

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту

“ ” 2025 p.

Зав. кафедри, д.т.н., професор

Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО
З ОБГРУНТУВАННЯМ МЕХАНІЗМУ ВИРІВНЮВАННЯ ЖАТКИ»**

Виконав: студент 2 курсу,

групи 21м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Олександр ГОНЧАРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

Рецензент Едуард ПРОКОПЕНКО

(прізвище та ініціали)

Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідур В.В.

“ ____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Гончаренку Олександрю Вячеславовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження процесу збирання кукурудзи на зерно з обґрунтуванням механізму вирівнювання жатки»

керівник роботи _____ Войтік А.В., к.т.н., доцент _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2025 _____

3. Вихідні дані до роботи: існуючі конструкції зернозбиральних комбайнів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

провести аналіз існуючих способів збирання кукурудзи на зерно, конструкцій жаток для збирання кукурудзи на зерно, систем автоматичного водіння по рядкам; розробити конструктивне рішення системи автоматичного вирівнювання жатки; спроектувати систему управління системою автоматичного вирівнювання; розробити заходи охорони праці при вирощуванні та збиранні кукурудзи на зерно; техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.04.25 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.05.25 р.	
3.	Розділ 2. Конструктивне рішення системи автоматичного вирівнювання жатки	04.06.25 р.	
4.	Розділ 3. Проектування системи управління	03.09.25 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.25 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.10.25 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	03.11.25 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.25 р.	

Студент

(підпис)

Олександр ГОНЧАРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гончаренко О.В. Дослідження технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно і удосконалення параметрів робочих органів зернозбирального комбайну. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 43 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 15 рисунків, 4 таблиці, 24 джерела).

Об'єкт дослідження – процес збирання кукурудзи на зерно зернозбиральним комбайном з автоматичним вирівнюванням руху по рядкам.

Мета роботи – розробити конструктивне рішення автоматичного вирівнювання жатки при збиранні кукурудзи.

У першому розділі “Стан питання і задачі досліджень” наведено технологічний процес збирання кукурудзи на зерно, огляд існуючих жаток для збирання кукурудзи, їх переваги та недоліки, автоматичного контролю руху збирального агрегату по рядках та сформувано задачі досліджень.

У другому розділі “Конструктивне рішення системи автоматичного вирівнювання жатки” запропоновано систему автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального комбайна на основі сенсорного механізму вирівнювання та електричного керма.

У третьому розділі “Проектування системи управління” побудовано кінематичну модель руху сенсорної планки відносно рядка та розроблено систему керування рульовим механізмом.

У четвертому розділі “Охорона праці” розглянуто особливості охорони праці при збиранні кукурудзи на зерно з використанням вдосконаленого агрегату.

У п'ятому розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховано ефект від впровадження запропонованої системи автоматичного вирівнювання рядків при збиранні кукурудзи.

ЖАТКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО, СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИРІВНЮВАННЯ, ВТРАТИ НАСІННЯ ЗА ЖАТКОЮ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	6
1.1. Технологічний процес збирання кукурудзи на зерно	6
1.2. Огляд конструкцій жаток для збирання кукурудзи	9
1.3. Автоматичний контроль руху збирального агрегату по рядках	13
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	14
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИРІВНЮВАННЯ ЖАТКИ	16
2.1. Загальна структура системи	16
2.2. Принцип роботи	17
2.3. Будова механізму вирівнювання	18
2.4. Електропривідне рульове керування	21
2.5. Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	23
3.1. Дизайн системи управління	23
3.2. Кінематична модель системи рульового керування	24
3.3. Алгоритм нечіткого ПІД-регулювання та моделювання Matlab/Simulink	26
3.4. Висновки до розділу	28
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	29
4.1. Аналіз процесів виникнення травм під час збирання кукурудзи	29
4.2. Моделювання процесів виникнення травм	30
4.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання кукурудзи	30
4.4. Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	35
ВИСНОВКИ.....	40
Список використаних джерел.....	41

ВСТУП

Кукурудза посідає провідне місце серед сільськогосподарських культур світу, виконуючи роль універсального джерела їжі, корму та промислової сировини. Завдяки високій продуктивності на одиницю площі, широкій адаптивності до різних кліматичних і ґрунтових умов та багатому генетичному потенціалу, кукурудза забезпечує значну частину калорій і поживних речовин у раціонах людей у багатьох країнах і одночасно є основою кормової бази тваринництва — від свинарства й птахівництва до молочного поголів'я. Як харчова культура вона дає зерно для круп, борошна та олії; як промислова — є джерелом крохмалю, сиропів, біоетанолу та матеріалів для біоекономіки; як кормова — постачає висококонцентровану енергію, що визначає продуктивність і ефективність годівлі.

Економічне й стратегічне значення кукурудзи зростає внаслідок розвитку селекції, що підвищує врожайність і стійкість до стресів; впровадження технологій точного землеробства, що оптимізують витрати води, добрив і палива; і поліпшення систем післязбиральної обробки й зберігання, які зменшують втрати та підвищують якість продукції. Паралельно культура набуває дедалі більшого значення в секторах відновлюваної енергії та біоматеріалів, що робить її важливим елементом переходу до циркулярної та низьковуглецевої економіки.

Однак виробництво кукурудзи стикається з низкою викликів: кліматична мінливість і екстремальні погодні явища, поширення шкідників та хвороб, деградація ґрунтів, конкуренція за водні ресурси та потреба зменшити екологічний вплив інтенсивних технологій. Тому сталий розвиток галузі вимагає комплексного підходу — поєднання інноваційної селекції, ресурсозбережних технологій, інтегрованого захисту рослин, збалансованого живлення й ефективних ланцюгів постачання.

У цій роботі буде проаналізовано біологічно-агрономічні особливості кукурудзи, її харчову й кормову цінність, економічну роль у системах виробництва, сучасні напрями селекції та технологічного вдосконалення, а також екологічні й соціально-економічні виклики й можливості для підвищення продуктивності й стійкості. Мета роботи — сформулювати цілісне бачення значущості кукурудзи й окреслити практичні орієнтири для підвищення її внеску у продовольчу безпеку, розвиток тваринництва та зелений розвиток агросектору.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологічний процес збирання кукурудзи на зерно.

Збільшення обсягів виробництва кукурудзи висуває підвищені вимоги до організації її збирання та післязбиральної обробки, оскільки від цих етапів залежить збереження врожаю, якість зерна та економічна ефективність виробництва. Технологічна база і прийняті режими робіт повинні відповідати біологічним особливостям культури: підвищеній початковій вологості зерна, його чутливості до механічних і теплових ушкоджень та відносно низькій здатності до тривалого зберігання без додаткового сушіння. Тому оснащення елеваторів, сушильних комплексів та пересувної техніки має бути адекватним плановим обсягам збору, а процеси — енергоефективними й адаптованими під конкретні гібриди та умови поля.

Терміни та критерії початку збирання. Основною умовою для початку комбайнового обмолоту товарної кукурудзи є досягнення оптимальної вологості зерна (зазвичай 30–32% для звичайного обмолоту). Початок збору раніше за цей рівень призводить до підвищених втрат при обмолочуванні і збільшення енерговитрат на сушіння; надто пізній початок — підвищує ризик осипання, поразок хворобами й впливу негоди. При визначенні термінів враховують добову вологовіддачу: вона найвища на початкових етапах підсихання і знижується зі зниженням температури та підвищенням відносної вологості повітря. Коли середньодобова температура опускається до 5–6 °C і вологість повітря піднімається до 80–90%, зниження вологості зерна практично припиняється — відтягувати строки вже недоцільно.

Методи збирання. Для товарного зерна домінує комбайновий обмолот качанів, який економічніший за збір у качанах: скорочуються трудовитрати (в 1,8–2 рази) і знижується витрата палива приблизно на 20–25%. При зниженні вологості зерна на

~6% суттєво зменшуються потреби у сушінні й економиться 7–8,5 кг дизпалива на тонну. В окремих умовах використовують збирання у качанах (для реалізації як гібридного насіння чи при спеціальних потребах) або заготівлю вологого зерна для подальшої консервації/силосування.

Пізні та зимові збирання. Практикують також відкладений (пізній або навіть зимовий) збір, щоб скористатися природним підсушуванням; при тривалому промерзанні зерно стає сухим і його легше молотити. Однак при відлизі воно швидко вбирає вологу, піддається ураженню хворобами і потребує негайного сушіння; до того ж проморожене зерно має знижену міцність і легше травмується під час обробки, тому така стратегія може бути прийнятною тільки для кормового зерна або у виняткових випадках.

Організація польових робіт і тривалість збирання. Оптимальна тривалість масового збору гібридів однієї групи стиглості — 5–7 днів; для посівів різних груп стиглості — до 15–18 днів. Затримка призводить до значних втрат: за даними досліджень, втрати можуть складати ~4% на 10-й день від початку збирання, ~10% на 20-й, ~17% на 30-й і до ~23% на 35-й день залежно від стану посіву й погодних умов. Тому планування має включати баланс потужностей комбайнів, транспортних засобів, сушарень та місць тимчасового зберігання.

Підготовка техніки та її налаштування. Зернозбиральні комбайни (наприклад, Claas, John Deere та ін.) повинні бути обладнані відповідними жатками та налаштовані під кукурудзу: регулювання робочих органів молотильного апарату, сепараторів, ширини барабанів, обертів ротора та параметрів повітряних потоків на решетах. При вузькорядних посівах (міжряддя 45 см) застосовують спеціальні жатки або адаптери. Перед початком жнив проводять передзмінний техогляд, балансування ротора, перевірку систем охолодження, мастил і гальм, налаштування подаючих пристроїв і систем безпеки.

