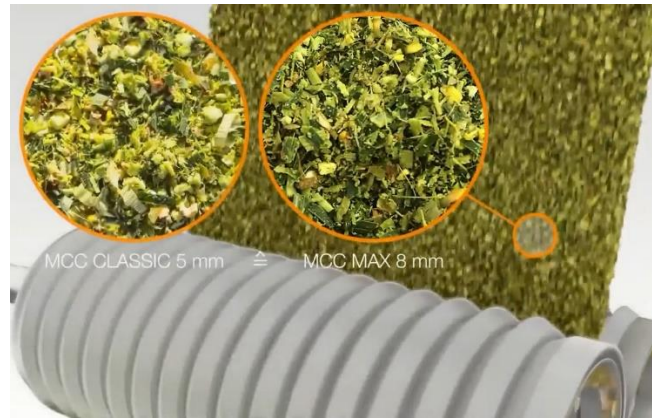


Рис. 2.3. Однорідність маси при різних показниках довжини різання

Чим більше поверхня субстрату, тим більше площа впливу мікроорганізмів. Це - ази виробництва силосу.

Довжина різання зручно регулюється з кабіни. З 28 стандартними ножами можна налаштувати довжину різання кукурудзи від 3,5 до 15 мм.

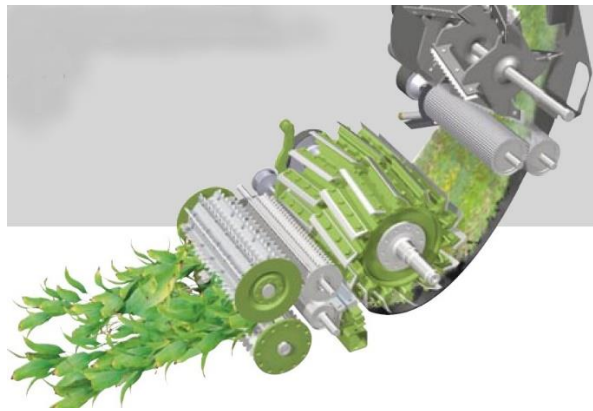


Рис. 2.4. Технологічна схема-модель подрібнення стеблової маси кукурудзи



Рис. 2.5. Модель ступеня подрібнення різними інтегрованими вальцями

2.2. Теоретичні передумови плющильних апаратів кормозбиральних комбайнів

Під час подрібнення матеріалу вальцевими апаратами кормозбиральних комбайнів потрібно, щоб виконалась умова зтягування маси рухомими поверхнями вальців у робочий зазор (рис. 2.6.).

Подрібнювальні вальці мають осі обертання O_1 і O_2 на матеріал діють сила тяжіння, сили реакції по нормалі N_1 і N_2 та сили тертя F_1 і F_2 . Робоча щілина вальців має висоту h . Маса частинки матеріалу незначна, тому сила ваги G є набагато меншою ніж сумарна сила тертя F , за рахунок цього створюються умови процесу зтягування частинки подрібненого матеріалу. Звідки умова буде мати наступний вигляд [8, с. 182]:

$$F_{1y} > N_{1y} \cdot \quad (2.1)$$

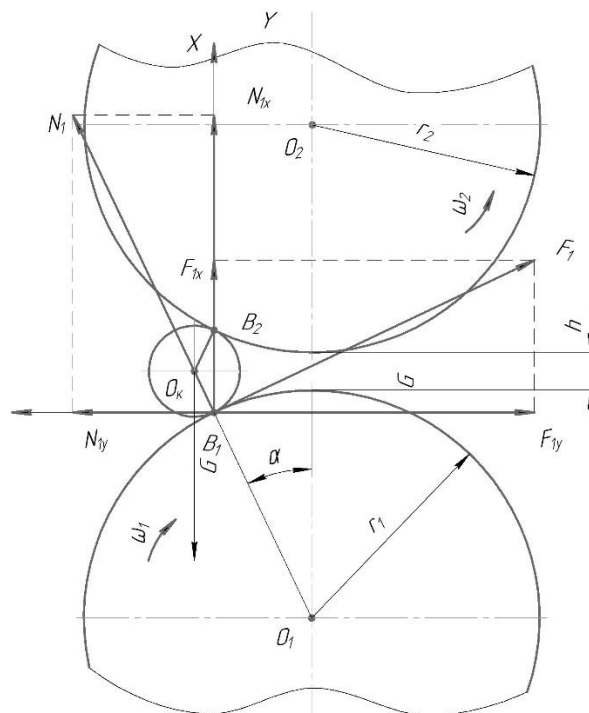


Рис. 2.6. Схема захоплення маси вальцями подрібнювального апарата

Звідки

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha, \text{ а } F_1 = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

