

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Механізація вирощування кукурудзи з обґрунтуванням параметрів качановідривного апарата кукурудзозбиральної приставки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи АІ-24М-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Моклюк Дмитро Олександрович

« _____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Станіслав КАТЕРИНИЧ

« _____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Анотація

В дипломній роботі проведено огляд сучасної технології вирощування кукурудзи на зерно та здійснено аналіз конструкцій качановідривних апаратів. Проведені дослідження роботи качановідривних апаратів шляхом реалізації повного факторного експерименту ПФЕ 2³. На основі виконаних досліджень отримано статистичну математичну модель процесу, встановлені раціональні конструкційні параметри протягувальних вальців, та уточнено діапазон зміни коефіцієнту проковзування стебел.

У практичній реалізації роботи спроектовано удосконалений валець качановідривного апарату.

Ключові слова: технологія, кукурудзозбиральна приставка, качановідривний апарат, протягувальні вальці.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2025 року

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

Моклюк Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування кукурудзи з обґрунтуванням параметрів качановідривного апарата кукурудзозбиральної приставки
2. Керівник роботи (проекту) Васильковський О.М., к.т.н., професор _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 09.12.2025 р.
4. Мета та завдання дипломної роботи Мета роботи: підвищення ефективності збирання кукурудзи на зерно.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Мета і задачі; 2. Стан питання механізації збирання кукурудзи на зерно; 3. Обґрунтування параметрів протягувальних вальців; 4. Практична реалізація результатів (креслення розроблених механізмів).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу 1	17.10.2025 р.	
2	Виконання розділу 2	07.11.2025 р.	
3	Виконання розділу 3	21.11.2025 р.	
4	Виконання розділу 4	28.11.2025 р.	
5	Виконання розділу 5	28.11.2025 р.	
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки, ілюстративної частини, підготовка до захисту	09.12.2025 р.	

Дата видачі завдання
«20» жовтня 2025 р.

Підпис керівника

_____ Васильковський О.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«20» жовтня 2025 р.

Підпис здобувача

_____ Моклюк Д.О.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. Вступ	6
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	8
3. Наукова частина	19
4. Практична реалізація результатів досліджень	31
5. Охорона праці	40
6. Загальні висновки	43
7. Список використаної літератури	45
Додатки	48

1. ВСТУП

Кукурудза є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі та посідає провідне місце в структурі зернового виробництва України. За останні роки площі під кукурудзою в Україні досягли 5,4 млн га, а валові збори перевищують 30 млн тонн, що робить нашу державу одним із провідних світових виробників та експортерів цієї культури. Вирощування кукурудзи забезпечує продовольчу безпеку країни, є основою кормової бази тваринництва та важливою статтею експорту.

Збирання врожаю є найбільш відповідальним і трудомістким етапом технологічного процесу, що безпосередньо впливає на кількість та якість зібраної продукції. За даними досліджень, втрати зерна під час збирання можуть сягати 8-12%, а при несприятливих погодних умовах – до 15-20%, що призводить до значних економічних збитків.

Сучасні кукурудзозбиральні машини забезпечують високу продуктивність, проте ефективність їх роботи значною мірою залежить від якості функціонування робочих органів, зокрема качановідривного апарата. Саме на цьому етапі формуються основні втрати зерна внаслідок неповного відділення качанів від стебел, пошкодження зерна та качанів при відриві, а також осипання зерна. Тому удосконалення конструкції та обґрунтування оптимальних параметрів качановідривного апарата є актуальним науково-практичним завданням.

Існуючі конструкції качановідривних апаратів не завжди забезпечують стабільну якість роботи в різних умовах експлуатації, особливо при збиранні вологого зерна, нерівномірному дозріванні посівів або при роботі на підвищених швидкостях. Це обумовлює необхідність проведення досліджень процесу відділення качанів, визначення раціональних конструктивних та кінематичних параметрів робочих органів, що дозволить мінімізувати втрати врожаю та підвищити ефективність збирання кукурудзи.

Метою роботи є підвищення ефективності збирання кукурудзи шляхом обґрунтування раціональних параметрів качановідривного апарата

кукурудзозбиральної приставки, що забезпечують зниження втрат зерна та енергоємності процесу.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні задачі дослідження:

- провести аналіз існуючих технологій і технічних засобів механізованого збирання кукурудзи, визначити основні напрямки удосконалення качановідривних апаратів;
- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему та основні параметри качановідривного апарата на основі аналізу процесу взаємодії робочих органів з рослинною масою;
- розробити методику та провести експериментальні дослідження процесу відділення качанів від стебел для встановлення впливу основних факторів на показники якості роботи;
- визначити раціональні значення конструктивних і кінематичних параметрів качановідривного апарата, що забезпечують мінімальні втрати зерна та енергоємність процесу.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологія вирощування кукурудза на зерно.

Кукурудза є однією з основних зернових культур як в Україні, так і у всьому світі. Україна входить до п'ятірки найбільших експортерів зерна кукурудзи у світі. Врожайність кукурудзи коливається від 50 до 150 ц/га, залежно від агрокліматичних умов та технології вирощування. За даними 2024 року, кукурудза в Україні займає близько 3,9 млн га, залишаючись стратегічно важливою та перспективною культурою.

Сівозміна та попередники

Правильний вибір попередника є одним із ключових факторів успішного вирощування кукурудзи. У польових сівозмінах кукурудзу розміщують після озимих і ярих колосових культур, зернобобових, картоплі та баштанних культур. Кращими попередниками для кукурудзи вважаються озимі та ярі колосові, зернобобові культури та цукровий буряк.

В умовах Лісостепу найкращими попередниками є кормовий та цукровий буряк, а на Поліссі рослину культивують після зернобобових, картоплі та льону. Не рекомендується висівати кукурудзу в районах недостатнього зволоження після культур, які висушують ґрунт, зокрема після цукрового буряку, суданської трави та соняшнику. Також не варто сіяти кукурудзу після проса, щоб запобігти поширенню спільного шкідника – кукурудзяного метелика.

Системи обробітку ґрунту

Обробіток ґрунту є одним із базових та найбільш витратних елементів технології вирощування кукурудзи. За допомогою основного обробітку ґрунту регулюється водний, температурний, підживлювальний та повітряний режими ґрунту. Найбільший рівень урожайності кукурудза формує при розміщенні на полях із глибоким основним обробітком ґрунту, що зумовлюється морфологічною будовою її кореневої системи.

Традиційна технологія спирається на використання плуга. Основний обробіток ґрунту передбачає одно- чи дворазове лушення стерні після збирання врожаю попередника на глибину 4-10 см та зяблеву оранку на глибину 25-30 см. Традиційна система підготовки ґрунту для вирощування кукурудзи має низку переваг: забезпечує ефективне знищення бур'янів, сприяє накопиченню вологи, створює оптимальні умови для внесення добрив.

У ряді випадків доцільно оранку замінити глибоким рихленням, тобто вдатися до консервуючої технології. Це особливо актуально на схилах, де оранка може посилити ерозійні процеси. Однак основною проблемою традиційного обробітку є його висока енергоємність та значні витрати пального.

Технологія Strip-till

Технологія передбачає обробіток ґрунту і розпушення виключно смугами у рядках майбутньої сівби шириною 15-20 см на глибину 10-30 см, де інша частина поля залишається без змін. Культури, що висаджуються за допомогою цієї техніки, часто є просапними культурами, такими як кукурудза, буряк і соняшник, з відстанню між рядами від 45 до 80 см.

Основні переваги Strip-till включають збереження оптимальної вологи за рахунок того, що пожнивні рештки залишаються на поверхні ґрунту; економію палива завдяки зменшенню числа технологічних операцій (витрати пального зменшуються приблизно на 80%); простоту застосування; можливість застосування рідких та сипучих добрив локально на задану глибину в рядок. Європейські аграрії переконані, що застосування цієї технології гарантує підвищення врожайності на 15-25%.

Технологія No-till

Головними перевагами нульового обробітку є збереження структури ґрунту, збереження ґрунтової фауни (зокрема дощових черв'яків), збільшення кількості органічних речовин, захист від ерозії та збереження вологи. Витрати пального зменшуються в середньому на 30-40%, тобто з 60 л/га до 40-45 л/га.

Однак технологія має і недоліки. Рослинні рештки на поверхні ґрунту сповільнюють його прогрівання весною, що може затримувати сівбу. Крім того,

поживні рештки разом із хворобами та шкідниками залишаються на полі, що вимагає посиленого фітосанітарного контролю. За no-till рослинні рештки попередників певною мірою захищають поверхню ґрунту від термічного перегрівання та сприяють зменшенню непродуктивного випаровування вологи.

Вибір гібридів та насіннєвий матеріал

Сучасні гібриди кукурудзи – це рослини, які потребують високоінтенсивної технології вирощування для досягнення високої врожайності.

За останні роки в Україні досить сильно змінились кліматичні умови, і можна спостерігати суттєві зміни як у гібридному складі, так і в групі стиглості. Господарства, які раніше висівали гібриди кукурудзи із ФАО не більше 200, уже сьогодні сіють 230-260.

При виборі гібриду важливо звертати увагу не тільки на високий потенціал урожайності, а й на високий рівень адаптивності до впливу несприятливих умов. Вирощування гібридів декількох груп стиглості у різних пропорціях дозволить змістити у часі процеси сівби, догляду та збирання, що зменшує ризики, спричинені настанням несприятливих погодних умов у критичні фенологічні фази.

Система удобрення

У традиційній системі землеробства зональна система удобрення кукурудзи поділяється за терміном внесення на основне, припосівне і підживлення.

Норми внесення мінеральних добрив під посіви кукурудзи застосовують із урахуванням забезпеченості орного шару ґрунту рухомими елементами живлення та середнього виносу макроелементів із урожаєм основної і побічної продукції. За середньої забезпеченості ґрунту поживними речовинами необхідно вносити під основний обробіток ґрунту повне мінеральне добриво із розрахунку N60-90P45-60K45.

Всю норму фосфорних і калійних добрив необхідно внести восени під оранку, азотні вносять під весняну культивуацію (70-90%), решту

використовують для підживлення під час вегетації. Для забезпечення рослин кукурудзи магнієм рекомендується використовувати калійне добриво калімагnezію, в якому міститься 6-8% магнію і 28% калію.