Логістика і переміщення врожаю. Важливий етап — організація збору і транспортування зерна від комбайна до тимчасових бункерів або автосамоскидів із забезпеченням безперервності процесу. Чітка схема під'їздів, розташування бункерів-пересипачів та координована робота транспортних бригад дозволяють

мінімізувати простої техніки й зменшити втрати. Для зменшення пилення та теплового навантаження при транспортуванні використовують накривки та регульовані швидкості руху.

Післязбиральна обробка: очищення, сушіння, вентилявання. Сировина надходить на очистку від домішок і недорозвиннутих зерен; після очистки зерно надходить на сушіння. Зерносушарки повинні забезпечувати дбайливий режим нагріву і підтримувати контрольовані температури, щоб уникнути перегріву й втраченого показника якості. Режими сушіння оптимізують залежно від початкової вологості та кінцевого призначення зерна. Вентилювання і контроль вологості під час тимчасового зберігання запобігають перегріву й розвитку плісняви.

Зберігання. Після сушіння та охолодження зерно зберігають у силосах або бункерах із системами аерації й контролю мікроклімату. Для довготривалого зберігання важливі параметри — температура, відносна вологість, рівень утворення вологи внаслідок біологічних процесів; необхідні періодичні візуальні та інструментальні огляди, контроль наявності шкідників та швидке реагування.

Контроль втрат та якості. Для мінімізації втрат застосовують моніторинг втрат зерна комбайнами (датчики, вимірювання на полі), оптимізацію швидкості ходу, висоти зрізу і налаштувань молотильного апарату. Оцінка якості включає відсоток пошкодженого зерна, його вологість, засміченість і схоронність.

Енергоефективність і економічні аспекти. Оскільки основні витрати пов'язані з паливом та енергією для сушіння, важливо коригувати режими роботи так, щоб зменшити енергоспоживання: налаштування обертів, використання сучасних сушильних установок з рекуперацією тепла, кооперація господарств для оптимального завантаження сушарок і транспортних засобів.

Безпека робіт і трудові аспекти. Збирання потребує дотримання вимог охорони праці: підготовка персоналу, дотримання правил експлуатації техніки, попереджувальне обслуговування, організація нічних робіт, планування змін і ротації операторів для запобігання втомі та помилкам.

Висновок. Технологічний процес збирання кукурудзи — це комплекс взаємопов'язаних операцій від визначення оптимальних строків і підготовки

техніки до механізованого обмолоту, логістики, післязбиральної обробки і зберігання. Його ефективність визначає рівень втрат, якість зерна і собівартість продукції; тому потрібна синхронізація технічних потужностей, гнучкий вибір режимів та застосування енергоефективних і цифрових рішень для мінімізації ризиків і підвищення рентабельності.

1.2 Огляд конструкцій жаток для збирання кукурудзи.

Збирання кукурудзи на зерно машинами в усіх випадках проводиться з розділенням врожаю на дві фракції: зернову та стеблову. При збиранні з обмолотом в полі в молотарку подаються тільки качани. Обмолот качанів разом зі стеблами розповсюдження не знаходить [2].

В світовій практиці найбільшого розповсюдження отримали наступні три качановідокремлюючі системи:

1) Апарати з вертикальними вальцями і примусовим введенням в них стебел кукурудзи. Суттєвою перевагою апаратів цього типу було досягнення стабільності протікання технологічного процесу відокремлення качанів і його висока продуктивність завдяки примусовому введенню стебел між вальцями. Стебла кукурудзи звільняються від затискання їх подаючими органами тільки тоді, коли вони вже захоплені вальцями. До недоліків апарату відноситься значне механічне пошкодження качанів за рахунок їх затягування в міжвальцеву щілину, а також втрати зерна, що відбуваються при його вимолочуванні вальцями.

2) Пікерні апарати з кулачковими вальцями. Перевагами пікерних качановідокремлювачів є чистота вороха качанів після їх відриву, надійність технологічного процесу. Недоліками апарату є значне сковзання стебел по вальцях, пошкодження качанів кулачками, вимолочування і безповоротні втрати зерна, що падає на ґрунт.

3) Пікерно-стриперні качановідокремлюючі апарати, у наш час знайшли найширше застосування як на комбайнах John Deere, Claas, Massey Ferguson і т.і.

Ця система знайшла застосування в США значно пізніше пікерної і є її більш удосконаленою модифікацією, що успішно конкурує з першою як по продуктивності, так і по повноті збирання врожаю. Ці апарати прості по конструкції, надійні в виконанні технологічного процесу, дають мінімальне пошкодження качанів. Однак в результаті протягування стебел між пластинами відбувається не тільки відрив качанів, але й очісування зі стебел листя. Це зумовлює збільшення засміченості вороха качанів листям і верхівками стебел.

Конструктивні особливості жаток [3]. В основі конструкції жатки є рама, на якій змонтовані русла (апарати, що відділяють качани), різально-подрібнювальні апарати, шнек качанів, привідний механізм та щиткова група. Жатки для збирання кукурудзи оснащуються вальцьовими або пластинчастими апаратами, що відділяють кукурудзу. У зв'язку з тим, що під час роботи перших відбуваються травмування і вилущування зерна з качанів, що є причиною збільшення втрат насіння, більшість жаток укомплектовані пластинчастими апаратами.

Останні зазвичай складаються із двох похило-розміщених протягувальних вальців та двох відривних пластин, встановлених над ними, двох контурів подавальних ланцюгів, розподільної коробки, змонтованої на рамі. Протягувальні вальці складаються із чотири-, шестигранного валу, до якого прикріплено чотири або шість ножів.

Недоліком цих апаратів є обмеження щодо швидкості обертання протягувальних вальців, що негативно позначається на підвищенні продуктивності збирання кукурудзи. Це обмеження пов'язане з тим, що зі збільшенням кутової швидкості вальців зростає ударний імпульс у момент взаємодії качана з пластинами, який призводить до пошкодження основи качана і втрат урожаю внаслідок вибивання зерна.

Відповідно до потреб замовників і умов виконання роботи на ринку техніки представлені жатки різних конструкцій: з різною шириною захвату і відстанню міжрядь від 50 см і більше; з верхнім ланцюгом на кожусі і бічними шнеками та стеблеподрібнювачами для збирання врожаю в екстремальних умовах, за полеглості стебел; з металевим або пластиковим кожухом; із валиками зі змінними

пластинами або з протирізальними ножами; з трансмісією із ланцюговою передачею у герметичному корпусі з мастилом або із зубчастою передачею; із рамою жорсткою або складаною.

Залежно від призначення посівів кукурудзи та умов роботи жатки оснащуються різними типами апаратів, що відділяють качани, та стеблеподрібнювачами. У господарствах, які передбачають використання стебел кукурудзи з метою протиерозійного захисту ґрунту або на біопаливо чи грубий корм для худоби, пропонується до застосування жатки, не обладнані стеблеподрібнювальними апаратами (рис. 1.1).



Рисунок 1.1. Стеблеподрібнювальний апарат а - загальний вигляд (знизу), б - технологічна схема роботи апарата, що відділяє качани.

Технологічний процес такого апарату, що відділяє качани, проходить наступним чином: ножі протягувальних вальців врізаються у рослину, утворюють надріз або приминають її і протягують стебло. Качан відривається від нього за допомогою пластин, які змонтовані зверху вальців.

За умови використання незернової частини врожаю кукурудзи як органічного добрива із розкиданням подрібнених стебел на поверхні поля необхідно застосовувати жатки, оснащені різально-подрібнювальними робочими органами та тими, що відділяють качани.

Залежно від урожайності кукурудзи, так і розміру часток, на які необхідно подрібнити матеріал, жатки комплектуються різними типами різально-подрібнювальних пристроїв: протягувальний валець + протиризальна пластина; два протягувальні вальці + вал із горизонтальними ножами; два протягувальні вальці різних діаметрів + роторний ніж; два протягувальні вальці різних діаметрів + роторний ніж + вал із горизонтальними ножами тощо.

Найбільшого застосування у конструкціях жаток набула система подрібнення, яка складається із двох протягувальних вальців і валу з горизонтальними ножами (рис. 1.2).

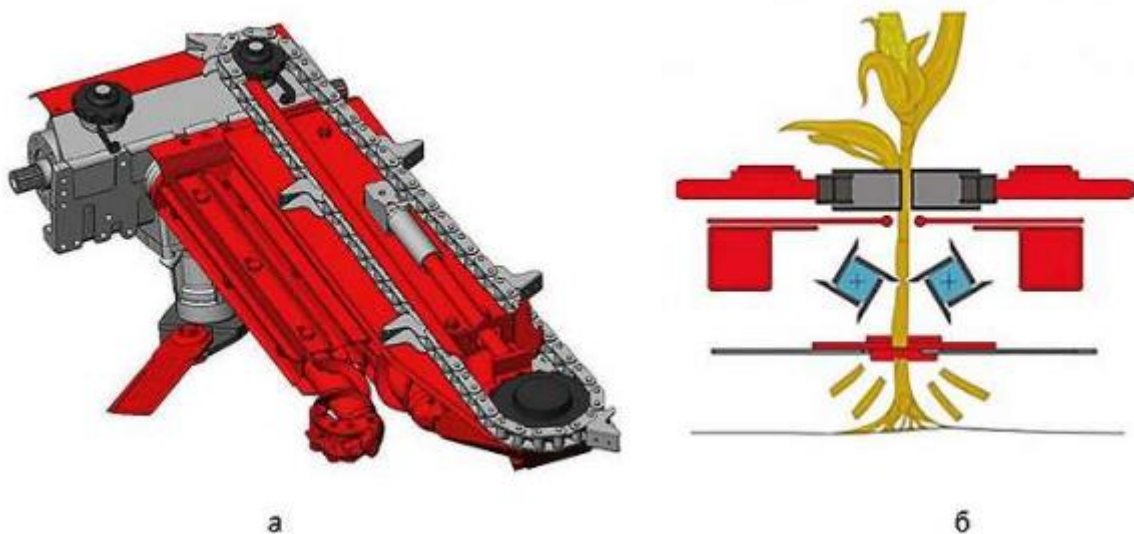


Рисунок 1.2 Система подрібнення, яка складається із двох протягувальних вальців і валу з горизонтальними ножами: а - загальний вигляд, б - технологічна схема апарата, що відділяє качани, з горизонтальним ножовим подрібнювачем.