тоді

$$F_{1y} = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \alpha, \quad (2.2)$$

Визначемо нормальну реакцію

$$N_{1y} = N_1 \cdot \sin \alpha. \quad (2.3)$$

Піставивши отримані вирази (2.2) і (2.3) у нерівність (2.1) визначимо умову захвату частинки матеріалу:

$$\operatorname{tg} \varphi \geq \operatorname{tg} \alpha \quad \text{або} \quad \varphi \geq \alpha. \quad (2.4)$$

Аналізуючи отриману умову, можна стверджувати, проходження частинки матеріалу між вальцями відбудеться за умови, коли кут входження буде мати менше значення з α ніж кута тертя матеріалу по сталі φ .

Значення кута входження α визначають залежності від розмірів робочих діаметрів вальців d_1 і d_2 , розмірів частинки матеріалу d_κ і висоти щілини h [9, с. 202]:

$$\cos \alpha = \frac{r_1 + \frac{h}{2}}{O_1B_1 + \frac{d_\kappa}{2}} = \frac{d_1 + h}{d_1 + d_\kappa}. \quad (2.5)$$

Застосувавши теорему косинусів кут входження частинки визначиться як:

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{d_1 + h}{d_1 + d_\kappa} \right)^2}. \quad (2.6)$$

тоді

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{d_1 + h}{d_1 + d_\kappa} \right)^2}}{\left(\frac{d_1 + h}{d_1 + d_\kappa} \right)^2} = \sqrt{\frac{(d_1 + d_\kappa)^2 - (d_1 + h)^2}{(d_1 + h)^2}} = \sqrt{\frac{(d_1 + d_\kappa)^2}{(d_1 + h)^2} - 1}.$$

Тоді умова захвату частинки корму подрібнювальними вальцями буде мати вигляд:

$$\operatorname{tg} \varphi \geq \sqrt{\frac{(d_1 + d_\kappa)^2}{(d_1 + h)^2} - 1}. \quad (2.7)$$

Отже нами встановлено теоретичні передумови для проектування та розробки конструкційно-технологічних параметрів подрібнювальних пристроїв кормозбиральних комбайнів для приготування силосу та сінажу із злакових та бобових культур. Що дає змогу визначити, відповідно умові, діаметр вальців d_k та регульовальний діапазон зазору h

2.3. Визначення продуктивності вальцевого подрібнювального апарата

Відповідно [9, с. 254, 10, с. 212] продуктивність вальцевого подрібнювального апарата можна визначити :

$$Q = 60V \cdot \gamma_M \cdot n_{вал}, \quad (2.8)$$

де V – об'єм маси, що потрапляє до вальців за оборот, м^3 ;

γ_M – густина подрібненого корму, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$n_{вал}$ – частота вальця, хв^{-1} .

За один оберт вальці захоплюють об'єм корму V , який дорівнює сумі всіх об'ємів захваченим одним диском вальця V_i на кількість дисків $z+1$.

$$V = \sum V_i \cdot (2z + 1), \quad (2.9)$$

де V_i – об'єм маси, який потрапляє на один диск вальця, м^3 .

z – кількість дисків на вальці, шт;

Об'єм маси, який потрапляє на один диск вальця V_i можна розрахувати (рис. 2.7.) з формули:

$$V_i = \pi \cdot h_k \cdot (d_{к\delta} + h_k) \frac{l_\delta}{z}, \quad (2.10)$$

де $d_{к\delta}$ – діаметр основи конуса диска, м,;

h_k – висота конуса диска, м;

l_δ – відстань між дисками, м.

Виходячи з умови, що робочий об'єм між вальцями не може бути зайнятий масою повністю, тобто коефіцієнт заповнення частинками $k \leq 1$, [10, с.218].