Особливістю технології вирощування кукурудзи після соняшнику є застосування диференційованої системи позакореневих азотних та азотно-мікроелементних підживлень рослин: перше підживлення – у фазі 5-6 листків баковою сумішшю 5% розчину карбаміду (10 кг/га) і хелату цинку (1,5 л/га), друге – у фазі 8-9 листків баковою сумішшю 5% розчину карбаміду (20 кг/га) і комплексного мікроелементного препарату (3,0 л/га).

Найвищий попит на поживні речовини у кукурудзи виникає при інтенсивному нарощуванні зеленої маси та формуванні репродуктивних органів. Окрім основних елементів живлення (азот, фосфор, калій), кукурудзі необхідні також багато мікроелементів, зокрема магній, цинк, мідь, марганець та бор. Для отримання 7-10 т/га сухого зерна кукурудзі необхідно приблизно 1-3 кг/га цих елементів на рік.

Сівба

Оптимальний термін посіву гібридів кукурудзи з урахуванням фізіолого-біохімічних особливостей їх насіння настає в той період, коли середньодобова стійка температура на глибині 10 см досягає +10-12°C. Оптимальною температурою для появи перших проростків є +18-25°C, хоча процес проростання починається вже за +9°C.

Насіння загортають на глибину 4-6 см, на легких ґрунтах і при підсиханні посівного шару – на 5-8 см. На вологих ґрунтах глибину сівби зменшують до 3-4 см. За посіву у сухий ґрунт або за пізніх строків посіву бажано збільшити норму висіву на 10% як страховий фонд.

Норма висіву залежить від гібриду та умов вирощування і може становити від 70 до 100 тис. рослин/га. Дуже важливе значення має не тільки оптимальна кількість рослин, а й рівномірне розміщення їх на площі. На 1 м довжини рядка при ширині міжрядь 70 см повинно висіватись орієнтовно 5,6

насінин для забезпечення густоти 80 тис./га, 6,3 насінин для 90 тис./га або 7 насінин для 100 тис./га.

Захист посівів

За ресурсоощадної технології передпосівну культивуацію залежно від прийнятої схеми внесення гербіцидів виконують різними агрегатами. Якщо гербіциди вносять стрічковим способом одночасно зі сівбою, використовують одні агрегати, якщо стрічковим способом до сівби – інші. Інтенсивна ресурсоощадна технологія виробництва кукурудзи під час внесення гербіцидів стрічковим способом дозволяє скоротити кількість операцій догляду за посівами, поєднуючи хімічні і механічні засоби боротьби з бур'янами.

Збирання врожаю

Збирання кукурудзи планують так, щоб зерно мало оптимальну вологість (близько 14% після досушування). Проте затримка зі збиранням є ризикованою, оскільки уповільнюється вологовіддача зерна, можливе його зволоження внаслідок випадання опадів. Потрапляння товарної кукурудзи під заморозки також небажане, оскільки погіршує якість і стійкість зерна під час зберігання.

За вирощування гібридів різних груп стиглості розпочинати збирання слід з ранньостиглих або середньоранніх, щоб більш пізні знизили вологість зерна. Вологе зерно кукурудзи сушать до стандартної вологості за допомогою різних типів сушарок. Підготовка техніки до збирання є ключовим фактором якості.

Слід зазначити, що продуктивне збирання врожаю можливе при використанні сучасних широкорядних машин або приставок до сучасних зернозбиральних комбайнів, що мають ефективні органи пристрої і високу пропускну здатність.

2.2. Огляд конструкцій качановідривних апаратів

Качановідривні апарати кукурудзозбиральних машин можна класифікувати за різними ознаками: за способом відділення качанів, за конструктивним виконанням, за характером взаємодії з рослиною. Однак, у будь-якому випадку, вони мають забезпечувати високу продуктивність і якісні характеристики їх роботи, відповідати умовам агротехнічних вимог.

Агротехнічні вимоги до качановідривних апаратів

Качановідривні апарати повинні забезпечувати:

- повноту відділення качанів не менше 98%;
- пошкодження зерна не більше 2-3%;
- втрати качанів не більше 1,5%;
- стабільну роботу при вологості зерна від 18% до 40%;
- надійне функціонування при різній густоті стояння рослин.

Конструктивні особливості вальцевих качановідривних апаратів

Класичні вальцеві качановідривні апарати (рис. 2.1) є найпоширенішим типом завдяки простоті конструкції, надійності та ефективності роботи. Принцип їх функціонування базується на протягуванні стебла кукурудзи між парою вальців, що обертаються назустріч один одному.

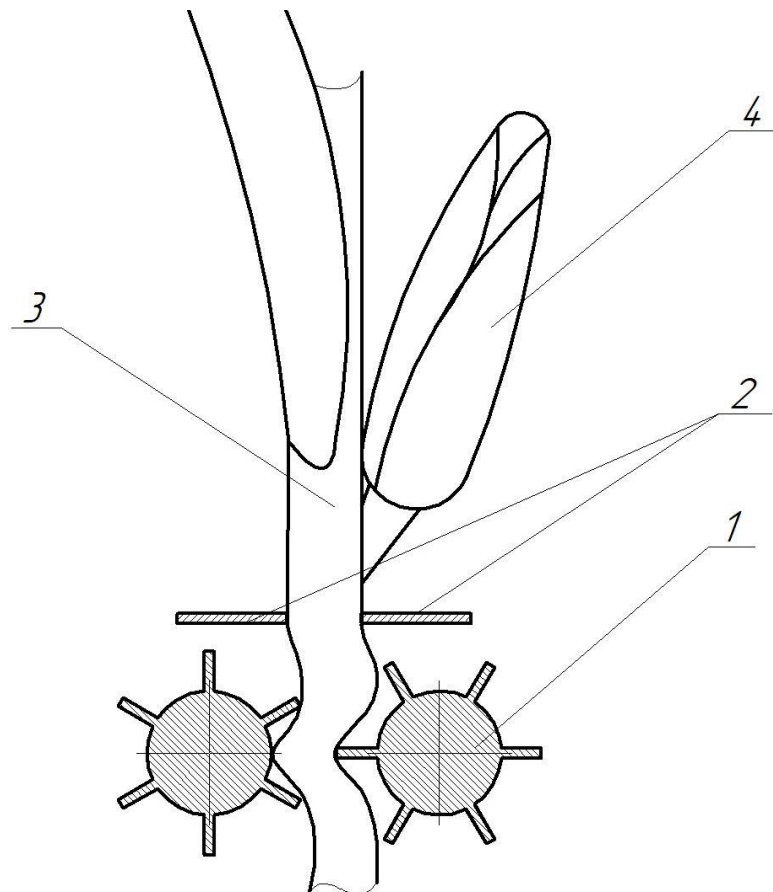


Рис. 2.1. Схема роботи вальцевого качановідривного апарату:

1- ребристі протягувальні вальці, 2- стріперні (відривні) пластини, 3- стебло, 4- качан.

Основними елементами вальцевого качановідривного апарату є: пара відривних вальців 1, які протягують стебла донизу. Вони оснащені приводом і механізмом регулювання зазору на вході. В процесі протягування стебел, вони зминаються між стриперними пластинами і при надходженні до різального апарату, зрізаються. Качани, що мають більші розміри і міцність не можуть пройти крізь зазор (щілину) між стриперними пластинами, упираються об їх поверхню, відриваються і переміщуються лапками ланцюгів (рис. 2.2) до шнеку.

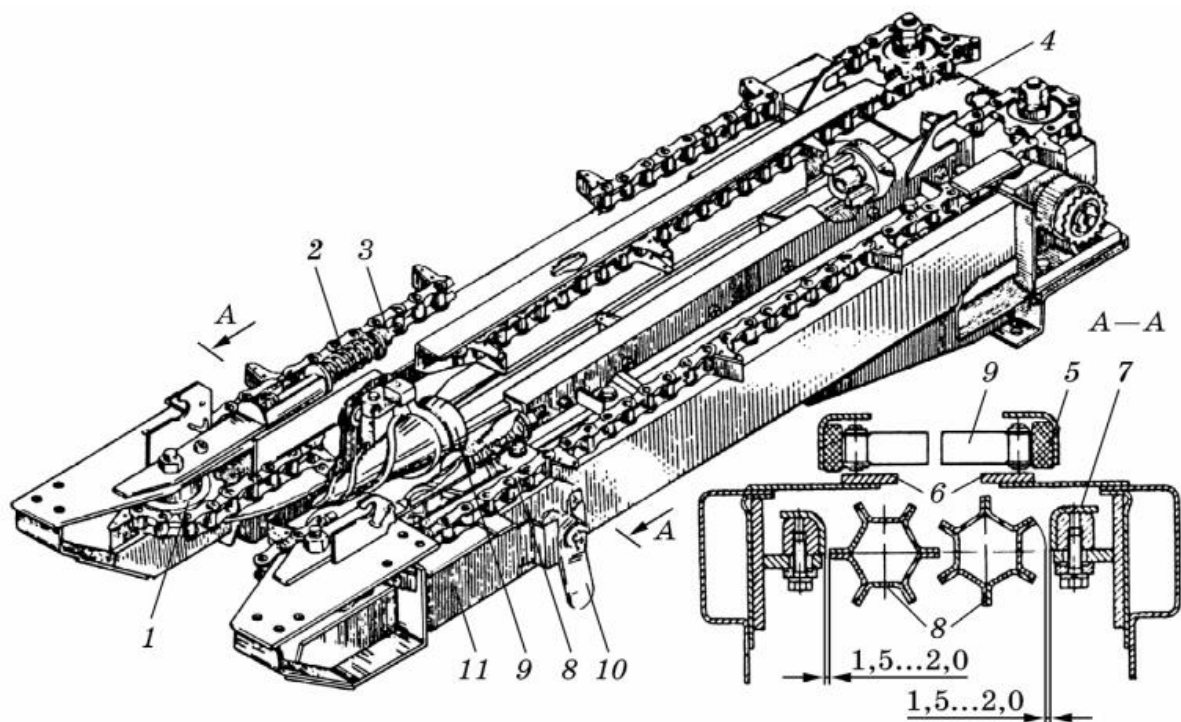


Рис. 2.2. Русло кукурудзозбирального комбайна

1- ведена натяжна зірочка; 2- натяжна пружина; 3- натяжний пристрій; 4- роздавальна коробка; 5- полоз; 6- стриперні (відривні) пластини; 7- чистик; 8- ребристі вальці; 9- подавальні ланцюги; 10- важіль регулювання зазору між вальцями; 11- рама.