Під час виконання технологічного процесу стебло кукурудзи попередньо подрібнюється ножами протягувальних вальців і потім потрапляє на горизонтальний подрібнювач. Останній забезпечує низьку стерню і розриває рослину по надрізах, утворених ножами вальців. Ножі подрібнювального пристрою виступають за передньою кромкою вальців, що дозволяє подрібнювати стебла з моменту їх подачі. Вони обладнані незалежною муфтою зчеплення, внаслідок чого

досягається захист від перевантаження і гарантує його надійність у будь-яких умовах збору врожаю.

1.3 Автоматичний контроль руху збирального агрегату по рядках.

Для виконання рядкового збирання кукурудзи комбайни значною мірою залежать від ручного керування під час збирання, що призводить до високої трудомісткості процесу. Для зниження трудовитрат, зменшення втрат урожаю та підвищення якості необхідна автономна система вирівнювання рядів кукурудзозбиральних комбайнів.

Навігація в сільськогосподарській техніці [4–7], автономне водіння та автоматична навігація стають все більш популярними в сільському господарстві.

Автоматичний рух по рядках на кукурудзозбиральних комбайнах є складним через складні умови роботи на запиленому полі під час збирання врожаю та численні змінні, пов'язані з роботою. Через ці проблеми технологія обробки візуальних зображень не може нормально функціонувати. Як точно визначити рядки кукурудзи, є актуальною проблемою в дослідженнях автоматичного руху по рядках, яку необхідно вирішити.

Для рульового керування систем автоматичного вирівнювання сільськогосподарської техніки часто використовують електрогідравлічний спосіб керування [8,9].

Система автоматичного вирівнювання рульового колеса була розроблена [8], де використовувалася комбінація LIDAR і контактів датчика вирівнювання для визначення та зміни кута відхилення керма. Для кукурудзозбиральних комбайнів в [9] розробили автономну систему самокоригування напрямку вирівнювання, яка запускала систему через сенсорний перемикач, а також керувала напрямком руху комбайна за допомогою гідравліки. Щоб досягти контролю швидкості та положення рульового керування, для керування гідравлічним клапаном використовувався ПД-регулятор. В роботі [10] прийняли колісного мобільного

робота як тестову платформу для ефективної мінімізації процесу ручного налаштування параметрів у завданні відстеження шляху, дозволяючи покращити керування двигуном постійного струму контролера.

Завдяки аналізу було встановлено, що як електрогідравлічні методи керування, так і методи керування двигуном широко використовуються в сільськогосподарській техніці та інтенсивно досліджуються [11]. Отже, існує нестача досліджень методу керування для автоматичного вирівнювання рядків кукурудзозбиральних комбайнів, і необхідно розробити набір методів керування з високою точністю та низькою вартістю, які підходять для автоматичного вирівнювання рядків кукурудзозбиральних комбайнів. Загалом, контроль тонкої настройки рульового керування здійснюється шляхом зміни масляного контуру гідравлічного клапанного механізму. Перевагами гідравлічного рульового керування з електронним керуванням є висока точність управління та швидка реакція. Однак його системне налаштування є складним і важкореалізованим на практиці. Електричне рульове колесо може відповідати функціональним вимогам кінцевого ефекту [12], оскільки завдяки простоті встановлення, широкому застосуванню та функції ручного автоматичного перемикачання.

1.4. Висновки та завдання досліджень.

Аналіз технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно, а також конструкцій кукурудзяних жаток показав, що це є одним з найвідповідальніших процесів у виробництві цієї культури. І використання якісних сучасних машин при збиранні кукурудзи є ключовим фактором успішності цієї операції. Сучасні зернозбиральні комбайни та жатки для збирання кукурудзи мають достатній рівень забезпечення якості процесу збирання. Але одними із визначальних факторів, які потребують вдосконалення при збиранні кукурудзи залишаються продуктивність та трудомісткість процесу, а також рівень втрат за комбайном. Покращення даних показників можливо досягти впровадженням автоматичних систем керування та

вирівнювання агрегату стосовно рядків кукурудзи. Тому метою даної роботи є дослідження спрямовані на вдосконалення автоматичних систем керування агрегатом для збирання кукурудзи на зерно.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Дослідити технологічний процес збирання кукурудзи на зерно, існуючі конструкції жаток та способів автоматичного водіння агрегату при збиранні.
2. Розробити конструктивне рішення автоматичного вирівнювання жатки при збиранні кукурудзи.
3. Спроекувати систему управління автоматичним вирівнюванням жатки.
4. Розробити заходи охорони праці при роботі з удосконаленим агрегатом.
5. Провести аналіз економічних показників застосування вдосконаленого агрегату для збирання соняшнику.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИРІВНЮВАННЯ ЖАТКИ

2.1. Загальна структура системи.

Система автоматичного вирівнювання руху по рядкам зернозбирального комбайна складається з механізму вирівнювання рядків, програмований логічний контролер Hirschmann, рульового колеса з електричним приводом, пристрою визначення кута повороту заднього колеса, РК-дисплея та клавіатури (рис.2.1).



Рисунок 2.1. Структурна схема системи автоматичного керування руху комбайна по рядкам.

На 4-5 рядах жатки з лівого боку кукурудзозбирального комбайна встановлено датчик контролю руху по рядках, який направляє дані про відхилення в систему автоматичного вирівнювання шляхом вимірювання відхилення від контрольного ряду між стеблом кукурудзи та контрольним рядом. програмований логічний контролер Hirschmann встановлюється в кабіні і є центром системи автоматичного контролю вирівнювання; рульове колесо з електричним приводом є виконавчим механізмом системи автоматичного вирівнювання та зв'язується з контролером через шину CAN [14]. Сигнали від контролера надсилаються на кермо з

електроприводом, яке виконує відповідні дії у відповідь на сигнал контролера. Також визначається кут повороту задніх коліс у режимі реального часу шляхом встановлення пристрою визначення кута повороту задніх коліс, сигнал з якого реалізується у положенні керма. У кабіні РК-дисплей надає інформацію в режимі реального часу щодо кута та вирівнювання задніх коліс, а також є перемикач, який дозволяє вибрати автоматичний і ручний режим керування.

2.2. Принцип роботи.

Смуга вирівнювання відповідає руху кукурудзозбирального комбайна, на якому встановлено механізм вирівнювання, а контрольна смуга відповідає ряду кукурудзи, який відповідає смузі вирівнювання [15]. Система автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального комбайна визначає, чи співпадає смуга вирівнювання з опорним рядком кукурудзи за допомогою механізму вирівнювання.

Система сенсорного вирівнювання рядків показана на рисунку 2.2. Система виявляє відхилення від контрольного ряду, орієнтуючись на стебла рослин і визначаючи, чи потрібно вмикати автоматичне вирівнювання. Також система оснащена датчиком швидкості, який передає виміряну швидкість на блок керування рульового колеса в реальному часі та відображає дані на РК-дисплеї через шину CAN [16]. Крім того, кермо оснащено пристроєм визначення кута, який передає інформацію від кута повороту до системи керування, щоб забезпечити замкнуту систему керування.

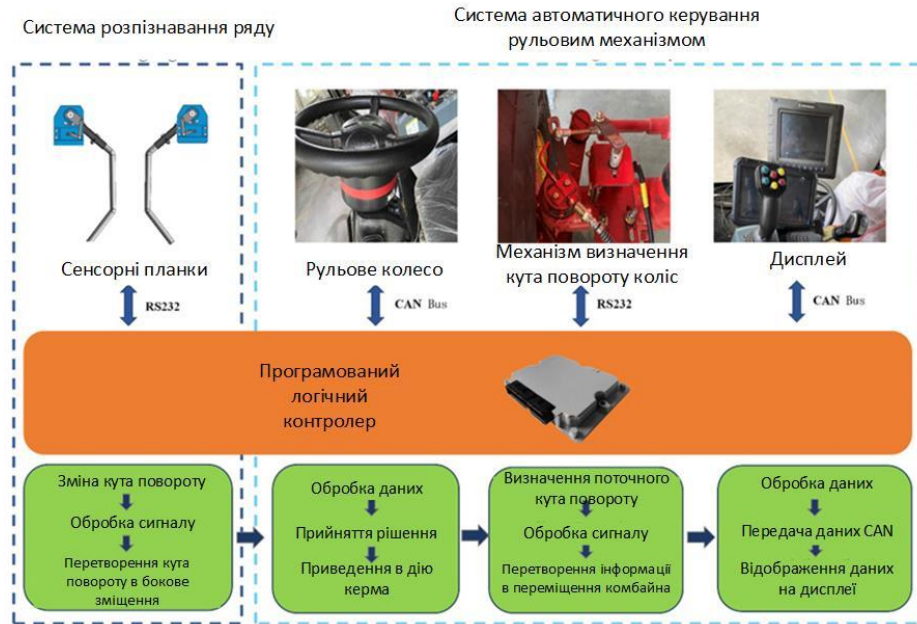


Рисунок 2.2. Принцип роботи системи автоматичного вирівнювання рядків кукурудзозбирального комбайну.