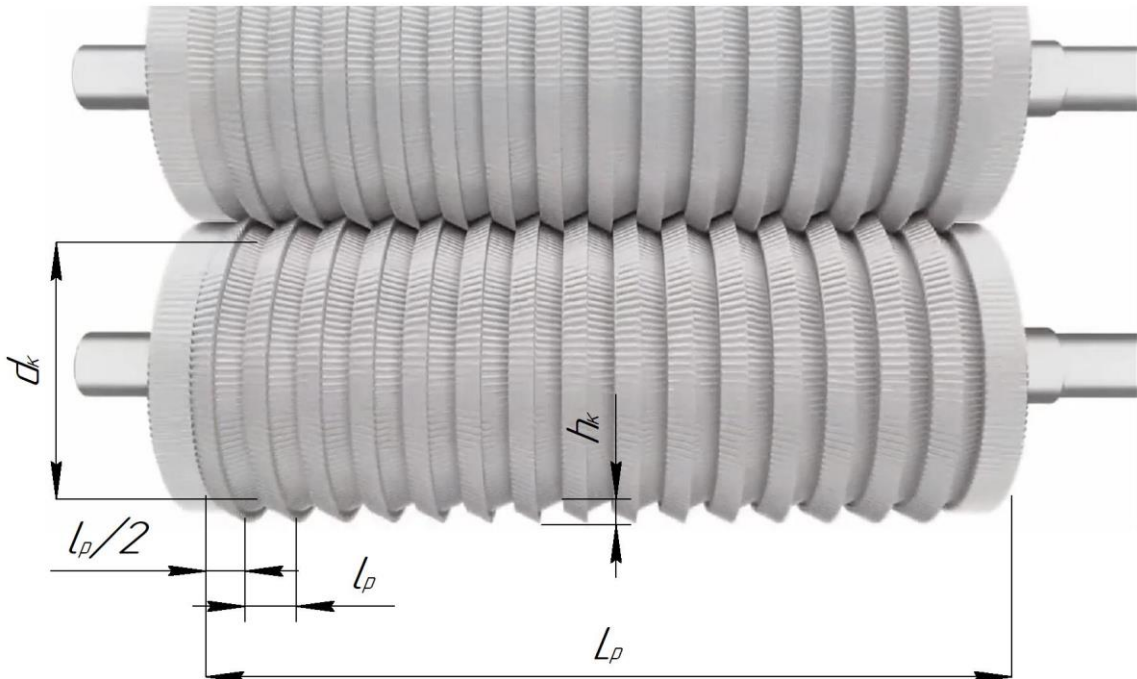


Рис. 2.7. Розрахункова схема подрібнювального апарату

Тоді математична модель для знаходження продуктивності вальцевого подрібнювального апарату можна записати:

$$Q_{BA} = 60\pi h_k \cdot (d_k + h_k) \cdot l \cdot (2z + 1) \cdot \gamma_m \cdot n_{вал} \cdot k. \quad (2.11)$$

Визначивши робочу ширину подрібнювального апарату:

$$L_p = (2z + 1) \cdot l_p, \quad (2.12)$$

і порахувавши частоту обертання вальця:

$$n_{вал} = \frac{30\omega_{вал}}{\pi}, \quad (2.13)$$

Підставивши дані у вираз (2.11) отримаємо:

$$Q_{BA} = 1800h_k (d_k + h_k) \cdot L_p \cdot \gamma_m \cdot \omega_{вал} \cdot k. \quad (2.14)$$

Аналізуючи отриману модель (2.14) визначення продуктивності подрібнювального апарату, можемо побачити прямопропорційний зв'язок між продуктивністю та висотою конуса диска (h_k), значенню ($D_{вал}$), робочою

шириною камери подрібнення (L_p), частотою обертання ($n_{\text{вал}}$) та густини частинок корму (γ).

Підставивши значення об'ємної маси силосу в межах $150 - 200 \text{ кг/м}^3$, ширини вальця $L_p = 1,32 \text{ м}$ та висоту конуса диска $h_k = 0,12 \text{ м}$, діаметр вальців $D_{\text{вал}} = 0,28 \text{ м}$ і частоту обертання привідного вала $n_{\text{вал}} = 1120 \text{ хв}^{-1}$ пропускна здатність подрібнювального апарату склала $155 - 170 \text{ т/год}$. З врахуванням коефіцієнта заповнення щілини між вальцями $k = 0,7-0,8$, продуктивність системи подрібнення можливо становитиме $108,5 - 136 \text{ т/год}$.

