

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“ ” 2023 р.

Зав. кафедри, к.т.н., доцент

Войтік А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(назва освітнього рівня)

тема роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ
КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО І УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ
ОРГАНІВ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
спеціальності 208«Агроінженерія»
Слободяника М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кравченко В.В.
(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Войтік А.В.

“ ____ ” _____ 20 ____ р.

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

_____ Слободянику Миколі Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно і удосконалення параметрів робочих органів зернозбирального комбайну»

керівник роботи _____ Кравченко В.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 _____ 24.11.2023

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		
Економічне обґрунтування проекту	Кравченко В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 20.10.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.12.22 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.03.23 р.	
3.	Розділ 2. Конструктивне рішення системи автоматичного вирівнювання жатки	04.06.23 р.	
4.	Розділ 3. Проектування системи управління	03.09.23 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.23 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.11.23 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	03.12.23 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	03.12.23 р.	

Студент

(підпис)

Слободяник М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кравченко В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Слободяник М.В. Дослідження технологічного процесу збирання кукурудзи на зерно і удосконалення параметрів робочих органів зернозбирального комбайну. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2023: 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.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Технологічний процес збирання кукурудзи на зерно	8
1.2. Огляд конструкцій жаток для збирання кукурудзи	10
1.3. Автоматичний контроль руху збирального агрегату по рядках	13
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	15
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	23
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	33
4.4. Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	35
ВИСНОВКИ.....	40
Список використаних джерел.....	41

ВСТУП

Кукурудза є однією з найбільш цінних продовольчих та кормових культур, яка містить близько 10 - 12 % білка, 65 - 68 % крохмалю, 4 - 6 % жиру. Поживність 100 грамів янтарного зерна складає 334 Ккал, що на 20 - 25 Ккал більше, ніж у пшениці. Зерно кукурудзи широко застосовують, як сировину для харчової, переробної, медичної, мікробіологічної, хімічної промисловості та інших галузей народного господарства.

В Україні ця сільгоспкультура справді вважається царицею полів, оскільки її виробництво становить майже 50% від усіх зернових. Переважно вона вирощується в 9 областях країни: Вінницькій, Дніпропетровській, Київській, Кіровоградській, Полтавській, Сумській, Харківській, Черкаській та Чернігівській.

За даними Міністерства сільського господарства США (USDA), лідерами по виробництву кукурудзи є США, Китай і Бразилія. США займає таку позицію завдяки високій врожайності. Всього минулого року американськими аграріями було зібрано 545,9 млн т зерна.

Світове виробництво кукурудзи зростає за рахунок збільшення посівних площ - у Китаї (+2,1 млн га), США (+1,2 млн га), Бразилії (+0,9 млн га). Найбільші площі роблять ці країни ще й найбільшими виробниками кукурудзи в світі - їх загальний об'єм виробництва становить 770 млн т, або близько 64% від світового виробництва.

Україна посіла 3-тє місце у світі за обсягом експорту кукурудзи в грошовому вимірі за результатами 2022 календарного року [24].

Одним з найважливіших етапів виробництва кукурудзи є етап збирання врожаю. Кукурудза відрізняється тим, що збирання і обробка врожаю мають забезпечуватися матеріально-технічною базою, технологічно придатною для цієї культури залежно від її особливостей. Основним способом збирання врожаю товарної кукурудзи є комбайновий обмолот качанів.

Створення сучасних високопродуктивних кукурудзозбиральних машин неможливе без проведення теоретичних досліджень основних робочих органів, їх

експериментальної перевірки, господарських випробувань та техніко-економічного аналізу ефективності проведених робіт.

Тому дослідження, спрямовані на покращення показників якості виконання технологічної операції збирання кукурудзи, з точки зору складності виконання та впливу на кінцеві результати ефективності виробництва, є актуальними.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологічний процес збирання кукурудзи на зерно.

Збільшення обсягів виробництва зерна насамперед відчувається в процесі його збирання та збереження врожаю [1]. Кукурудза відрізняється тим, що збирання і обробка врожаю мають забезпечуватися матеріально-технічною базою, технологічно придатною для цієї культури залежно від її особливостей. Передусім у технологіях необхідно враховувати такі технологічні показники, як підвищену збиральну вологість зерна, його схильність до механічного і теплового травмування, низьку стійкість під час зберігання. Тому матеріально-технічна база обов'язково має оснащуватися потужними зерносушарками, зерносепараторами, технікою для переміщення зерна і зерносховищами. Також технології мають бути енергоощадними, оскільки на основних технологічних операціях споживаються значні об'єми палива, електроенергії. Все це потребує оптимізації способів і режимів збирання, сушіння, очищення і вентилявання зерна залежно від його стану та призначення.

Основним способом збирання врожаю товарної кукурудзи є комбайновий обмолот качанів, який можна розпочинати за вологості 30-32%. Такий спосіб є найбільш економічно доцільним, ніж збирання у качанах, оскільки в 1,8-2 рази зменшуються затрати праці та на 20-25% - витрати палива.