2.3. Будова механізму вирівнювання.

Механізм вирівнювання (рис.2.3) складається з безконтактного датчика кута, чотириланкового механізму, поворотного валу, торсіонної пружини повернення, підшипників, чутливого щупу, сенсорної пластини, обмежувальної втулки та нерухокої рами. Основні елементи системи показано у таблиці 2.1.

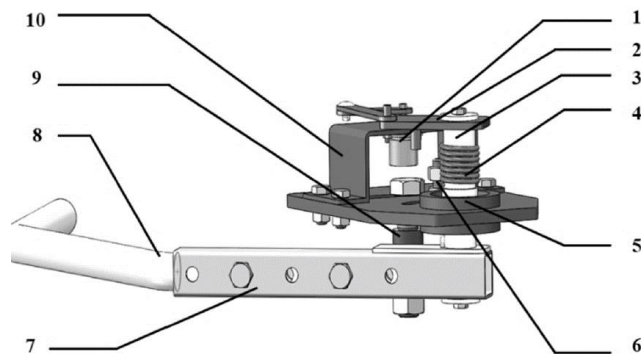


Рисунок 2.3. Механізм вирівнювання 1 - датчик кута; 2 – чотириланковий механізм; 3 - вал обертання; 4 - торсіонна пружина; 5 – підшипник; 6 - регульований фіксуючий болт торсіонної пружини; 7 – сенсорна пластина; 8 – щуп; 9 – втулка; 10 – рама механізму вирівнювання.

Таблиця 2.1. Основні параметри механізму вирівнювання

Назва	Модель	Параметри	Значення
Датчик визначення кута	KALAMOYI/P3022-V-CW180	Вихідний вольтаж	(0-5)В/(0-180°)
Сенсорна пластина	Q322 сталевна пластина	0,817	40 мм
Торсіонна пружина	Вуглецева пружинна сталь	Діаметр прута	6 мм
Щуп	Алюмінієва трубка	довжина	180 мм

Чотириланковий механізм механізму вирівнювання розташований співвісно з поперечиною системи вирівнювання, коли вона працює нормально. Коли щуп торкається стебла кукурудзи, відбувається обертання чотириланкового механізму; зерновий комбайн буде керуватися відхиленням чотиристороннього механізму, відповідно до показників напрямку датчика кута повороту. Торсіонні пружини, повертають щуп та корпус датчика у вихідне положення.

Схема розміщення датчиків на кукурудзяній жатці представлена на рисунку 2.4.

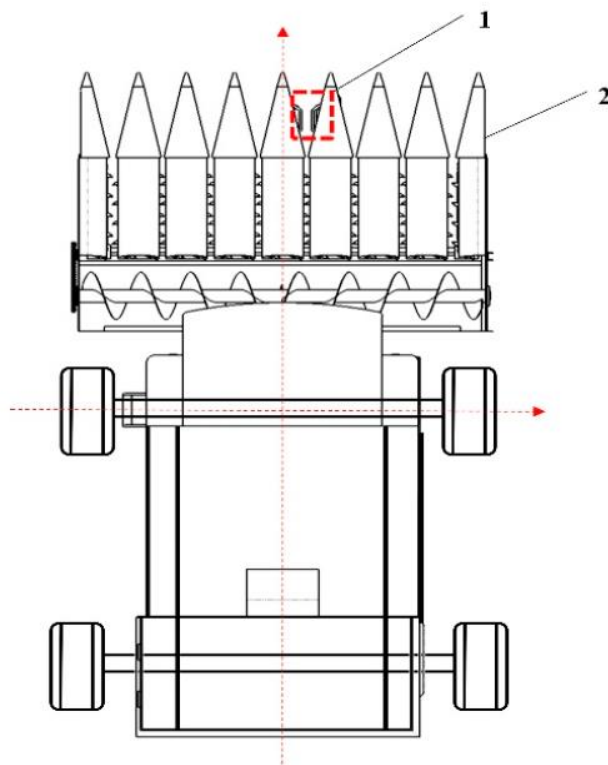


Рисунок 2.4. Схема розміщення системи автоматичного вирівнювання руху комбайна відносно рядів кукурудзи: 1 - механізм вирівнювання; 2 – жатка.

При виконанні процесу збирання зернозбиральний комбайн, який розпочинає свою роботу, рухається по рядкам при цьому стебло кукурудзи розміщене між двома сенсорними пластинами не контактуючи з ними. Датчик кута повороту не реагує в цій ситуації, і кут руху жатки не потрібно змінювати (рис 2.5a). Якщо стебло кукурудзи стикається з однією із сенсорних пластин, тобто стебло кукурудзи виходить з контрольного ряду, сенсорна пластина змушує датчик кута зміщуватися, як показано на малюнку (рис. 2.5b); комбайн продовжує рухатися, доки сенсорна пластина та стебло кукурудзи не роз'єднаються (рис.2.5c). Покази кутового датчика досягають максимального значення в цей час, і встановлюють кут відхилення сенсорної пластини α .

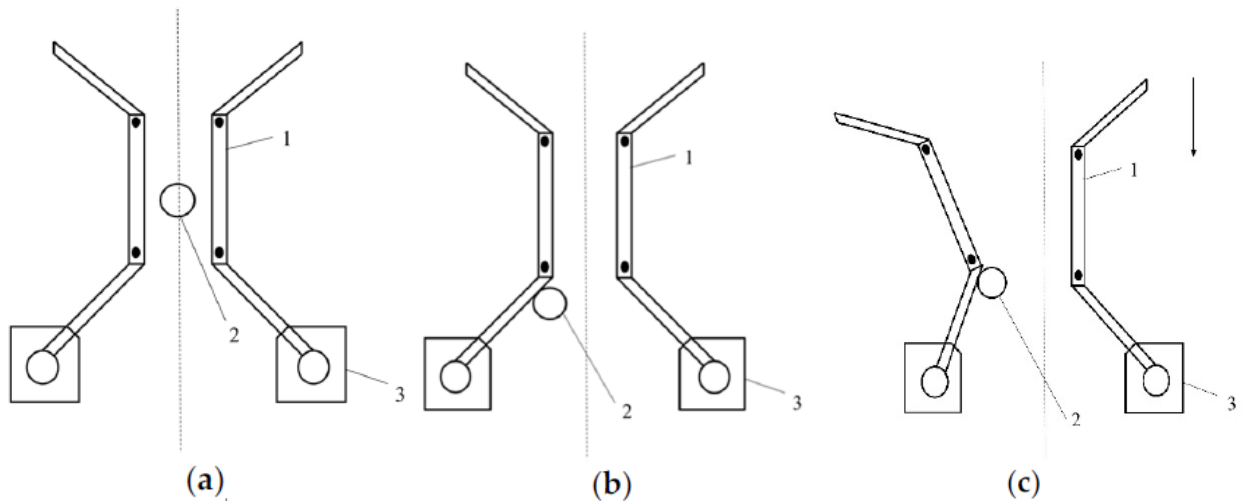


Рисунок 2.5. Принципова схема дії механізму вирівнювання: 1 - сенсорна пластина; 2 - стебло кукурудзи; 3 - тримач сенсорної пластини. (a) рівномірний рух по рядку; (b) відхилення рядка; (c) спрацювання датчика повороту.

Принцип роботи механізму переміщення від дотику рослин показано на рисунку 2.6, кут повороту дорівнює 120° , а зміщення можна розрахувати відповідно до схеми (рис. 2.6) за формулою:

$$\Delta L = L_0 \cos 30^\circ - L_0 \cos(30^\circ + \alpha) \quad (2.1)$$

де, L_0 – довжина початкової ділянки сенсорної планки, мм;

L_1 – довжина середньої ділянки сенсорної планки, мм;

α – кут повороту сенсорної планки;

L_2 – довжина останньої ділянки сенсорної планки, мм

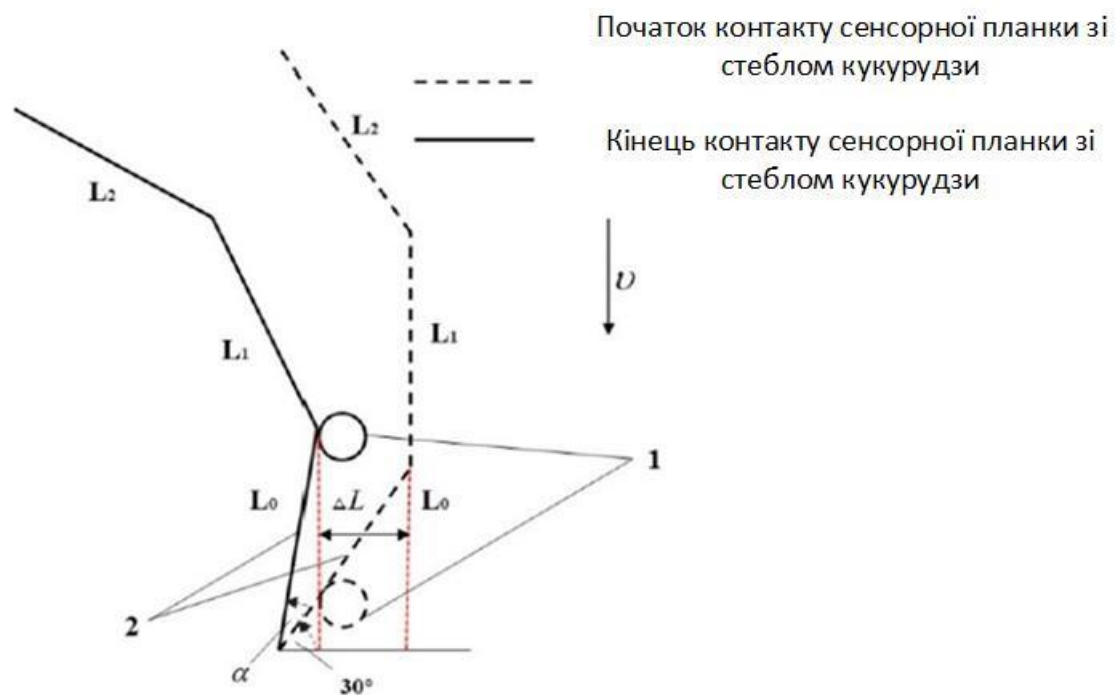


Рисунок 2.6. Схема до розрахунку кута повороту системи автоматичного вирівнювання: 1 - стебло кукурудзи, 2 – точка дотику стебла до сенсорної пластини.