Останнім часом значне поширення набули більш універсальні конструкції качановідривних апаратів (рис. 2.3 – 2.7), які дозволяють окрім відокремлення качанів, ще й подрібнювати стебла.

Однією з таких конструкцій є жатка, яка складається з рамної основи, на якій розміщені русла (рис. 2.3), пристрої для різання та подрібнення, шнековий

транспортер качанів, приводна система та щиткові елементи. Кукурудзозбиральні жатки можуть комплектуватися вальцьовими або пластинчастими механізмами відокремлення. Оскільки вальцьовий тип спричиняє механічні ушкодження та вимолот зерна з качанів, що підвищує рівень втрат, переважна більшість моделей оснащується стріперними пластинами.

Такий відривний апарат включає пару похило встановлених протягувальних циліндрів, над якими розташовані дві стріперні пластини, подвійний контур подавальних ланцюгових передач та розподільчу коробку на рамі. Протягувальні вальці оснащені кількома закріпленими ножами.

Слабким місцем таких механізмів є лімітування швидкості обертання протягувальних циліндрів, що стримує продуктивність. Відомо, що підвищення кутової швидкості циліндрів посилює ударний імпульс при контакті качана з пластинами [1-3], внаслідок чого пошкоджується основа качана та збільшуються втрати через висипання зерна.

Залежно від цільового призначення кукурудзяних посівів та робочих умов жатки комплектуються різними типами качановідокремлювальних та подрібнювальних систем.

Для господарств, що планують використовувати кукурудзяну січку для протиерозійного ґрунтозахисту, виробництва біопалива чи грубих кормів, рекомендуються жатки без доподрібнювачів (рис. 2.3).

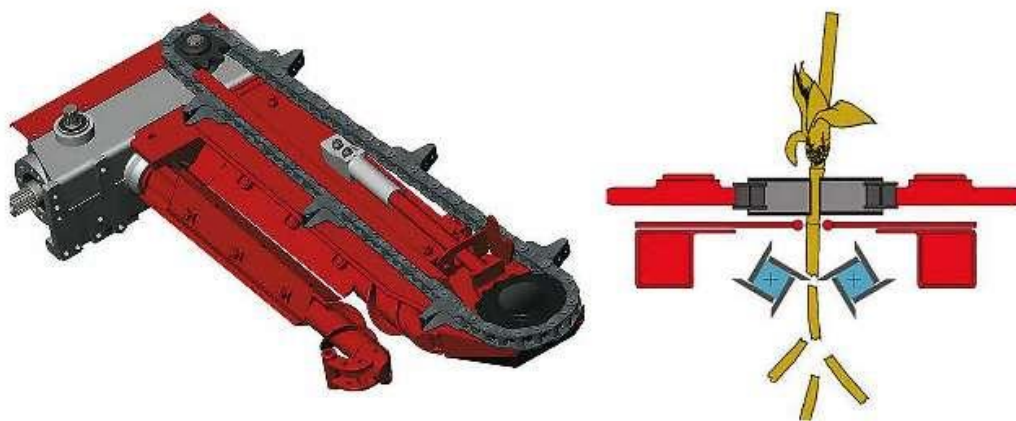


Рис. 2.3. Загальний вигляд русла без доподрібнювача

Робочий процес такого механізму: ножі протягувальних вальців занурюються в стебло, роблять надріз або притискають її та просувають донизу. Качан відокремлюється завдяки стріперним пластинам, встановленим над вальцями.

При використанні незернової фракції врожаю як органічного добрива з розкиданням подрібненої маси по полю, доцільно застосовувати жатки з різально-подрібнювальними робочими елементами.

Враховуючи врожайність кукурудзи та необхідний розмір подрібнення, жатки оснащуються різними типами різально-подрібнювальних механізмів:

- протягувальний валець, оснащений протирізальною пластиною;
- два протягувальні вальці і подрібнювальний апарат з горизонтальними ножами;
- два протягувальні вальці різного діаметра з роторним подрібнювачем;
- два протягувальні вальці різних діаметрів з роторним подрібнювачем та вал з горизонтальним подрібнювачем тощо.

Найпоширенішою у конструкціях жаток є система подрібнення з двох протягувальних вальців та подрібнювального апарату з горизонтальними ножами (рис. 2.4).

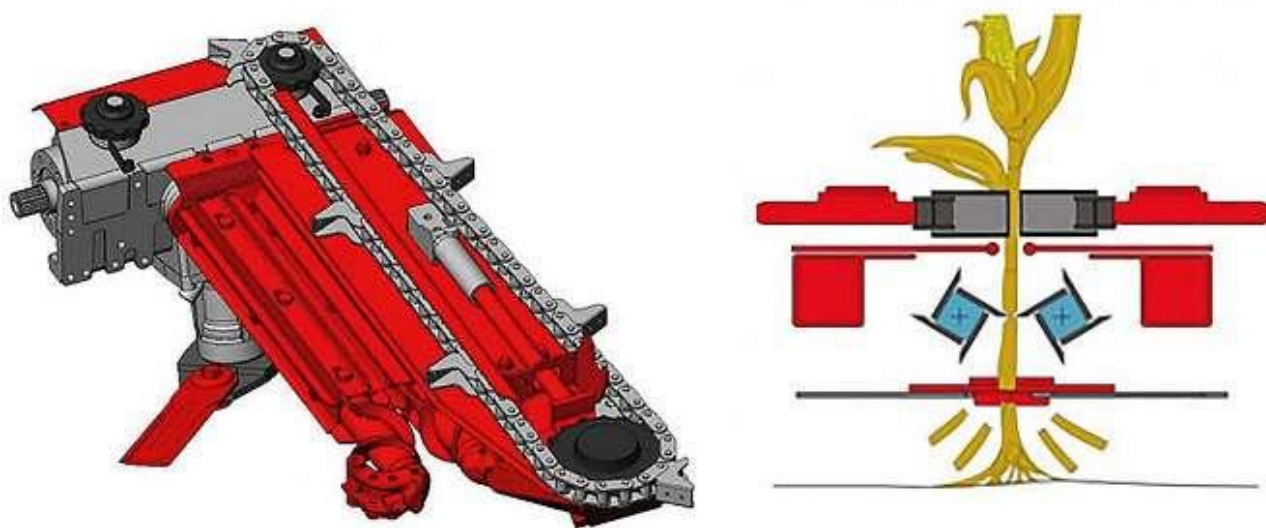


Рис. 2.4. Загальний вигляд русла, оснащеного двома протягувальними вальцями та подрібнювачем з горизонтальними ножами

При роботі стебло попередньо подрібнюється лезами протягувальних циліндрів, після чого надходить на горизонтальний подрібнювач. Він забезпечує низький зріз стерні та розриває рослину по надрізах від ножів циліндрів. Леза подрібнювача виступають попереду передньої кромки циліндрів, що дозволяє розпочинати подрібнення з моменту подачі стебел. Наявність незалежної муфти зчеплення забезпечує захист від перевантаження та гарантує стабільну роботу за будь-яких умов.

Відомі і інші конструкції. Зокрема, компанія *Olimac* виготовляє кукурудзозбиральні жатки серії DRAGO з качановідділювальними системами та горизонтально-ножовими подрібнювачами, оснащені довгими протягувальними вальцями, що підвищує пропускну здатність стебел та дозволяє нарощувати робочу швидкість і продуктивність комбайна.

Жатки DRAGO мають механізм автоматичного регулювання проміжку між стриперними пластинами. Залежно від товщини стебла та маси подаваної кукурудзи відстань між пластинами автоматично змінюється в межах 22–42 мм: при збільшенні маси стеблової маси вона розширюється, при зменшенні – звужується. Автоматичне регулювання проміжку запобігає втраті качанів та забиванню жатки, а також усуває потребу ручного налаштування зазору при зміні потоку рослинності.

Жатка оснащена горизонтальним ножовим різально-подрібнювальним пристроєм із самозагострювальними лезами, розташованими по центральній лінії ряду.

Компанія *Geringhoff* виробляє кукурудзозбиральні жатки з інтегрованим подрібнювачем, що складається з протягувального вальця та протиризальної пластини (рис. 2.5).

Інтегрований механізм жатки виконує збирання, відокремлення качанів та подрібнення стебел одним ротором. Така конструкція містить меншу кількість вузлів порівняно з аналогами. Жатки характеризуються зниженою масою конструкції та меншим енергоспоживанням приводу в порівнянні з іншими моделями.

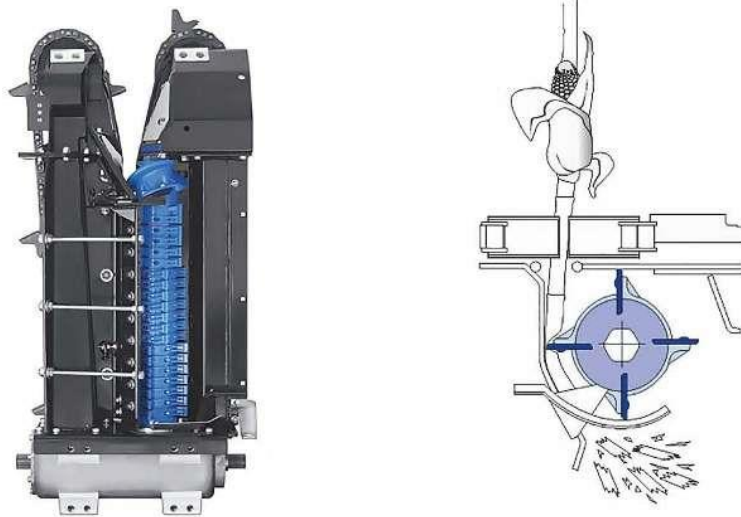


Рис. 2.5. Загальний вигляд русла Geringhoff

Окремі моделі жаток Geringhoff оснащуються тривальцевою системою відокремлення качанів та подрібнення, що включає два циліндри різного діаметра та подрібнювальний ротор з дисковими лезами ромашкового типу, який обертається у зустрічному напрямку.