На основі отриманих даних побудували графічну залежність пропускної здатності вальцевого подрібнювального апарату в залежності від об'ємної маси матеріалу, що обробляється (рис. 2.8).

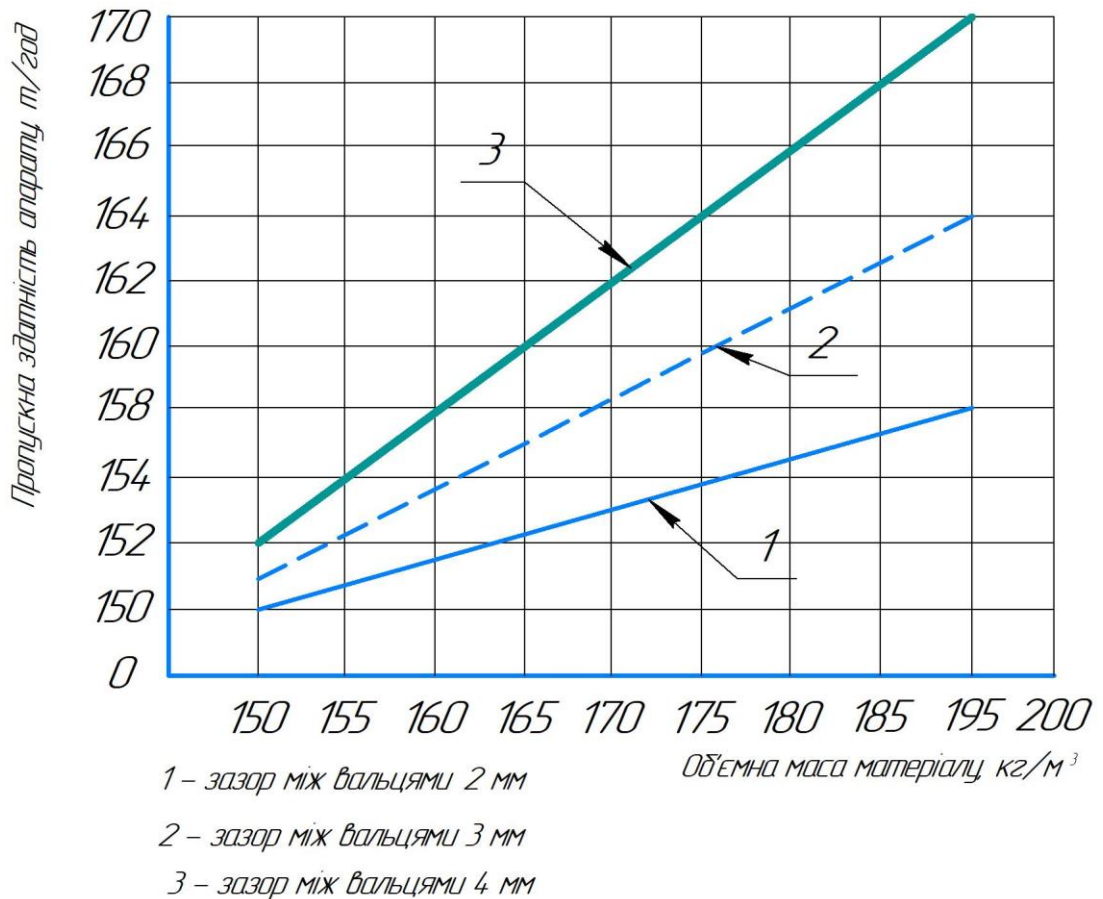


Рис. 2.8. Графічна залежність пропускної здатності вальцевого подрібнювального апарату в залежності від об'ємної маси матеріалу

Отримані дані аналітичного дослідження продуктивності подрібнювального апарату зерново частини кормів (по факту пропускної здатності пристрою) свідчать, що ступінь подрібнення матеріалу на пряму залежить від довжини фракції різання барабаном різального апарату, тому подальші дослідження потрібно провести в цьому напрямку.