2.4. Електропривідне рульове керування.

В автоматизованих системах керування зазвичай використовуються гідравлічні та електроклапанні системи, але ці системи мають ряд недоліків, включаючи високий ступінь складності, повільний час реакції та недостатню гнучкість [17, 18]. У таблиці 2.2 наведено найважливіші характеристики електронного керма, а на рисунку 2.7 зображено проектувану установку.

Таблиця 2.2. Основні параметри рульового колеса з електроприводом

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	9-16
Максимальний крутний момент, Н·м	16
Максимальна швидкість, об/хв	120
Затримка спрацювання, с	< 0,2
Помилка повороту, °	<±0,5
Протокол передавання даних	CAN2.0B

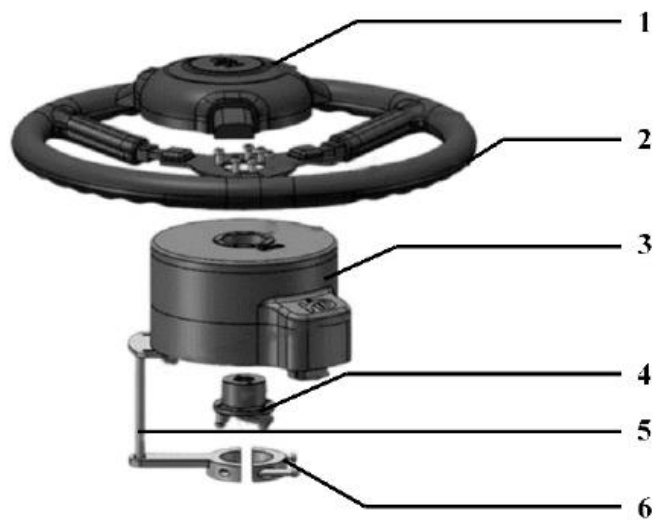


Рисунок 2.7. Схема електричного керма: 1 - верхня кришка керма, 2 – рульове колесо, 3 – двигун, 4 – фланець, 5 - кронштейн кріплення двигуна, 6 - гвинт з головкою під торцевий ключ.

Висновки до розділу.

Для автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального агрегату запропоновано систему автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального комбайна на основі сенсорного механізму вирівнювання та електричного керма.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1. Дизайн системи управління.

У цій системі використовуються контролери PIC серії Hirschmann IMC, мова програмування ST, з програмною платформою CODESYS [19]. Натискання кнопки системи автоматичного вирівнювання призведе до запуску режиму автоматичного вирівнювання. Програмна конструкція системи автоматичного вирівнювання включає отримання сигналу датчика кута сенсорного механізму вирівнювання, електричне керування рухом рульового колеса та отримання сигналу датчика кута повороту рульового колеса. Коли автоматизована система вирівнювання працює нормально, система використовує нечіткий метод ПІД-регулювання, щоб змінювати кут відхилення електричного керма через шину CAN і згодом регулювати напрямок руху комбайна. Після отримання сигналів головний блок керування обчислює поперечне відхилення переднього сенсорного механізму через кінематичну модель, обробляє її, щоб отримати три коефіцієнти для налаштування контролера та кінцеву вихідну контрольну величину. Одночасно, після відхилення рульового колеса, відповідно до сигналу кута зворотного зв'язку від датчика кута заднього колеса, щоб визначити, чи відповідає заднє колесо заздалегідь визначеним критеріям, а потім завершити процес розробки системи автоматичного вирівнювання [19] рис.3.1.



Рисунок 3.1. Схема керування системою автоматичного вирівнювання

3.2. Кінематична модель системи рульового керування.

Встановлений у передній частині комбайна механічний механізм дотику до рядка визначає кут між рослиною кукурудзи та базовим рядом. Щоб дослідити взаємозв'язок між механічним механізмом дотику до рядка та відхиленням жатки, створено спрощену модель механізму дотику до рядка та зернового комбайна під час процесу збирання врожаю [20]. Розглянемо механізм вирівнювання, що стикається зі стеблом кукурудзи, та припустимо, що після запуску системи автоматичного вирівнювання кут відхилення механізму дотику до рядка комбайна під час процесу збирання дорівнює α , а кут відхилення колеса дорівнює δ . Представимо зернозбиральний комбайн спрощено, як модель автомобіля (рис. 3.2).

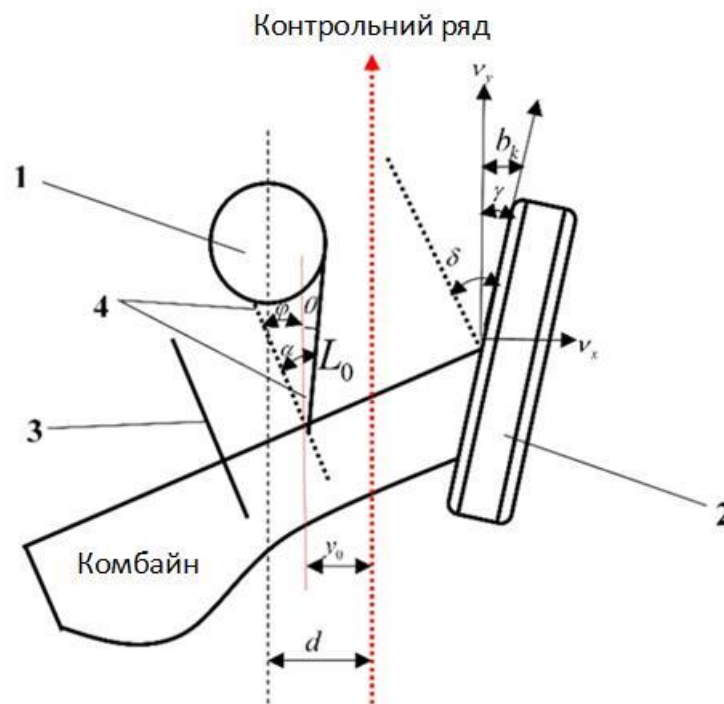


Рисунок 3.2. Моделювання бокового зміщення комбайна: 1 - стебло кукурудзи, 2 – колесо, 3 - ліва сенсорна планка, 4 – права сенсорна планка.

Під час збирання врожаю, кутом відхилення δ виражається нормальна робота комбайна. Оскільки він підтримує відносно низьку робочу швидкість, а інтервал між сигналами датчиків, як правило, короткий. На основі цих даних можна розрахувати модель для визначення бічного відхилення комбайна:

$$y_0 = |b_k| + L_0 \sin \varphi \quad (3.1)$$

$$\varphi = \alpha - \theta \quad (3.2)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{d - y_0}{L_0}\right) \quad (3.3)$$

$$\Delta L = d - y_0 \quad (3.4)$$

$$v_x = v \sin \gamma \quad (3.5)$$

$$\gamma = \delta - \varphi \quad (3.6)$$

де y_0 – відстань між положенням сенсорної планки з правого боку кукурудзозбирального комбайна та зміщенням центру опорного ряду кукурудзи;

b_k – поперечне зміщення кукурудзозбирального комбайна ;

φ – кут між корпусом кукурудзозбирального комбайна та напрямком ряду кукурудзи;

α – кут відхилення сенсорної планки;

θ – кут між сенсорною планкою та напрямком ряду кукурудзи;

d – відстань між напрямком орієнтації руху комбайна та опорним рядком кукурудзи;

v — поступальна швидкість комбайна;

v_y — вертикальна складова швидкості у напрямку базового ряду кукурудзи,

v_x — горизонтальна складова швидкості у напрямку базового ряду кукурудзи,

δ - кут відхилення рульового колеса.

Бічне відхилення сенсорної планки визначається за формулою (2.1). Зв'язок між системою керування корпусом комбайна та попередньою формулою можна визначити, як:

$$\gamma = \delta - \arcsin\left\{\frac{d - L_0 \cos 30^\circ + L_0 \cos(30^\circ + \alpha) - |b_k|}{L_0}\right\} \quad (3.7)$$

$$b_{k+1} = v_x \cdot \Delta t + b_k \quad (3.8)$$

де b_{k+1} – прогнозоване бокове зміщення комбайна в наступний момент;
 Δt – час вибірки.

Підставляючи γ у $v_x = v \sin \gamma$, отримуємо v_x , а підставляючи v_x у рівняння, можна обчислити b_{k+1} .

3.3. Алгоритм нечіткого ПІД-регулювання та моделювання Matlab/Simulink.