Під час роботи циліндри затягують стебла, качани відокремлюються на пластинах, леза ротора подрібнюють їх та рівномірно розподіляють подрібнену масу в поперечному та поздовжньому напрямках по поверхні поля.

Для забезпечення рівномірності стерні (висоти зрізу) тривальцеві качановідділювальні механізми доповнюються горизонтально-ножовим подрібнювачем (рис. 2.6).

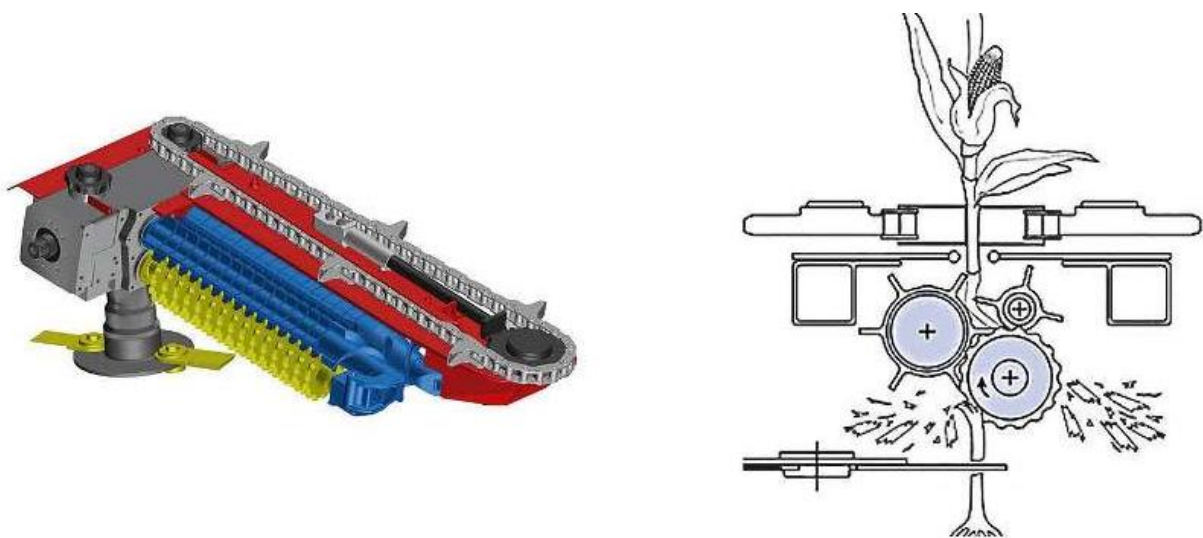


Рис. 2.6. Загальний вигляд тривальцевого русла

Кукурудзозбиральні жатки моделі ROTO CROSS CUT від компанії *Cressoni* оснащені системою відокремлення качанів та подрібнення стебел з двох перехресно обертальних валів, на яких встановлені радіальні ножі та осьові леза (рис. 2.7), прикріплені до одного валу, які під час роботи рухаються з різними швидкостями S1 та S2.

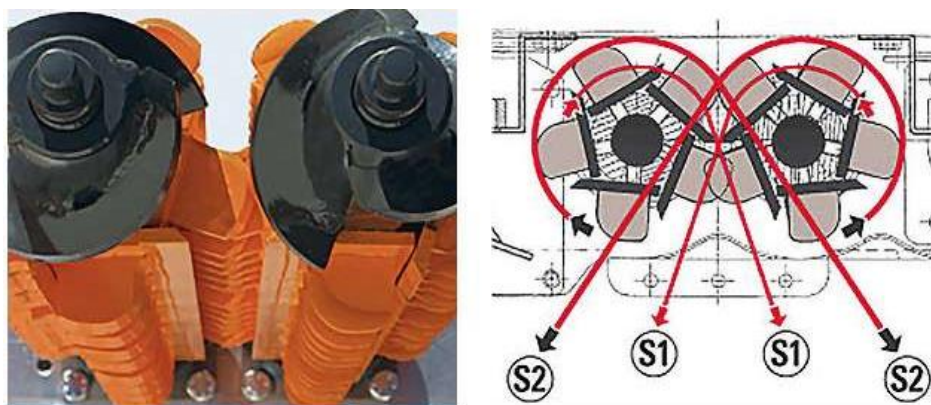


Рис. 2.7. Загальний вигляд апарату ROTO CROSS CUT

При русі жатки, понад 100 радіальних ножів разом з 10 осьовими лезами здійснюють частково косі та подовжені вертикальні й горизонтальні зрізи, що дозволяє забезпечити ефективне відокремлення качанів і подрібнення стебел.

Аналізуючи наведені конструкції качановідливних апаратів можна дійти до висновку, що всі перелічені пристрої забезпечують задовільне виконання технологічного процесу і, окрім переваг, мають свої недоліки.

На нашу думку, має найбільше переваг класичний качановідливний апарат (рис. 2.2), який виконує лише одну функцію – відокремлення качанів.

Апарати з інтегрованими ножовими елементами (рис. 2.3-2.7), зменшують надійність жатки і збільшують час на обслуговування – очищення, загострення, регулювання зазорів. Крім того, використання класичного качановідливного апарату дозволяє працювати кукурудзозбиральному комбайну як в режимі розкидання подрібненої маси на поверхню поля, так і в режимі збирання у причепи транспортних засобів для використання у господарчих потребах.

Ефективну роботу качановідливного апарату забезпечують протягувальні вальці, довжина яких залежить від багатьох факторів і має бути науково-обґрунтованою для роботи на різних за розмірами стеблах.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Методика експериментальних досліджень

Метою експерименту є встановлення значення реального часу протягування стебел та співставлення з теоретично розрахованим.

Обґрунтування довжини протягувальних вальців кукурудзозбиральної приставки будемо проводити на дослідній установці (рис. 1) в лабораторії кафедри сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету.



Рис. 3.1. Лабораторна установка «Русло»

В процесі проведення дослідів ми визначали залежність часу протягування стебел від їх середнього діаметру, початкової відстані між протягувальними вальцями та зазору між відривними пластинами, оскільки це є найбільш вагомими факторами.

Дослідження будемо проводити шляхом реалізації ПФЕ 2³, оскільки це найбільш прогресивний спосіб отримання закономірностей [20-21].

Для проведення ПФЕ, нами підібрано стебла довжиною 1,5 м, з діаметром 18 мм і 26 мм у нижній частині (3.2). Відхилення діаметрів становило +/- 0,5 мм, що дає несуттєву похибку. Діапазон варіювання відстані між відривними пластинами становив 17 – 25 мм. Початкова відстань між протягувальними вальцями варіювалась в межах 20 - 35 мм.



Рис. 3.2. Стебла кукурудзи, що використані у дослідах

Результати кодування факторів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодові		
				верхній	нульовий	нижній	верхній	нульовий	нижній
Середній діаметр стебла, мм	d	X_1	4	26	22	18	+1	0	-1
Зазор між відривними пластинами, мм	h	X_2	4	25	21	17	+1	0	-1
Початковий зазор між вальцями, мм	Δ	X_3	7,5	35	27,5	20	+1	0	-1

Для реалізації повного факторного експерименту, побудуємо план-матрицю дослідів (табл.3.2).

Таблиця 3.2

План-матриця повного факторного експерименту ПФЕ 2^3

Номер дослідів	Значення кодівих факторів			Взаємодія кодівих факторів		
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Для зниження похибок, кожен дослід заплановано проводити у трикратній повторності із використанням методу рандомізації.

Прийmemo для опису закономірності, в якості початкової гіпотези, неповне квадратне рівняння, яке має вигляд:

$$y = \theta_0 + \theta_1 \cdot x_1 + \theta_2 \cdot x_2 + \theta_3 \cdot x_3 + \theta_{1,2} \cdot x_1 \cdot x_2 + \theta_{1,3} \cdot x_1 \cdot x_3 + \theta_{2,3} \cdot x_2 \cdot x_3$$

Перевірку відтворюваності дослідів будемо здійснювати за критерієм Кохрена, визначивши розрахункове значення відповідного коефіцієнту і порівнявши з табличним:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G(0,05; n; f_u),$$

де $G(0,05;n;f_u)$ – табличне значення критерію Кохрена;

$S_{u \max}^2$ – найбільша із дисперсій;

0,05 – 5% - й рівень значущості;

n – число дослідів;

$f_u = m_0 - 1$ – число ступенів свободи;

m_0 – число повторюваностей.

Дисперсії дослідів знайдемо за формулою:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{m_0} (Y_{ui} - Y_{u.cp})^2,$$

i – номер повторюваності;

Y_{ui} – вихідний параметр при i -й повторюваності.

Коефіцієнти прийнятого неповного квадратичного рівняння регресії обчислюються за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n y_{u.cp}, \quad b_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot y_{u.cp}, \quad b_{ij} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_{u.cp},$$

де x_{iu} – значення i -го кодованого фактору в u -му досліді;

x_{ju} – значення j -го кодованого фактору в u -му досліді.

Після підстановки розрахованих коефіцієнтів до прийнятого неповного квадратичного рівняння регресії, проведемо перевірку його адекватності за критерієм Фішера.

Адекватність буде задовільною в разі виконання нерівності:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05;f_{ad};f_y),$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ – критерій Фішера (на 5% рівні значущості);

f_{ad} –

Дисперсію S_{ad}^2 обчислюють за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n-k-1} \cdot \sum_{u=1}^n (Y_u - Y_{u.cp})^2,$$

де Y_u – розрахункове значення відгуку в i -му досліді для лінійної частини рівняння регресії.

Число ступенів свободи дисперсії адекватності:

$$f_{ad} = n - k - 1,$$

де k – число факторів;

f_y – число ступенів вільності дисперсії відтворення.

Якщо адекватність рівняння підтверджується, визначають значущість його коефіцієнтів за критерієм Стьюдента.