Висновки до розділу 2

1. Використаний принцип оптимальної прямолінійної подачі маси від живильних вальців до прискорювача і силосопроводу. Застосована система CORN CRACKER для правильної підготовки маси до подрібнення. Запропоновано модель подрібнювального вальцевого апарату з 30 конічними дисками.
2. Встановлено умову безперебійної подачі маси кормів через робочі органи подрібнювача та визначена умова захоплення частинок матеріалу без створень заторів та забезпечення умови незабивання пристрою. Отримано залежність конструкційних параметрів від цих умов.
3. Приймавши механіко-технологічні показники матеріалу та конструктивних параметрів подрібнюючого пристрою, визначено пропускну здатність подрібнювального апарату, яка склала 155 – 170 т/год. З врахуванням коефіцієнта заповнення щілини між вальцями $k = 0,7-0,8$, продуктивність системи подрібнення може становити 108,5 – 136 т/год.
4. На основі отриманих даних отримано графічну залежність пропускної здатності вальцевого подрібнювального апарату в залежності від об'ємної маси матеріалу, що обробляється.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТА КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

3.1. Вплив довжини різання матеріалу на подрібнення маси

Під час дослідження подрібнювальних апаратів кормозбиральних комбайнів отримували результати, що доводять збільшення ступеня подрібнення від бажаного [15,17]. Досліджуючи конструкційно-технологічні параметри вальцевого подрібнювального апарату, необхідно зауважити, подрібнення відбувається у горизонтальній площині в поздовжньо-горизонтальному напрямку руху подрібнених стебел. Тому ймовірний ступінь подрібнення належатиме від довжини різання барабана та робочого зазору між дисками вальців і положенням матеріалу в потоці маси. Ймовірно-хаотичний рух потоку подрібненого матеріалу від різального барабану можна пояснити неоднорідністю об'ємної маси рослин, різними кінематичними режимами різання, вологістю стебло-листової маси, культурою, що збирається тощо. Звідки слідує, що під час подрібнення матеріалу, який рухаться в паралельному напрямку до площини подрібнення (обертання вальців апарату), в результаті чого отримуємо подрібнений матеріал різного розміру (рис. 3.1.).

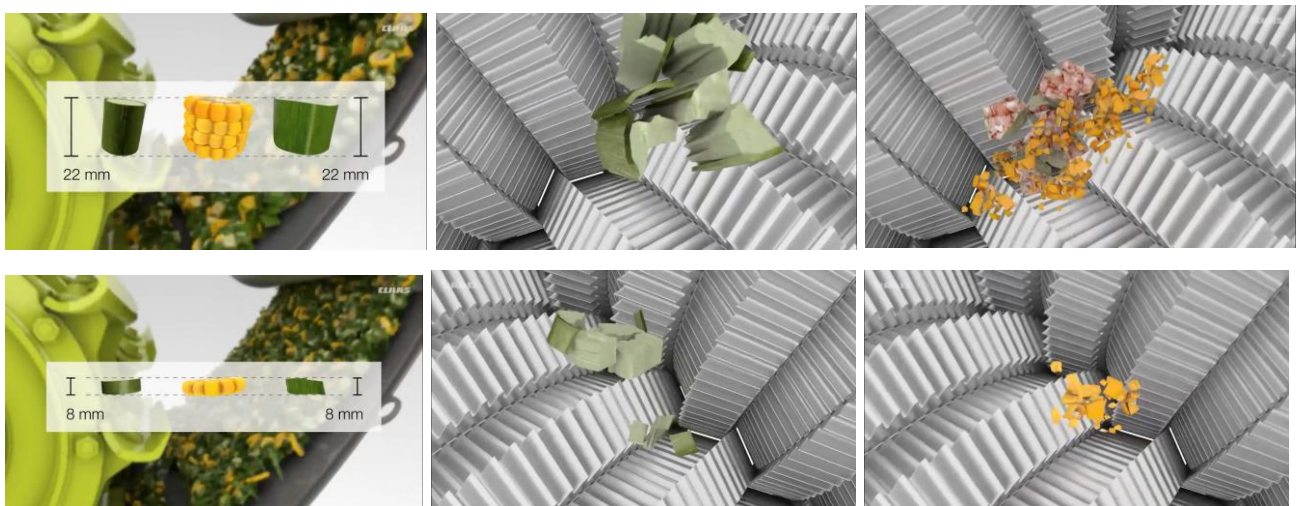


Рис. 3.1. загальний вигляд подрібненої частинки при різні довжині різання

Проаналізуємо розрахунково-технологічну схему подрібнення часиток маси вальцевим подрібнювальним апаратом (рис. 3.2.). Зауважимо, що частинки матеріалу рухаються до вальців хаотично.