Параметри ПІД-регулятора можна налаштовувати самостійно шляхом регулювання розміру параметрів нечіткого ПІД-регулювання на основі реакції системи на зовнішні перешкоди, тим самим підвищуючи динамічну реакцію системи та її стійкість [19]. На рисунку 3.3 показана принципова діаграма стратегії нечіткого ПІД-регулювання/

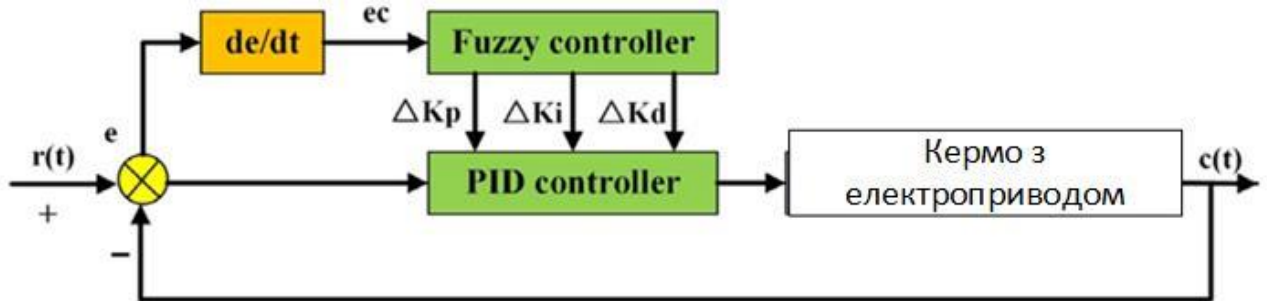


Рисунок 3.3. Схема нечіткого ПІД-регулятора.

Відповідно до правил водіння комбайна, коли поперечне відхилення механізму дотику до опорних рядів кукурудзи велике, це означає, що комбайн отримує більшу тенденцію до повороту, тоді комбайн повинен рухатися на більшу відстань у протилежному напрямку за короткий період часу. У цей час, необхідно збільшити кут повороту керма жатки, щоб комбайн міг швидко досягти необхідної траєкторії руху, щоб зменшити втрати кукурудзи при падінні, спричинені неправильним зрізом або відсутністю зрізу. Як наслідок, коли поперечне

відхилення велике, важливо запобігти надмірному повороту керма. В той же час, коли швидкість руху комбайна велика, занадто різкий поворот комбайна може призвести до його перекидання. На основі вищевказаного аналізу була розроблена нечітка модель адаптивної системи керування ПД для перевірки здійсненності запропонованої стратегії керування [21].

Модель нечіткого моделювання, яка включає модуль нечіткого керування, модуль PID, функцію передачі від системи керування та модулі оновлення стану, розроблено в MATLAB/Simulink, щоб перевірити можливість використання системи автоматичного вирівнювання, як показано на рисунку 3.4.

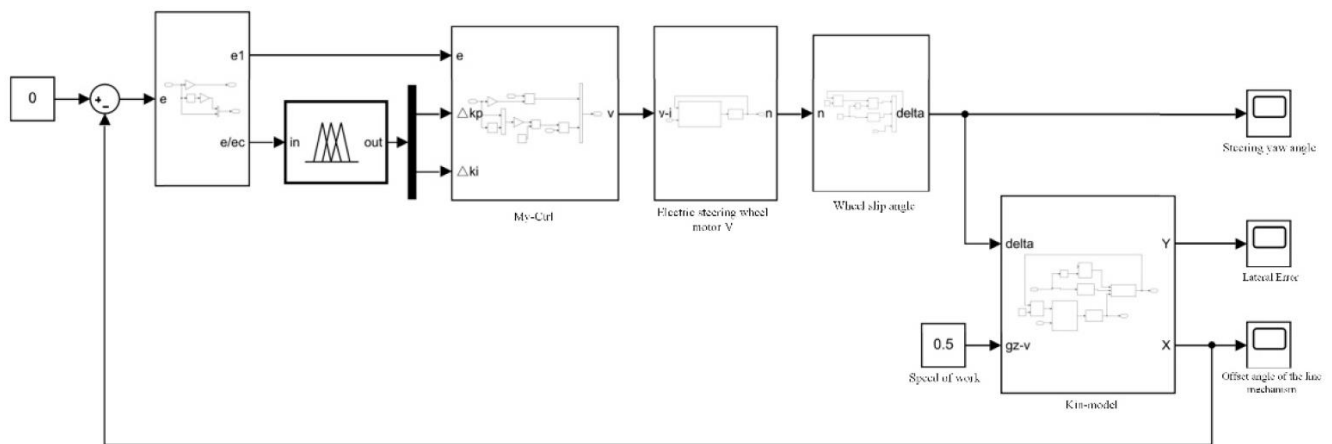


Рисунок 3.4. Імітаційна модель системи автоматичного вирівнювання.

Симуляційний тест визначає, що поворот керма комбайна праворуч дасть позитивні результати, тоді як поворот ліворуч дасть негативні результати. Відхилення правої сенсорної планки вправо призведе до позитивних результати, тоді як відхилення лівої сенсорної панелі дасть негативні результати. Для контрольного ряду кукурудзи відхилення стебла було позитивним для правої сенсорної планки та негативним для лівого. Якщо припустити, що швидкість руху кукурудзозбирального комбайна становить 0,5 м/с, симуляційний тест після 6 с ходу, коли рядок кукурудзи відхиляється вправо від контрольного ряду та повертається до контрольного ряду через 8 с. Стебла кукурудзи знаходяться на відстані 0,2 м від контрольного ряду. Результати моделювання показані на рисунку 3.5. Як видно з результатів моделювання, система автоматичного вирівнювання рядів підлаштовувалась двічі протягом усього процесу руху комбайна, а рульове

керування змогло відрегулюватися швидко та з коротким часом реакції, коли сенсорна планка відхилялася. Максимальний кут відхилення $12,3^\circ$ був зафіксований, коли була відхилена права сенсорна планка комбайна. Отже, очевидно, що автоматизована система вирівнювання має достатній контроль над рухом комбайна.

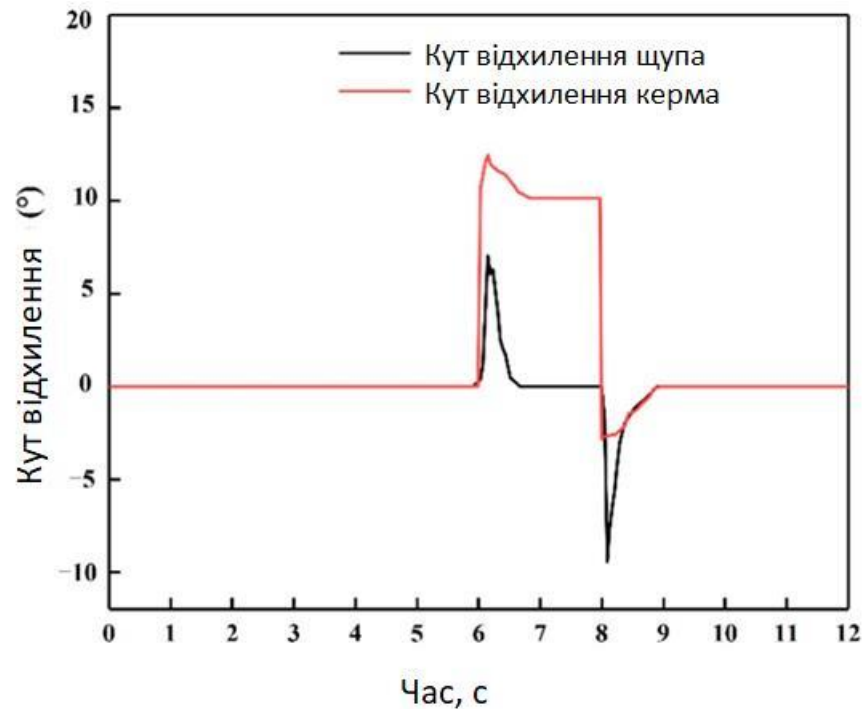


Рисунок 3.5. Результати моделювання.

Висновки до розділу.

Побудовано кінематичну модель руху сенсорної планки відносно рядка та розроблено систему керування рульовим механізмом, а також розроблено систему автоматичного керування вирівнюванням кукурудзозбирального комбайна на основі адаптивного нечіткого ПД-регулювання та виконано моделювання цієї системи у Matlab Simulink.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз процесів виникнення травм під час збирання кукурудзи

Травми під час збирання виникають у багатьох операційних моментах. Типові критичні ситуації:

- обслуговування й ремонт тракторів, комбайнів і навісного обладнання;
- монтаж/комплектування машин у машинно-тракторний агрегат (МТА);
- підготовка та поставлення машин на зберігання;
- експлуатація агрегатів у полі (маневрування, робота на схилах, робота в поганих погодних умовах, нічна експлуатація).

Часті причини травм:

- доступ до обертових, гострих або гарячих елементів без встановлених захисних кожухів;
- виконання регулювань/чистки при працюючих приводах;
- використання несправного інструменту або саморобних підставок;
- недостатня оглядовість/сигналізація при комплектуванні агрегатів;
- відсутність або невірне застосування ЗІЗ;
- перевтома операторів, нічні роботи, віддаленість поля і поганий зв'язок;
- несанкціоноване перебування сторонніх осіб біля агрегатів;
- попадання сторонніх предметів у робочі органи і раптові застрягання/відскоки.

4.2. Моделювання процесів виникнення травм (сучасний підхід)

Рекомендується поєднати класичні методи «дерева відмов» і логічного моделювання з цифровими інструментами ризик-аналізу:

- використовувати методи FMEA (аналіз відмов і їх наслідків) для вузлів з підвищеним ризиком (ріжучі механізми, вальці, підбирачі);
- будувати «дерева відмов» для сценаріїв найбільш частих інцидентів (ремонт під час роботи, застрягання жатки, перекидання агрегату);
- застосовувати ймовірнісні моделі з урахуванням експлуатаційних даних (тривалість змін, погодні умови, кількість обслуговуючого персоналу) для розрахунку ризику і пріоритезації заходів;
- інтегрувати телематичні дані (режими роботи, перевищення обертів, вібрації, геозони) в систему моніторингу ризиків для отримання реальних ймовірностей базових подій;
- впровадити процедури збирання даних про майже-події та інциденти і оновлювати модель ризиків щосезону.