Коефіцієнт буде вважатися значущим, якщо:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \cdot \frac{S_y}{\sqrt{n}},$$

де b_a – розраховані раніше коефіцієнти $b_0, b_1, b_2, b_{1,2}$;

Δb_a – довірча границя; $t(0,05; f_y)$ – критерій Стьюдента (на 5% - му рівні значущості) та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y .

Після проведених розрахунків побудуємо поверхні відгуку та проведемо аналіз отриманих закономірностей.

3.2. Результати експериментальних досліджень

Під час всіх дослідів, колова швидкість вальців становила $V_{\text{вЕ}}=2,38$ м/с. Значить можемо у практичній частині розрахувати теоретичний час протягування стебел довжиною $l=1,5$ м.

Провівши дослідження, нами отримано час протягування стебел. Результати, одержані у дослідах наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати проведення дослідів

Номер дослідів	Значення кодових факторів			Час протягування за повторностями			Середнє значення y , \bar{Y}_n , с
	x_1	x_2	x_3	I Y_{u1}	II Y_{u2}	III Y_{u3}	
1	-1	-1	-1	1,04	1,08	0,97	1,030
2	+1	-1	-1	1,11	1,22	1,17	1,167
3	-1	+1	-1	0,78	0,82	0,81	0,803
4	+1	+1	-1	0,88	0,94	0,93	0,917
5	-1	-1	+1	0,99	0,95	1,02	0,987
6	+1	-1	+1	1,27	1,24	1,34	1,283
7	-1	+1	+1	0,79	0,84	0,79	0,807
8	+1	+1	+1	0,86	0,94	0,84	0,880

Проведемо перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена:

Розрахункові дисперсії

$$S_{u1}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((1,03 - 1,04)^2 + (1,03 - 1,08)^2 + (1,03 - 0,97)^2) = 0,0031.$$

$$S_{u2}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((1,17 - 1,11)^2 + (1,17 - 1,22)^2 + (1,17 - 0,95)^2) = 0,003033.$$

$$S_{u3}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((0,8 - 0,78)^2 + (0,8 - 0,82)^2 + (0,8 - 0,81)^2) = 0,0004033.$$

$$S_{u4}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((0,92 - 0,88)^2 + (0,92 - 0,94)^2 + (0,92 - 0,93)^2) = 0,001033.$$

$$S_{u5}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((0,99 - 0,99)^2 + (0,99 - 0,95)^2 + (0,99 - 1,02)^2) = 0,001233.$$

$$S_{u6}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((1,28 - 1,27)^2 + (1,28 - 1,24)^2 + (1,28 - 1,34)^2) = 0,002633.$$

$$S_{u7}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((0,81 - 0,79)^2 + (0,81 - 0,94)^2 + (0,81 - 0,84)^2) = 0,000833.$$

$$S_{u8}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((0,88 - 0,86)^2 + (0,88 - 0,94)^2 + (0,88 - 0,84)^2) = 0,0028.$$

Розрахункове значення коефіцієнту Кохрена:

$$G = \frac{0,0031}{0,0031 + 0,003033 + 0,0004033 + 0,001033 + 0,001233 + 0,002633 + 0,000833 + 0,0028} = 0,205$$

Табличне значення коефіцієнту Кохрена $G(0,05;8;2) = 0,516$, що більше ніж розрахункове. Таким чином процес є відтворюваним.

Визначимо коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = \frac{1}{8} \cdot (1,03 + 1,17 + 0,8 + 0,92 + 0,99 + 1,28 + 0,81 + 0,88) = 0,98$$

$$b_1 = \frac{1}{8} \cdot (-1,03 + 1,17 - 0,8 + 0,92 - 0,99 + 1,28 - 0,81 + 0,88) = 0,078$$

$$b_2 = \frac{1}{8} \cdot (-1,03 - 1,17 + 0,8 + 0,92 - 0,99 - 1,28 + 0,81 + 0,88) = -0,132$$

$$b_3 = \frac{1}{8} \cdot (-1,03 - 1,17 - 0,8 - 0,92 + 0,99 + 1,28 + 0,81 + 0,88) = 0,005$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{8} \cdot (1,03 - 1,17 - 0,8 + 0,92 + 0,99 - 1,28 - 0,01 + 0,88) = -0,031$$

$$b_{1,3} = \frac{1}{8} \cdot (1,03 - 1,17 + 0,8 + -0,92 - 0,99 + 1,28 - 0,81 + 0,88) = 0,015$$

$$b_{2,3} = \frac{1}{8} \cdot (1,03 + 1,17 - 0,8 - 0,92 - 0,99 - 1,28 + 0,81 + 0,88) = -0,013$$

Напишемо отримане рівняння регресії:

$$y = 0,98 + 0,078 \cdot x_1 - 0,132 \cdot x_2 + 0,005 \cdot x_3 - 0,031 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,015 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0013 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Перевіримо отримане рівняння на адекватність за критерієм Фішера.

Спочатку визначимо ступінь свободи системи

$$f_{ad} = n - k - 1 = 8 - 3 - 1 = 4.$$

де $k=3$ — кількість факторів;

f_y — число ступенів свободи дисперсії відтворення.

Число ступенів свободи дисперсії відтворення:

$$f_y = n \cdot (m_0 - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16.$$

Для визначення дисперсії адекватності проведемо обчислення розрахункових значень відгуку в кожному досліді для лінійної частини статистичної моделі.

Отримаємо:

$$Y_u^{(1)} = 1,0342;$$

$$Y_u^{(5)} = 1,0442;$$

$$Y_u^{(2)} = 1,1892;$$

$$Y_u^{(6)} = 1,1992$$

$$Y_u^{(3)} = 0,7692;$$

$$Y_u^{(7)} = 0,7792$$

$$Y_u^{(4)} = 0,9242;$$

$$Y_u^{(8)} = 0,9342.$$

Дисперсія адекватності тоді буде:

$$S_{ad}^2 = \frac{(1,03 - 1,0342)^2 + (1,17 - 1,1892)^2 + (0,8 - 0,7692)^2 + (0,92 - 0,9242)^2}{8 - 3 - 1} + \frac{(0,99 - 1,0442)^2 + (1,28 - 1,1992)^2 + (0,81 - 0,7792)^2 + (0,88 - 0,9342)^2}{8 - 3 - 1} = 0,004$$

Розрахуємо дисперсію відтворюваності

$$S_y^2 = \frac{1}{8} \cdot (S_{ui}^2) = 0,0019$$

Коефіцієнт Фішера буде

$$F = 0,004 / 0,0019 = 2,1.$$

Порівняємо розраховане значення з табличним:

$$F = 2,1 < F(0,05; 4; 16) = 3,110$$

Значить отримане рівняння адекватно описує процес.

Визначимо коефіцієнт Стюдента.

При 5% - му рівні значущості надійність дослідів становить $\alpha = 0,95$.

При $f_y = 16$, коефіцієнт $t = 2,1$.

Таким чином, коефіцієнт Стюдента буде:

$$\Delta b_a = 2,1 \cdot \frac{0,0019}{\sqrt{8}} = 0,00141.$$

Тож коефіцієнти рівняння регресії, що мають значення менше 0,00141 вважаються незначущими і істотно не впливають на час протягування стебел.

Остаточна статистична математична модель прийме вигляд неповного квадратичного поліному:

$$y = 0,98 + 0,078 \cdot x_1 - 0,132 \cdot x_2 - 0,031 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,015 \cdot x_1 \cdot x_3$$

Побудовані поверхні відгуку наведено на рис. 3.3-3.5.

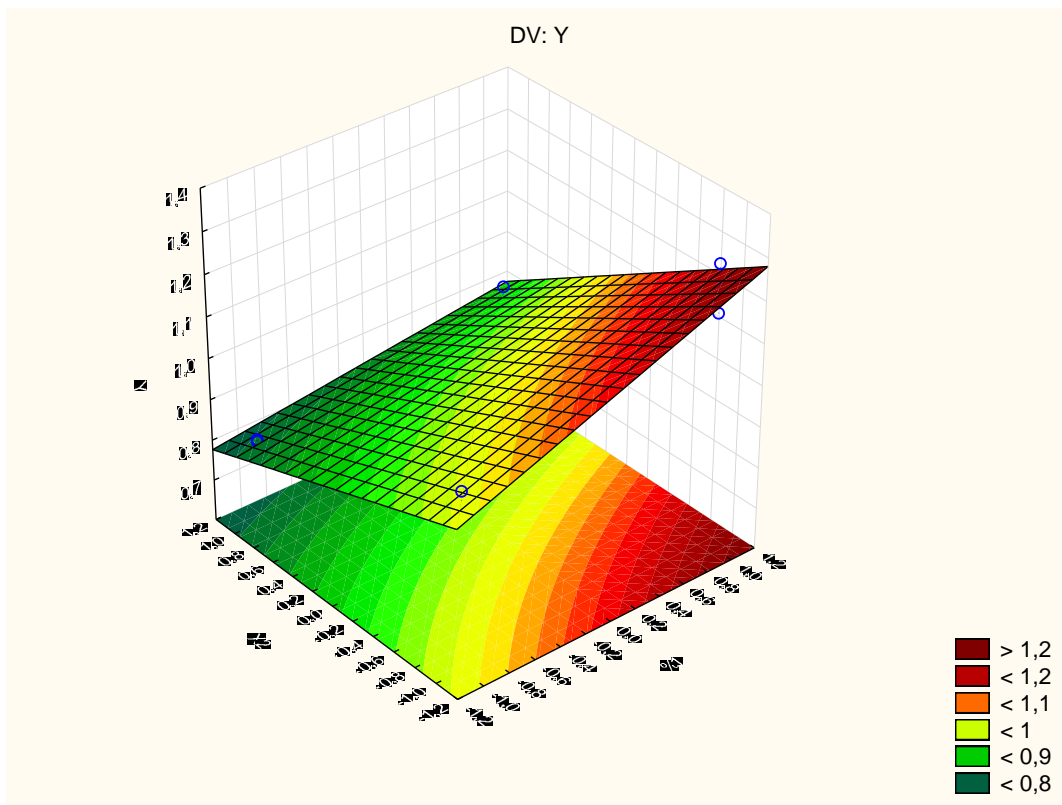


Рис. 3.3. Залежність часу протягування стебел Y від діаметра стебел x_1 і зазору між відривними пластинами x_2