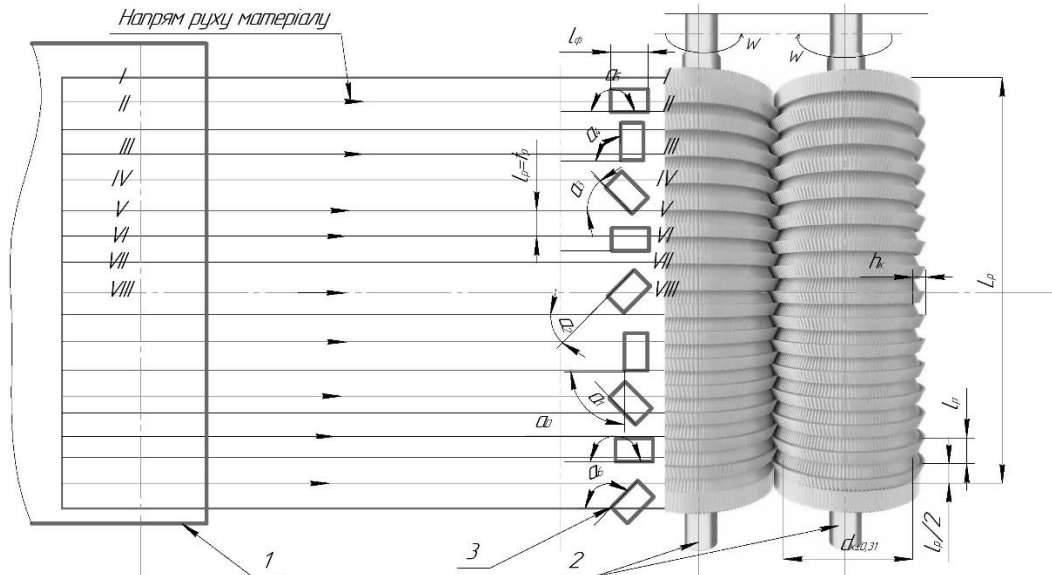


Рис. 3.2. Розрахунково-технологічна схема подрібнення часиток маси вальцевим подрібнювальним апаратом

1 – різальний барабан; 2 подрібнювальний вальцевий апарат; 3 – частинка матеріалу.

Процес подрібнення частинок стебел маси в площинах, I - I, II - II, III - III, IV - IV, V - V, VI - VI, VII - VII, VIII - VIII спрямованих під кутом входження α_0 ; α_1 ; α_2 ; α_3 ; α_4 ; α_5 ; α_6 , довжина подрібнення частинок маси змінюється від теоретичної $l_\phi = t_p$, (t_p - крок дисків на вальцях) до робочої довжини L_p при поздовжній подачі на диски вальців. Це доводить те, що дійсна, фактична довжина подрібнення фракції частинок після подрібнення, у достатньому значенні коливається від теоретично встановленої, тому ступінь подрібнення стає досить керованим параметром. при розташуванні стебла із кутом $\alpha = 180^\circ$ фактична довжина частинок не перевищуватиме теоретичну, оскільки $l_\phi = l_p$.

Довжину подрібнення стеблової маси для вальцевого подрібнювача можна порахувати за формулою [15, с. 5.]:

$$L_n = \frac{60000V_n}{n_{\text{вал}} \cdot z \cdot \sin((1 - \delta_{\text{час}})0.5\pi)}, \quad (3.1)$$

де V_n – швидкість подачі маси барабаном, м/с;

$n_{\text{вал}}$ – частота обертання вальців, хв⁻¹;

z – кількість дисків на вальцях;

$\delta_{\text{час}}$ – коефіцієнт, що враховує кут подачі та положення частинки до площини захвату вальців.

Провівши аналіз моделі (3.1) потрібно відмітити, що збільшення довжини подрібнення маси частин спостерігаєть по лінійному закону, тому можна ввести розрахунковий коефіцієнт для встановлення розрахункової довжини частинки після подрібнення:

$$L_n = k_{зр} \cdot l_p. \quad (3.2)$$

де $k_{зр}$ – коефіцієнт зростання для встановлення розрахункової довжини частинки після подрібнення;

l_p – теоретична довжина частинки після подрібнення вальцевим апаратом.