4.3. Заходи щодо зменшення виникнення травм під час збирання кукурудзи (сучасні рекомендації)

Організаційні заходи

- Регламент допуску: допуск до роботи лише працівників ≥ 18 років, після медичного огляду, навчання та атестації; ведення електронних або паперових записів про інструктажі (первинні, цільові, позапланові).
- Підготовка плану збору: графіки змін, ротація операторів, обмеження нічних змін, план безпечних маршрутів і місць відпочинку; геозони (no-go) для сторонніх.
- Призначення відповідальних: бригадир/технік, який контролює комплектування МТА, виконання LOTO і засобів ППБ.

- Процедури LOTO (Lockout-Tagout): обов'язкове відключення усіх джерел енергії (механічних, гідравлічних, електричних) та їх маркування під час налаштувань, очищення і ремонту; застосування фізичних замків та міток.
- Контроль документів: інструкції з безпечного виконання робіт для кожної операції, паспорти машин, журнали ТО, записи про інциденти.
- Планування технічного обслуговування: передзмінні огляди, планове ТО, калібрування датчиків, балансування роторів; обов'язкова перевірка систем гальм, рульового, освітлення та іскрогасників.
- Заборона одноосібної роботи при високих ризиках: робота поодиноці на віддалених полях лише за наявності засобів зв'язку і плану евакуації.

Технічні та інженерні заходи

- Захисні кожухи й блокувальні пристрої: всі рухомі елементи — вальці, ремені, ножі — мають бути захищені; автоматичне блокування пуску при відкритті кришок; дистанційні аварійні «стоп» кнопки доступні з кількох місць.
- Автоматичні системи виявлення перешкод: датчики наближення, камери огляду, інфрачервоні сенсори для виявлення людей і великих предметів у зоні жатки; система автозупинки при виявленні перешкоди.
- Телеметрія і діагностика: моніторинг вібрації, температури підшипників, навантажень та геолокації для прогнозного ТО і попередження аварійних станів.
- Стійкі підставки та підйомні пристрої: сертифіковані підставки для роботи під піднятою жаткою; гідравлічні фіксатори з блокуванням; заборона саморобних опор.
- Системи гасіння і протипожежне забезпечення: вогнегасники, автопожежні системи для бункерів; електронний моніторинг температур у місцях зберігання.
- Освітлення і сигнальні прилади: LED-освітлення для нічних змін, попереджувальні маячки, акустичні сигнали при задній передачі/маневруванні.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) і санітарні вимоги

- Обов'язкові ЗІЗ: захисне взуття з протектором і сталевим носком, стійкі рукавички, захисні окуляри/щиток, протишумові навушники, жилети високої видимості; респіратори при підвищеному пилі.
- Режими санітарної та інструментальної гігієни: мийні пункти, дезінфекційні засоби, регулярна обробка інструментів і спецодягу.
- Контроль використання: наглядачі перевіряють наявність та стан ЗІЗ перед виходом у поле.

Процедури безпечної експлуатації та обслуговування

- Передзмінний інструктаж і перевірка: огляд машин, перевірка функціональності аварійних вимикачів, освітлення та систем гальм; документальна фіксація допуску.
- Роботи під час зупинки: очищення, регулювання та ремонт лише після виконання LOTO і повної зупинки агрегату; використання інструментів із ізольованими ручками при електричних роботах.
- Дії при заклинюванні жатки: негайна зупинка двигуна, блокування приводу й виклик допомоги; заборонено штовхати/вставляти руки у завантажувальний простір. Для вилучення об'єктів використовувати інструменти-гантелі/гачки з довгою рукояткою.
- Маневрування і робота на схилах: дотримуватися паспортних обмежень нахилу; знижені швидкості; застосування протиковзних шин, гальмівних систем і стабілізаторів.
- Організація транспортування і стоянки: стоянка на рівних майданчиках, блокування коліс при ремонті, чітка розмітка під'їзних шляхів.

Управління втомою і навчання персоналу

- Режими роботи: обмеження тривалості змін, щонайменше 30-40-хвилинні перерви кожні 4–6 годин у полі; ротація завдань для зниження монотонності; контролювати робочі години електронно.
- Навчання: регулярні практичні тренінги з аварійної зупинки, надання першої допомоги при порізах і травмах кінцівок; тренінги з поведінки при пожежі та

евакуації.

- Психофізіологічний контроль: періодичні медичні огляди для водіїв/операторів, профілактика теплового стресу (питний режим, тіньові зони) та заходи з боротьби зі стресом і втомою.

Забезпечення зв'язку та реагування на інциденти

- Засоби зв'язку: рації/мобільні телефони у бригаді, аварійні маячки на машинах, централізована диспетчерська служба; геопозиціонування для швидкої локалізації.
- План реагування: інструкція з реагування на нещасний випадок, евакуації, протипожежні процедури; аптечки першої долікарської допомоги на кожній машині та на місцях відпочинку.
- Облік інцидентів: реєстр нещасних випадків і майже-подій, аналіз причин і впровадження коригувальних заходів; періодичні аудити безпеки.

Специфічні рекомендації для роботи з жатками і кукурудзозбиральними комбайнами

- Жатки: перевірка кріплень ножів, натягу привідних ременів, робота захисних щитків; використання адаптерів під вузькі міжряддя лише за заводською інструкцією.
- Розвантаження бункерів: заборонено перебувати під піднятим бункером; використовувати запобіжні підставки і фіксатори.
- Робота з живильними і подаючими органами: застосовувати ручні штовхачі/гачки; ні в якому разі — руки у зону подачі.

Інтеграція цифрових рішень для підвищення безпеки

- Використовувати телематичні платформи для відстеження режимів роботи, прогностного ТО і моніторингу порушень безпеки; впроваджувати геозони, що обмежують роботу поблизу людей.
- Камери заднього огляду й системи кругового огляду, датчики наближення для зменшення ризику наїзду на людей.
- Електронні інструкції та QR-мітки: швидкий доступ до інструкцій з ТО, ЛОТО-процедур і аварійних алгоритмів через мобільні пристрої.

Контроль впровадження та вдосконалення заходів

- Щорічні/сезонні перевірки дотримання процедур безпеки, аудити ТО та інспекції машин; коригування регламентів відповідно до аналізу інцидентів.
- Впровадження KPI з охорони праці: кількість інцидентів, дотримання LOTO, участь у тренінгах, своєчасність ТО.

4.4 Висновки до розділу.

Сучасні заходи з охорони праці при збиранні кукурудзи повинні поєднувати класичні правила безпеки (LOTO, захисні кожухи, підготовка персоналу) з цифровими технологіями (телеметрія, датчики, камери), системним управлінням втомою та чіткою організацією робіт. Такий підхід знижує ймовірність травм, підвищує надійність техніки й забезпечує ефективність збирального процесу.

Таким чином, розглянуто особливості охорони праці при збиранні кукурудзи. Розроблено заходи охорони праці при роботі з удосконаленим комбайном для збирання кукурудзи, які дозволять зменшити рівень травматизму при виконанні операцій при збиранні врожаю соняшника та технічному обслуговуванні комбайна.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Застосування системи автоматичного вирівнювання рядків при збиранні кукурудзи зменшить рівень втрат врожаю, порівняно з ручним керуванням. Крім того, розроблена система дозволить збільшити продуктивність агрегату за рахунок збільшення поступальної швидкості збирання та збільшення коефіцієнта використання часу при виконанні даної операції.

Експлуатаційні показники, які характеризують ефективність застосування розробленого пристрою, визначали відповідно до стандартної методики [23].

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності комбайна з удосконаленою жаткою

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Марка енергетичного засобу	John Deere 9660 + John Deere 612C	John Deere 9660 + John Deere 612C
Номинальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	300	300
Вартість комбайна з жаткою, грн.	3344000	3444000
Річне завантаження комбайна, год.	170	170
Сумарні відрахування на комбайн (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Сумарні відрахування (амортизація, ТО та поточний та капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Витрата палива, кг/год	56,8	56,8
Робоча швидкість агрегату, км/год	8	11
Коефіцієнт використання часу зміни	0,7	0,8
Продуктивність, га/год	4,7	7,4
Заробітна плата, грн./год.	200,00	200,00
Витрата палива, кг/га	14,0	14,0
Ціна палива, грн.	40,00	40,00

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи становлять:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (5.1)$$

де C_1 – оплата праці персоналу, що обслуговує агрегати та відрахування на соціальні заходи, грн./га;

C_2 – вартість витрачених паливно-мастильних матеріалів, грн./га;

C_3 – відрахування на реновацію та капітальний ремонт агрегату, грн./га;

C_4 – відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування агрегату, грн./га.

Оплата праці обслуговуючому персоналу дорівнює:

$$C_1 = \frac{m_1 n_1 + m_2 n_2 + \dots + m_i n_i}{W_{зм}}, \quad (5.2)$$

де m_i – кількість працівників i -ої кваліфікації на агрегаті;

n_i – оплата праці за змінну норму виробітку працівника i -ої кваліфікації, грн;

$W_{зм}$ – змінна продуктивність агрегату, га/зм.

для базового варіанту:

$$C_1 = \frac{1 \cdot 1600}{37,6} = 42,55 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_1 = \frac{1 \cdot 1600}{59,2} = 27,03 \text{ грн./га}$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів дорівнює:

$$C_2 = \Pi_K Q_{\Pi}, \quad (5.3)$$

де Π_K – комплексна ціна кілограма палива, грн/кг;

Q_{Π} – витрата палива, кг/га.