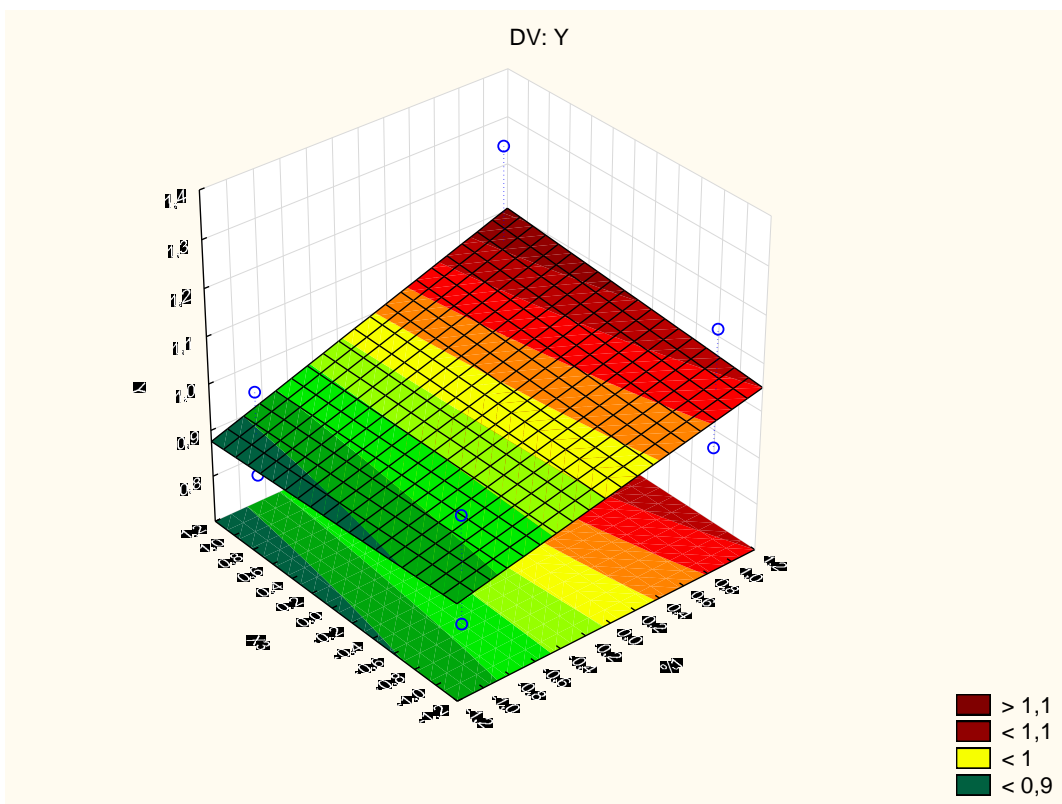


Рис. 3.4. Залежність часу протягування стебел Y від їх діаметра x_1 і початкового зазору між вальцями x_3

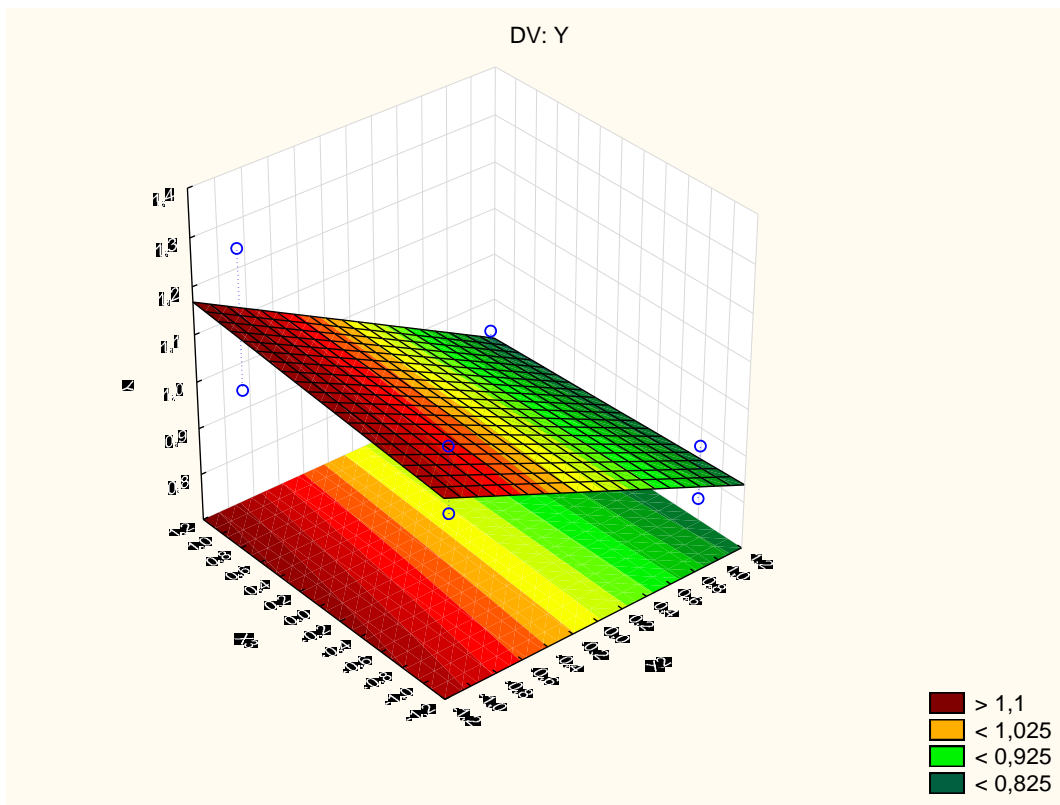


Рис. 3.5. Залежність часу протягування стебел Y від зазору між відривними пластинами x_2 і початкового зазору між вальцями x_3

Аналіз отриманих рівняння регресії та побудованих за ним поверхонь відгуку дозволяє зробити наступні **висновки**:

- найбільш впливовим фактором на час протягування стебел є зазор між стріперними пластинами, зі збільшенням якого, час протягування зменшується, що пояснюється меншим ковзанням по них та ребрам вальців;
- величина початкового зазору між протягувальними вальцями виявилася фактором не впливовим процес, отже, для роботи зі стеблами діаметром 18-26 мм може бути встановленою на рівні середнього значення – $27,5 \pm 7,5$ мм;
- раціональним зазором між стріперними пластинами для стебел з діаметрами 18-26 мм є величина 25 мм, що забезпечує мінімізацію часу протягування і розриву стебел. Однак при цьому необхідно зважати на мінімальний діаметр біологічно цінних качанів, які повинні відокремлюватися на стріперних пластинах.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Опис будови і роботи кукурудзозбиральної приставки КМД-6.

Кукурудзозбиральний агрегат, складений зернозбиральним комбайном Славутич із встановленою фронтальною приставкою КМД-6 (рис. 4.1), призначений для механізованого збирання качанів кукурудзи з одночасним подрібненням стеблової маси та збиранням у причеп транспортного засобу, що рухається поряд, або розкиданням її по поверхні поля. Технологічний процес роботи агрегату включає послідовне виконання декількох взаємопов'язаних операцій.

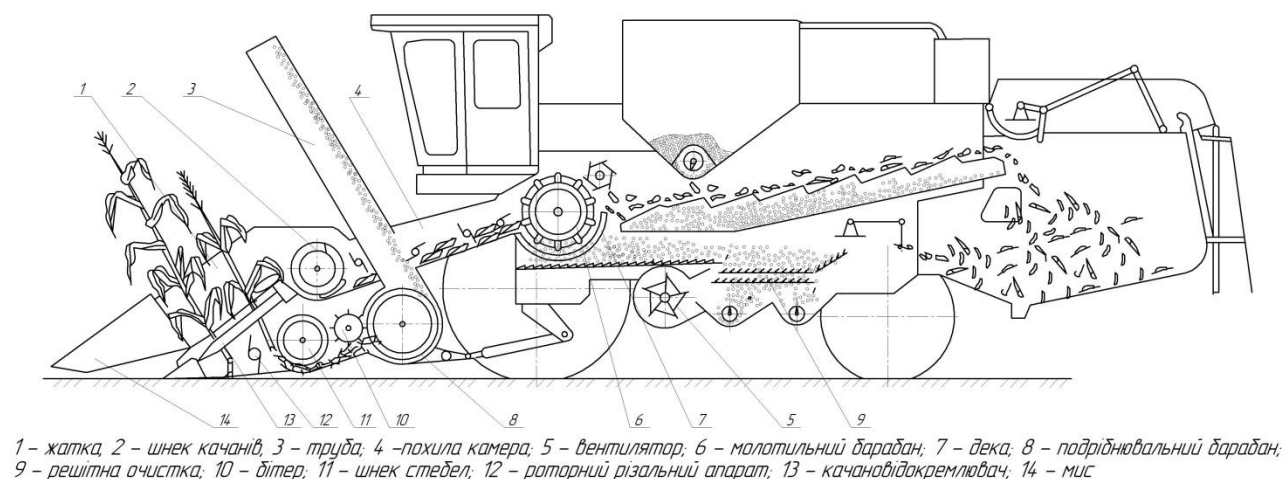


Рис. 4.1. Функціональна схема роботи кукурудзозбирального агрегату

Перед початком збиральних робіт здійснюється комплекс підготовчих операцій. Кукурудзозбиральну приставку КМД-6 агрегують з комбайном Славутич за допомогою гідравлічної навісної системи. Виконується ретельна перевірка надійності кріплення всіх вузлів та з'єднань приставки з рамою комбайна.

Налаштування робочих параметрів приставки проводиться відповідно до конкретних умов збирання. Регулюється відстань між відривними пластинами качановідділювальних механізмів у діапазоні від 22 до 42 міліметрів залежно від середнього діаметра качанів та стебел у даному посіві. Встановлюється оптимальна висота зрізу стебел – 10-15 см, що визначається агротехнічними вимогами та станом поля.

Перевіряється стан та коректність роботи привідних механізмів. Гідравлічна система переводиться в активний режим, контролюється тиск робочої рідини та відсутність витоків. Підйомно-опускний механізм тестується на плавність ходу та відсутність заїдань.