Звідки

$$L_n = \frac{60000V_n}{n_{\text{вал}} \cdot z}; \quad k = \frac{1}{\sin((1 - \delta) \cdot 0.5\pi)} \quad (3.3)$$

На основі отриманих залежності (3.1), (3.3) побудовано графік зміни ступеня подрібнення маси в залежності від кроку встановлення конусних дисків на вальцях подрібнювального апарату (рис. 3.3.). Встановлено, раціональні параметри при, яких отримали оптимальний ступінь подрібнення стеблової маси. При кроці встановлення $t_p = 30...45$ мм отримуємо найкращу якість подрібнення з довжиною частинки від 4...5 мм, що цілком забезпечує зоотехнічним вимогам до соковитих кормів типу силос.

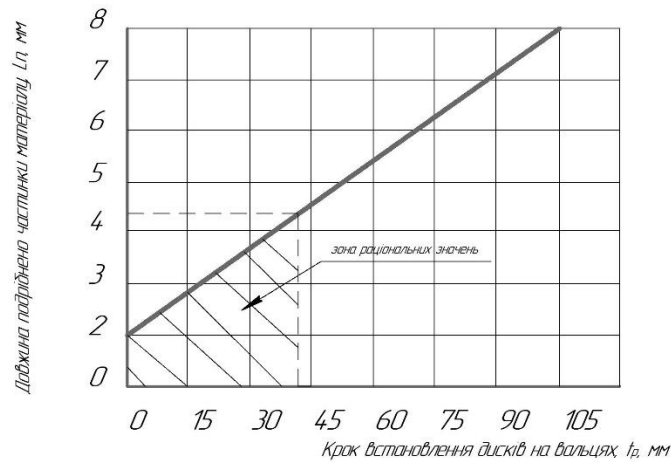


Рис. 3.3. Графічна залежність зміни ступеня подрібнення маси в залежності від кроку встановлення конусних дисків на вальцях подрібнювального апарату

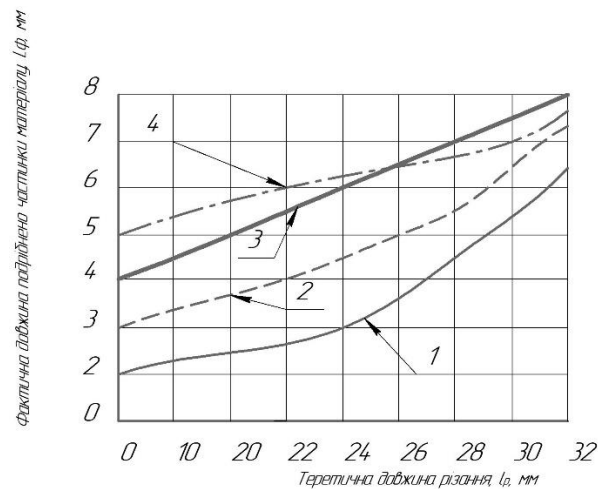


Рис. 3.4. Графічні залежності впливу фактичної довжини подрібнення маси l_f від теоретичної довжини різання l_p при різних кутах входження частинки:

$$1 - \alpha_v = 15^\circ; 2 - \alpha_v = 20^\circ; 3 - \alpha_v = 25^\circ; 4 - \alpha_v = 30^\circ$$

Висновки до розділу 3

1. Подрібнення маси відбувається у горизонтальній площині в поздовжньо-горизонтальному напрямку руху подрібнених стебел. Тому ймовірний ступінь подрібнення належатиме від довжини різання барабана та робочого зазору між дисками вальців і положенням матеріалу в потоці маси.

2. Встановлено, раціональні параметри при, яких отримали оптимальний ступінь подрібнення стеблової маси. При кроці встановлення $t_p = 30...45$ мм отримуємо найкращу якість подрібнення з довжиною частинки від 4...5 мм, що цілком забезпечує зоотехнічним вимогам до соковитих кормів типу силос.