для базового варіанту:

$$C_2 = 40,00 \cdot 12,1 = 484,00 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_2 = 40,00 \cdot 7,7 = 308,00 \text{ грн./га}$$

Відрахування на реновацію та капітальний ремонт машин в агрегаті визначаються з формули:

$$C_3 = \frac{B_{TP} \cdot a_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}}, \quad (5.4)$$

де B_{TP} – балансова вартість комбайна, грн;

a_T – норми відрахувань на амортизацію та капітальний ремонт відповідно агрегату, % ($a_k = 15\%$);

t_{TP}, t_M – зональне річне (або фактичне) завантаження агрегату, год.

для базового варіанту:

$$C_3 = \frac{3344000 \cdot 15}{100 \cdot 4,7 \cdot 170} = 627,78 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_3 = \frac{3444000 \cdot 15}{100 \cdot 7,4 \cdot 170} = 410,65 \text{ грн./га}$$

Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування машин в агрегаті дорівнюють:

$$C_4 = \frac{B_{TP} \cdot P_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}}, \quad (5.5)$$

де P_{TP} – сумарна норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування агрегату, % ($P_{TP} = 6,5\%$).

Для базового варіанту:

$$C_4 = \frac{3344000 \cdot 6,5}{100 \cdot 4,7 \cdot 170} = 272,04 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_4 = \frac{3444000 \cdot 6,5}{100 \cdot 7,4 \cdot 170} = 182,89 \text{ грн./га.}$$

Тоді прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи для базового варіанта становлять:

$$C = 42,55 + 484,00 + 627,78 + 272,04 = 1426,37 \text{ грн./га,}$$

для нового варіанту:

$$C' = 27,03 + 308,00 + 410,65 + 182,89 = 928,57 \text{ грн./га.}$$

Різниця прямих експлуатаційних витрат на гектар при впровадженні удосконаленої жатки у виробництво буде становити:

$$E_n = C - C' = 1426,37 - 928,57 = 497,80 \text{ грн/га.} \quad (5.6)$$

При використанні комбайна з удосконаленою жаткою на площі 100 га різниця прямих витрат буде становити:

$$E'_n = E_n \cdot F = 497,80 \cdot 100 = 49780,00 \text{ грн.}$$

Визначимо термін окупності удосконаленої жатки:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E'_n} = \frac{100000}{49780,00} \approx 2 \text{ роки} \quad (5.7)$$

де, ΔB – капітальні вкладення, грн.

Складові витрати коштів на збирання подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження комбайна з удосконаленою системою вирівнювання

Показник	Варіанти		Відхилення
	Базовий варіант	Удосконалений варіант	
Затрати праці, люд.-год/га	0,21	0,14	-0,07
Заробітна плата, грн./га.	42,55	27,03	-15,52
Вартість палива, грн./га	484,00	308,00	-176
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт, грн./га;	627,78	410,65	-217,13
Відрахування на поточний ремонт та ТО, грн./га.	272,04	182,89	-89,15
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	1426,37	928,57	-497,37
Різниця прямих експлуатаційних витрат, грн.	497,80		
Річний економічний ефект, грн	49780,00		
Термін окупності капіталовкладень, років	2		

Застосування удосконаленого агрегата John Deere 9660 + John Deere 612C забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 497,80 грн./га.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої жатки в порівнянні з існуючим варіантом – 49780,00 грн/рік при обсязі роботи 100 га.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно, а також конструкцій кукурудзяних жаток показав, що це є одним з найвідповідальніших процесів у виробництві цієї культури. І використання якісних сучасних машин при збиранні кукурудзи є ключовим фактором успішності цієї операції. Сучасні зернозбиральні комбайни та жатки для збирання кукурудзи мають достатній рівень забезпечення якості процесу збирання. Але одними із визначальних факторів, які потребують вдосконалення при збиранні кукурудзи залишаються продуктивність та трудомісткість процесу, а також рівень втрат за комбайном. Покращення даних показників можливо досягти впровадженням автоматичних систем керування та вирівнювання агрегату стосовно рядків кукурудзи.

2. Для автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального агрегату запропоновано систему автоматичного вирівнювання кукурудзозбирального комбайна на основі сенсорного механізму вирівнювання та електричного керма.

3. Побудовано кінематичну модель руху сенсорної планки відносно рядка та розроблено систему керування рульовим механізмом, а також розроблено систему автоматичного керування вирівнюванням кукурудзозбирального комбайна на основі адаптивного нечіткого ПД-регулювання та виконано моделювання цієї системи у Matlab Simulink.

4. Розглянуто особливості охорони праці при збиранні кукурудзи. Розроблено заходи охорони праці при роботі з удосконаленим комбайном для збирання кукурудзи, які дозволять зменшити рівень травматизму при виконанні операцій при збиранні врожаю соняшника та технічному обслуговуванні комбайна.

5. Застосування удосконаленого агрегата John Deere 9660 + John Deere 612C забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 497,80 грн./га.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої жатки в порівнянні з існуючим варіантом – 49780,00 грн/рік при обсязі роботи 100 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технології та техніка збирання і збереження зерна кукурудзи / М. Кирпа// Спецвипуск ж. Пропозиція. Кукурудза: від насіння до прибутку / — 2016. — С. 44-48, <https://propozitsiya.com/ua/tehnologiyi-ta-tehnika-zbirannya-i-zberezhennya-zerna-kukurudzi>
2. Руденко, В. А., Марченко, М. В., Плавинський, В. І., Калнагуз, О. М., & Коваленко, П. В. (2021). Проблеми збирання зернової частини врожаю кукурудзи https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/2834/1/materialy-MNPK_SIAHV_2021-558-560.pdf
3. Василь ДУМИЧ, Тарас РОЛЬКО Жатки для збирання кукурудзи. / Агробізнес сьогодні, 2018, <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9720-zhatky-dlia-zbyrannia-kukurudzy.html>
4. Li, J.; Ding, X.; Deng, X. Intra-row Path Extraction and Navigation for Orchards Based on LiDAR. J. Agric. Mech. 2020, 51, 7.
5. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини; підручник [2-е вид.] / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. — Київ : Каравела, 2008. — 552 с.
6. Miao, Z.; Tian, D.; He, C.; Li, N. Research on automatic line-to-line auxiliary driving control technology of intelligent cotton picker. J. Agric. Mech. Res. 2022, 44, 72–76.
7. Ollis, M.; Stentz, A. First results in vision-based crop line tracking. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 22–28 April 1996; pp. 951–956.
8. Zhang, K.; Hu, Y.; Yang, L.; Zhang, D.; Cui, T.; Fan, L. Design and experiment of auto-follow row system for corn harvester. J. Agric. Mach. 2020, 51, 103–114.
9. Chen, G.; Li, Q.; Sun, Y.; Sun, Y.; Shen, J.; He, Q. Study on automatic on-line control system of corn harvester. J. China Agric. Chem. News 2016, 37, 191–194 + 280.
10. Yu, G.R.; Bai, K.Y.; Chen, M.C. Applications of taguchi method to fuzzy control for path tracking of a wheeled mobile robot. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Applied System Innovation (ICASI), Chiba, Japan, 13–17 April 2018.

11. Hirschmuller, H. Stereo vision in structured environments by consistent semi-global matching. In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06), New York, NY, USA, 17–22 June 2006.
12. He, J.; Zhu, J.; Luo, X.; Zhang, Z.; Hu, L.; Gao, Y. Design of steering control system for rice transplanter equipped with steering wheel-like motor. *J. Agric. Eng.* 2019, 35, 10–17.
13. Di, Z.; Cui, Z.; Zhang, H.; Jiang, W.; Zhou, J.; Zheng, Z. Design and experiment of 4YL-4 self-propelled corn grain harvester. *J. Agric. Mech. Res.* 2020, 42, 116–121.
14. Singh, M.; Singh, J.; Sharma, A. Development of a batch type yield monitoring system for grain combine harvester. *J. Agric. Eng.* 2011, 48, 10–16.
15. Li, J.; Jie, Z. Analyses of combine harvester grain loss measurement. *J. Agric. Mech. Res.* 2007, 12, 248–250.
16. Speckmann, H.; Jahns, G. Development and application of an agricultural BUS for data transfer. *J. Comput. Electron. Agric.* 1999, 23, 219–237.
17. Han, K.; Zhu, Z.; Mao, E.; Song, Z.; Xie, B.; Li, M. Joint control method of speed and heading of navigation tractor based on optimal control. *J. Agric. Mach.* 2013, 44, 165–170.
18. Jiang, J.; Sun, Y.; Jin, X.; Zhou, Q.; Mao, Z. CAN bus architecture design and test of combine harvester. *J. Agric. Mach.* 2019, 50, 93–99.
19. GENG, Aijun, et al. Development and Testing of Automatic Row Alignment System for Corn Harvesters. *Applied Sciences*, 2022, 12.12: 6221.
20. Miao, P.; Zuo, Z.; Mao, H.; Han, L.; Wang, T.; Wei, F.; Shi, X. Research on automatic alignment control system of electric leaf vegetable harvester. *J. Agric. Mech. Res.* 2022, 44, 84–89.
21. Mo, C.; Tai, K.; Deng, S.; Duan, L. PID control parameter optimization strategy based on intelligent algorithm. *Inf. Technol. Informatiz. J.* 2021, 9, 222–223, 227.
22. Працехоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.

23. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.

24. <https://agronews.ua/news/ukrayina-uvijshla-v-top-3-svitovyh-eksportery-kukurudzy/>