Комбайн із приставкою КМД-6 заходить у поле кукурудзи на зниженій робочій швидкості. Механізатор здійснює точне позиціонування агрегату таким чином, щоб кожне русло приставки розташувалося чітко по центру відповідного міжряддя. Приставка КМД-6 має шість паралельних русел.

За допомогою гідроциліндрів приставка опускається у робоче положення. Висота встановлюється таким чином, щоб носки русел знаходилися на мінімальній відстані від поверхні ґрунту, забезпечуючи захоплення навіть полеглих або нахилених стебел. Після досягнення робочого положення вмикається привід робочих органів приставки через карданну передачу від валу відбору потужності комбайна.

Початок роботи відбувається на швидкості 3-4 км/год, що дозволяє оператору оцінити стабільність захоплення стебел, якість відділення качанів та відсутність забивань. За умови нормального функціонування всіх систем швидкість поступово збільшується до оптимальної робочої, яка становить 5-7 км/год залежно від густоти стеблостою та врожайності.

Стебла кукурудзи потрапляють у зону дії захоплюючих елементів приставки. Кожне русло обладнане системою направляючих пластин та ланцюгових конвеєрів, які формують потік рослинної маси та забезпечують її подачу до качановідокремлювальних вузлів. Розташування русел відповідає стандартній міжрядковій відстані 70 сантиметрів, що забезпечує оптимальне охоплення посіву.

Направляючі елементи мають клиноподібну форму, що сприяє концентрації стебел у центральній частині русла та орієнтації їх у вертикальному положенні. Подавальні ланцюги, оснащені спеціальними планками, переміщують стебла вгору зі швидкістю, синхронізованою із поступальним рухом агрегату.

Стебла кукурудзи надходять до пари протягувальних вальців, розміщених під кутом до вертикалі. Вальці мають шестигранний профіль, на кожній грані якого встановлено гострі ножі з твердосплавними пластинами. Обертаючись назустріч один одному, вальці захоплюють стебло, надрізають його та створюють зусилля протягування.

Над протягувальними вальцями розташовані дві металеві відривні пластини, встановлені під певним кутом нахилу. У момент, коли качан досягає рівня цих пластин, стебло продовжує рухатися вгору через протягувальні вальці, тоді як качан утримується пластинами завдяки своїм габаритним розмірам.

Зазор між пластинами відрегульований таким чином, що стебло вільно проходить крізь нього, а качан затримується. Під дією протягувального зусилля вальців стебло рухається далі, а качан залишається між пластинами. Коли зусилля досягає критичного значення, відбувається відрив качана від стебла у місці природного з'єднання.

Відірваний качан падає вниз під дією власної ваги та потрапляє на систему транспортування. Горизонтальний шнек, розташований у нижній частині приставки, збирає качани з усіх шести русел та переміщує їх до центру, звідки вони елеватором подаються у молотильний барабан комбайна.

Стебла зрізаються роторним різальним апаратом і спрямовуються до барабанного подрібнювача, який подрібнює масу і викидає січку з машини через вивантажувальну трубу.

4.2. Визначення конструкційних параметрів протягувальних вальців

Діаметр протягувальних вальців визначаються за рівнянням:

$$D \geq \frac{d - h}{1 - \cos \alpha} \quad (4.1)$$

де $h = 27,5$ мм – початкова відстань між вальцями;

α - кут защемленняхоплення стебел.

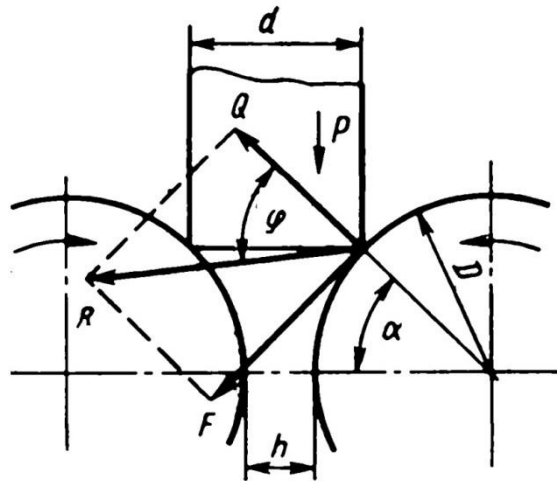


Рис. 4.2. Розрахункова схема протягувальних вальців.

Кут защемлення стебел:

$$\alpha \leq \arctg f \quad (4.2)$$

де $f = 0,7$ – коефіцієнт тертя стебел по вальцям.

$$\alpha \leq \arctg 0,7 = 35^\circ$$

Підставимо отримані результати до рівняння (4.1):

$$D \geq \frac{40 - 27,5}{1 - \cos 35} = 69,1 \text{ мм}$$

Це мінімальне значення діаметру вальця з технологічної позиції, що забезпечує протягування стебел. З технічно-експлуатаційної позиції, валець з таким діаметром матиме недостатню жорсткість і міцність. Крім того, необхідність запасу протягувальної здатності потребує збільшення діаметру.

На основі викладеного вище, прийmemo діаметр вальців 92 мм як і у базової машини.

Визначимо довжину робочої частини вальців (без передньої західної ділянки).

$$L_p = \frac{V_M \cdot \tau \cdot F_c}{l_c \cdot h \cdot k_{uz}} \quad (4.3)$$

де $V_M = 7,2$ км/год = 2 м/с – робоча швидкість збирального агрегату.

τ - час протягування стебла, с;

F_c - площа горизонтального перетину стебла м²;

$l_c = 0,15 \dots 0,3$ м - відстань між стеблами у рядку,

$k_{uz} = 0,6 \dots 0,8$ - коефіцієнт заповнення щілини

Час протягування стебла розраховують за формулою

$$\tau = \frac{\mu \cdot L_c \cdot \sin \beta}{V_g} \quad (4.4)$$

де μ – коефіцієнт проковзування стебла;

$L_c = 3,0$ м – теоретична довжина стебел;

β – кут нахилу протягувальних вальців (рис. 4.3);

$V_g = 4-4,5$ м/с – колова швидкість вальців.

Коефіцієнт проковзування стебла, який наведено в літературних джерелах становить $\mu = 1,25-1,45$.

Під час проведення експериментальних досліджень нами було виявлено час протягування стебел, довжиною 1,5 м. При цьому відоме значення колової швидкості вальців під час проведення дослідів дає змогу розрахувати реальне значення коефіцієнту проковзування:

$$\mu = \frac{t_e}{t_T}$$

де $t_e = 0,83-1,283$ – час протягування такого ж стебла, отриманий в процесі проведення експерименту;

t_T – теоретичний час протягування стебла, с.

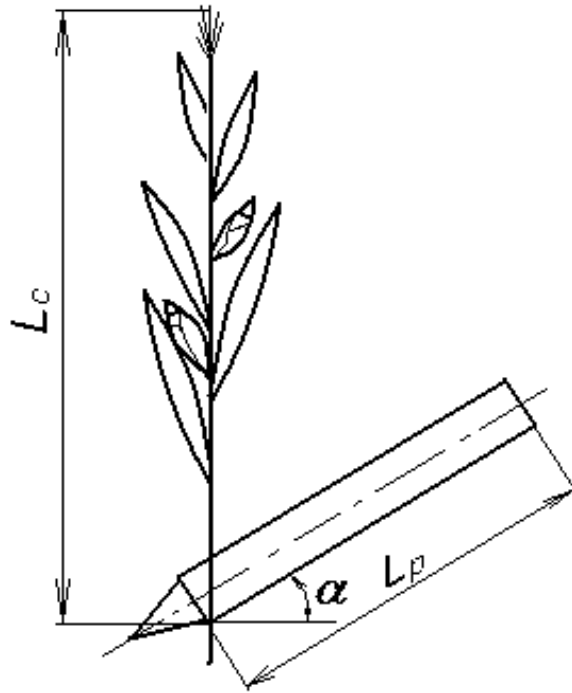


Рис. 4.3. Схема визначення робочої довжини протягувального вальця.

Теоретичний час протягування стебла

$$t_T = \frac{L_{cE}}{V_{BE}}$$

де $L_{cE}=1,5$ м – довжина стебел під час проведення експериментів;

$V_{BE}= 2,38$ м/с – колова швидкість вальців під час проведення експериментів.

Теоретичний час протягування стебла

$$t_T = \frac{1,5}{2,38} = 0,63 \text{ с.}$$

Коефіцієнт проковзування:

$$\mu = \frac{(0,803 \dots 1,283)}{0,63} = 1,27 \dots 2,03$$

Кут нахилу протягувальних вальців

$$\beta = 90 - \alpha$$

де $\alpha = 32^\circ$ - кут встановлення вальців приставки КМД-6 по відношенню до вертикалі.

Кут нахилу протягувальних вальців

$$\beta = 90 - 32 = 58^\circ$$

Час протягування стебел:

$$\tau = \frac{(1,27 \dots 2,03) \cdot 3,0 \cdot \sin 58}{4} = 0,808 \dots 1,29 \text{ с.}$$

Прийmemo для проведення подальших розрахунків середнє значення часу:

$$\tau = \frac{0,808 + 1,29}{2} = 1,049$$

Площа горизонтального перетину стебла

$$F_c = \frac{\pi d^2}{4},$$

де $d = 0,04$ м – діаметр стебла.

Площа горизонтального перетину стебла

$$F_c = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,001256 \text{ м}^2.$$

Довжина робочої частини вальців:

$$L_p = \frac{2,0 \cdot 1,049 \cdot 0,001256}{0,25 \cdot 0,02 \cdot 0,8} = 0,658 \text{ м.}$$

Прийmemo для подальшого проєктування довжину вальців $L_p=0,66$ м.

Визначимо пропускну здатність жатної частини кукурудзозбиральної приставки по стебловій масі:

$$Q = Q^{(I)} \cdot n$$

де $Q^{(I)}$ – пропускну здатність одного русла (пари вальців).

Пропускну здатність русла

$$Q^{(I)} = \frac{n \cdot m}{\tau}$$

де n – кількість стебел які затиснені в зазорі між вальців;

m – маса стебла;

τ – час протягування стебла.