Можна стверджувати, що величина кута входження частинки, довжина різання маси стебел барабаном та крок встановлення дисків на вальцевому подрібнювачі прямопропорційно впливають на фактичну довжину подрібненого матеріалу кормів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз конструкцій відомих подрібнювальних апаратів сучасних кормозбиральних машин, зокрема барабанного, дискового та роторного типу, дозволяє зробити висновок, що зусилля і енергоефективність різання матеріалу, доцільно виконувати апаратами з косим ударом та V-подібними ножами. Запропонована проектна модель пристрою може бути застосована за встановлення раціональних конструкційних параметрів і режимів роботи подрібнювального апарату системи.
2. Встановлено умову безперебійної подачі маси кормів через робочі органи подрібнювача та визначена умова захоплення частинок матеріалу без створень заторів та забезпечення умови незабивання пристрою. Отримано залежність конструкційних параметрів від цих умов.
3. Прийнявши механіко-технологічні показники матеріалу та конструктивних параметрів подрібнюючого пристрою, визначено пропускну здатність подрібнювального апарату, яка склала 155 – 170 т/год. З врахуванням коефіцієнта заповнення щілини між вальцями $k = 0,7-0,8$, продуктивність системи подрібнення може становити 108,5 – 136 т/год. На основі отриманих даних отримано графічну залежність пропускну здатності вальцевого подрібнювального апарату в залежності від об'ємної маси матеріалу, що обробляється.
4. Встановлено, раціональні параметри при, яких отримали оптимальний ступінь подрібнення стеблової маси. При кроці встановлення $t_p = 30...45$ мм отримуємо найкращу якість подрібнення з довжиною частинки від 4...5 мм, що цілком забезпечує зоотехнічним вимогам до соковитих кормів типу силос. Можна стверджувати, що величина кута входження частинки, довжина різання маси стебел барабаном та крок встановлення дисків на вальцевому подрібнювачі прямопропорційно впливають на фактичну довжину подрібненого матеріалу кормів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зінченко О.І. Кормовиробництво: навчальне видання. – 2-е вид. доп. і перероб. / О.І. Зінченко. – К.: Вища освіта, 2005. – 448 с.
2. Особов В.И. Механическая технология кормов / В.И. Особов. – М.: Колос, 2009. – 344 с.
3. Резник Н.Е. Кормоуборочные комбайны / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
4. Ясенецкий В.А. Машины для измельчения кормов / В.А. Ясенецкий, П.В. Гончаренко; под ред. Л.В. Погорелого. К.: Техника, 1990. 298 с.
5. Проспект: Claas JAGUAR 930-980
6. Проспект: Krone BIG
7. Комбайни John Deere серія 8000 електронний ресурс :<https://agroprof.com/uploads/2017/06/8100-8200-8400-8500.pdf>.
8. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. – Книга 2. –К.: Урожай, 2002. – 364 с.
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. –К.: Урожай, 2001. – 384 с.
10. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том. 2 (ч. 1).Машини для заготівлі кормів. / П.М. Заїка. – Х.: Око, 2003. – 360 с.
11. Белов М.И. Математическая модель измельчителя растений /М.И. Белов // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 7. – С. 27–29.
12. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – К.: УААН, 1994. – 334 с.
13. Фаянс Ю.А. До питання про подрібнення стеблових рослин та визначенні середньої довжини частинок/Ю.А. Фаянс // Дослідження та конструювання машин для тваринництва: Праці / ВИСХОМ. - 1973. - Вип. 81. - С. 113-118.

14. Алдошин Н.В. Чинники, що впливають на фактичну довжину різання кормозбиральних комбайнів/Н.В. Алдошин // Експлуатаційне забезпечення інтенсивних технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві зведення: Збірник наукових праць / МПСП. - Москва. - 1987. - С. 21-25.
15. Попов В.Б. Оценка воздействия кинематических и геометрических параметров измельчающего аппарата на качество измельчения растительной массы / В.Б. Попов, Д.Н. Павлович // Научно-технический прогресс в сельском производстве: материалы Международной научно-практической Конференции. В 2 т. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – 2010. – Т. 2. – С. 45–51.
16. Алдошин Н.В. Определение фактической длины резки / Н.В. Алдошин // Кормовые культуры. – 1989. – № 5. – С. 16–19.
17. Емельянов А.А. Теоретическое определение длины резки стеблей ных кормов через параметры измельчителя / А.А. Емельянов // Механизация приготовления, раздачи кормов и удаления навоза: Сб. науч. работ / Саратовский с.-х. инст-т механизации сельского хозяйства им. Н.И. Вавилова. – Саратов. – 1991. – С. 38–51.