Кількість стебел які затиснені в зазорі між вальців

$$n = \frac{L_p \cdot h \cdot K_3}{F_c} \quad (4.5)$$

За відомих складових, кількість стебел які затиснені в зазорі між вальців:

$$n = \frac{0,68 \cdot 0,0275 \cdot 0,6}{0,001256} = 8,93$$

Пропускна здатність русла

$$Q^{(1)} = \frac{8,93 \cdot 0,4}{1,049} = 3,405 \text{ кг/с.}$$

Пропускна здатність кукурудзозбиральної приставки КМД-6 по стебловій масі буде

$$Q = 6 \cdot 3,405 = 20,43 \text{ кг/с}$$

Функціональну схему роботи кукурудзозбиральної приставки і креслення розробленого в процесі проектування протягувального вальця наведемо у ілюстративній частині роботи.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні вимоги безпеки

До роботи на агрегаті у складі комбайна Славутич з кукурудзозбиральною приставкою КМД-6 допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці, мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії та стажування на робочому місці.

Механізатор зобов'язаний знати будову комбайна та кукурудзозбиральної приставки, принцип їх роботи, правила експлуатації та технічного обслуговування, порядок регулювання робочих органів відповідно до агротехнічних вимог.

Механізатор повинен бути забезпечений спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту: костюмом бавовняним, черевиками шкіряними, рукавицями комбінованими, головним убором, окулярами захисними, респіратором протипиловим.

При роботі на механізатора можуть діяти наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори: рухомі частини машин та механізмів, підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість повітря робочої зони, можливість травмування при потраплянні на обертові вали та барабани, несправність гальмівної системи.

Категорично забороняється перебувати у зоні роботи приставки КМД-6 стороннім особам. Під час роботи агрегату необхідно дотримуватися безпечної відстані не менше 5 метрів від рухомих робочих органів.

За невиконання вимог інструкції механізатор несе відповідальність згідно з чинним законодавством України.

5.2. Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи агрегату постійно стежити за показниками приладів: тиском мастила, температурою охолоджуючої рідини, частотою обертання двигуна. При відхиленнях від норми припинити роботу та з'ясувати причину.

Швидкість руху агрегату вибирати залежно від стану поля, густоти стеблостою кукурудзи та урожайності. Не перевищувати швидкість, яка забезпечує якісне виконання технологічного процесу та безпеку роботи.

Початок роботи здійснювати на зниженій швидкості. Після входження приставки у рядки кукурудзи та перевірки стабільності роботи всіх механізмів можна поступово збільшувати швидкість до оптимальної.

Постійно контролювати якість відділення качанів, роботу подрібнювального апарату, відсутність забивання робочих органів стеблами. При виникненні порушень технологічного процесу вжити заходів для їх усунення.

Забороняється під час руху агрегату виходити з кабіни, висовуватися з вікон, стояти на підніжках або інших частинах комбайна.

5.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При виникненні аварійної ситуації негайно зупинити агрегат, вимкнути привід робочих органів, заглушити двигун. Встановити агрегат на стоянкове гальмо, встановити протикотки під колеса.

При виявленні пожежі на комбайні або приставці негайно зупинити двигун, вимкнути електрообладнання, покинути кабіну. Приступити до гасіння вогню вогнегасником, що знаходиться на комбайні. Викликати пожежну службу за телефоном 101.

При загорянні на комбайні не використовувати воду для гасіння електрообладнання. Застосовувати тільки вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Відключити акумуляторну батарею.

У разі виходу з ладу гальмівної системи негайно зменшити швидкість шляхом зниження подачі палива, використати робочі та стоянкове гальмо, рух здійснювати до місця зупинки з урахуванням відсутності гальм.

При відмові рульового керування зупинити агрегат, не допускаючи різких маневрів. Використовувати робочі гальма для корекції напрямку руху. Зупинку виконувати на рівній ділянці.

При попаданні стороннього предмету у робочі органи приставки КМД-6, появі стуків, вібрації або інших ненормальних звуків негайно зупинити агрегат, заглушити двигун. Оглянути робочі органи та усунути причину лише після повної зупинки всіх механізмів.

При заклинюванні або блокуванні робочих органів не намагатися усунути заклинювання при працюючому двигуні. Заглушити двигун, зачекати повної зупинки, тільки потім приступити до усунення причини.

У разі травмування працівника надати йому першу долікарську допомогу, використовуючи аптечку першої допомоги. При необхідності викликати швидку медичну допомогу за телефоном 103. Повідомити керівництво підприємства про нещасний випадок.

При отриманні механізатором травми або погіршенні стану здоров'я припинити роботу, повідомити безпосереднього керівника, звернутися до медичного закладу. Місце події нещасного випадку зберегти до прибуття комісії з розслідування.

При розриві гідравлічних шлангів, витoku робочої рідини під тиском негайно зупинити агрегат та заглушити двигун. Не допускати контакту рідини зі шкірою. При попаданні робочої рідини на шкіру або в очі негайно промити великою кількістю води.

Про всі виявлені несправності, аварійні ситуації та нещасні випадки негайно повідомляти безпосереднього керівника робіт.

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено огляд сучасної технології вирощування кукурудзи на зерно та здійснено аналіз конструкцій качановідривних апаратів. Проведені дослідження їх роботи шляхом реалізації повного факторного експерименту ПФЕ 2³. На основі виконаних досліджень можна сформулювати наступні висновки.

1. Продуктивне збирання врожаю можливе при використанні сучасних широкорядних машин або приставок до сучасних зернозбиральних комбайнів, що мають ефективні органи пристрої і високу пропускну здатність.
2. Найбільше переваг з технологічної та експлуатаційної точки зору має класичний качановідривний апарат, який виконує лише одну функцію – відокремлення качанів, оскільки апарати з інтегрованими ножовими елементами зменшують надійність жатки і збільшують час на обслуговування – очищення, загострення, регулювання зазорів.
3. Використання класичного качановідривного апарату дозволяє працювати кукурудзозбиральному комбайну як в режимі розкидання подрібненої маси на поверхню поля, так і в режимі збирання у причепи транспортних засобів для використання у господарчих потребах.
4. Ефективну роботу качановідривного апарату забезпечують протягувальні вальці, довжина яких залежить від багатьох факторів і має бути науково-обґрунтованою для роботи на різних за розмірами стеблах.
5. Найбільш впливовим фактором на час протягування стебел є зазор між стриперними пластинами, зі збільшенням якого, час протягування зменшується, що пояснюється меншим ковзанням по них та ребрам вальців;
6. Величина початкового зазору між протягувальними вальцями виявилася фактором не впливовим процес, отже, для роботи зі стеблами діаметром 18-26 мм може бути встановленою на рівні середнього значення – $27,5 \pm 7,5$ мм;

7. Раціональним зазором між стріперними пластинами для стебел з діаметрами 18-26 мм є величина 25 мм, що забезпечує мінімізацію часу протягування і розриву стебел. Однак при цьому необхідно зважати на мінімальний діаметр біологічно цінних качанів, які повинні відокремлюватися на стріперних пластинах.
8. Експериментально уточнено значення коефіцієнту проковзування стебел у качановідривному апараті $\mu=1,27\dots2,03$, в діапазоні діаметрів стебел 18-26 мм, при зазорі між стріперними пластинами 17-25 мм.
9. Розраховані у практичній частині параметри протягувальних вальців дозволили спроектувати його конструкцію, яка характеризується зменшеною до 660 мм довжиною і, відповідно, зниженою масою.

7. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9720-zhatky-dlia-zbyrannia-kukurudzy.html>.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Проектування машин для збирання технічних культур" для студентів спеціальності 8.090215 - "Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва" / Укл. О.М.Васильковський, М.І.Васильковський, В.В.Амосов, С.М.Мороз. - Кіровоград: КДТУ, 2003. - 85 с.
3. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 47 с
4. Будаєв М.А. Підвищення ефективності роботи кукурудзозбирального агрегату [Електронний ресурс] / М.А. Будаєв, О.М. Васильковський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції», Кіровоград: КНТУ, 2018. С. 41-42.
5. 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.
6. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника: Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Харків: Мачулін, 2016. 204 с.
7. Гаврилов І., Васильковський О. Особливості діяльності підприємств сільськогосподарського машинобудування в умовах військового стану. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ: АТНУ, 2024. С. 44-45.

8. Дерев'янюк Р., Попова С., Васильковський О. Удосконалення качаноочисного пристрою кукурудзозбирального комбайну. Матеріали II Міжнародної студентської інтернет-конференції «Техніка і технології у аграрному виробництві» (24 вересня 2020 р., м. Кропивницький). 2020. С. 22-24.
9. Згуровський В., Мороз С., Васильковський О. Підвищення ефективності роботи кукурудзозбирального комбайна. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. С. 69-72.
10. Савченко І., Васильковський О. Удосконалення різального апарату кукурудзозбиральної приставки. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 59-61.
11. Сисолін П. В., Сало В. М., Рибак Т. І. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладн. с.-г. вир-ва". Кн. 2. Машини для рільництва. - К. : Урожай, 2002. - 364 с.
12. Сичов О. Удосконалення різального апарату приставки кукурудзозбиральної КМД-6 / О. Сичов, О. Васильковський // Збірник тез доповідей всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва». Кіровоград: КНТУ, - 2014. С. 47-48.
13. Сичов О.І. Удосконалення різального апарату приставки кукурудзозбиральної КДМ-6/ О.І. Сичов, О.М. Васильковський // IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» Ч.2. – Кіровоград: КНТУ, – 2013. С. 33-35.

14. Сільськогосподарські машини. Навчальний посібник / П.В. Сисолін, В.М. Сало, М.О. Свірень [та ін.] за ред. М.І. Черновола // Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф., 2017 – 156 с.
15. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.
16. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004.
17. Скалевий В.В. Удосконалення різального апарата кукурудзозбирального комбайна [Електронний ресурс] / В.В. Скалевий, В.Ю. Антоновський, О.М. Васильковський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції», Кіровоград: КНТУ, 2019. С. 28-30.
18. Шавкун В.О. Визначення параметрів ведених зірочок подавальних ланцюгів кукурудзозбирального комбайну [Електронний ресурс] / В.О. Шавкун, І.О. Савченко, О.М. Васильковський // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції», Кіровоград: КНТУ, 2019. С. 32-33.

ДОДАТКИ