Збирання з нижчою вологістю скорочує обсяги сушіння та знижує витрату палива (рідкого) приблизно на 7-8,5 кг на кожній плановій тонні (зниження вологості на 6%). Проте і велика затримка зі збиранням є ризикованою, оскільки уповільнюється вологовіддача зерна, можливе навіть його зволоження внаслідок випадання опадів. Потрапляння товарної кукурудзи під заморозки також небажане, оскільки погіршує якість і стійкість зерна під час зберігання.

Останнім часом, з метою максимального підсушування зерна і зниження енерговитрат, практикується надто пізнє або навіть зимове збирання кукурудзи. Встановлено, що за тривалої дії мінусових температур зерно проморожується,

набуває вигляду сухого і легко вимолочується з качанів. Проте за підвищення температури кристали льоду розтають, зерно зволожується, швидко уражується хворобами, зігрівається, тобто потребує негайного сушіння. Крім того, проморожена зернівка різко знижує міцність, травмується і подрібнюється в процесі обробки. Тому надто пізнє збирання кукурудзи може бути рекомендованим лише у крайньому разі, для отримання кормового зерна.

У процесі дозрівання зерно кукурудзи підсихає з різною швидкістю, яка поступово знижується. Тому під час визначення строків збирання враховують ще середньодобову вологовіддачу, яка, за даними інституту, становить 0,8-1,2; 0,5-0,7 і 0,3-0,4% за вологості зерна відповідно 35-40; 30-35 і 25-30%. Інтенсивна вологовіддача зерна кукурудзи практично припиняється за зниження середньодобової температури повітря до 5...6°C та підвищення його відносної вологості до 80-90%. Тому, коли такі умови настають, переносити строки збирання кукурудзи на більш пізні вже недоцільно, оскільки вологість зерна суттєво не знижується і не буде досягати норми.

Оптимальна тривалість збирання гібридів однієї групи стиглості не повинна перевищувати 5-7 днів, різних груп стиглості – 15-18 днів, запізнення зі збиранням призводить до істотних втрат урожаю. За даними ІСГСЗ НААН, втрати зерна кукурудзи на 10-й день від початку збирання можуть становити до 4%, на 20-й – збільшуються до 10%, на 30-й – до 17, а на 35-й день – до 23% залежно від потенціального врожаю і стану посіву.

Збирання товарної кукурудзи з обмолотом качанів здійснюють зернозбиральними комбайнами Claas, Джон Дір та ін. Посіви зі звуженими міжряддями (45 см) збирають зернозбиральними комбайнами, обладнаними спеціальними жатками.

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 затикування 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).

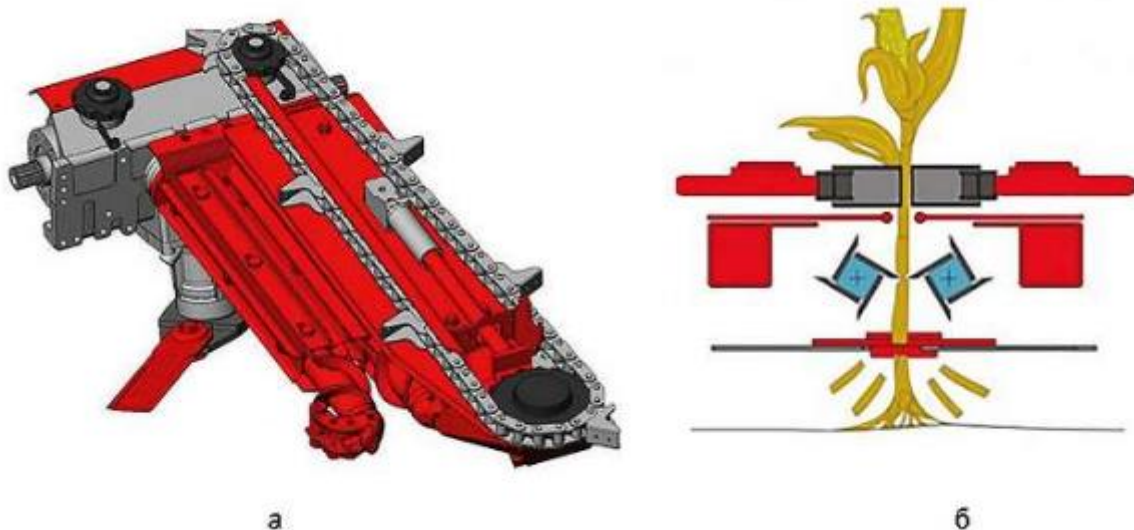


Рисунок 1.2 Система подрібнення, яка складається із двох протягувальних вальців і валу з горизонтальними ножами: а - загальний вигляд, б - технологічна схема апарата, що відділяє качани, з горизонтальним ножовим подрібнювачем.

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 ПІД-регулятор. В роботі [10] прийняли колісного мобільного робота як тестову платформу для ефективною 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 нерухомої рами. Основні елементи системи показано у таблиці 2.1.

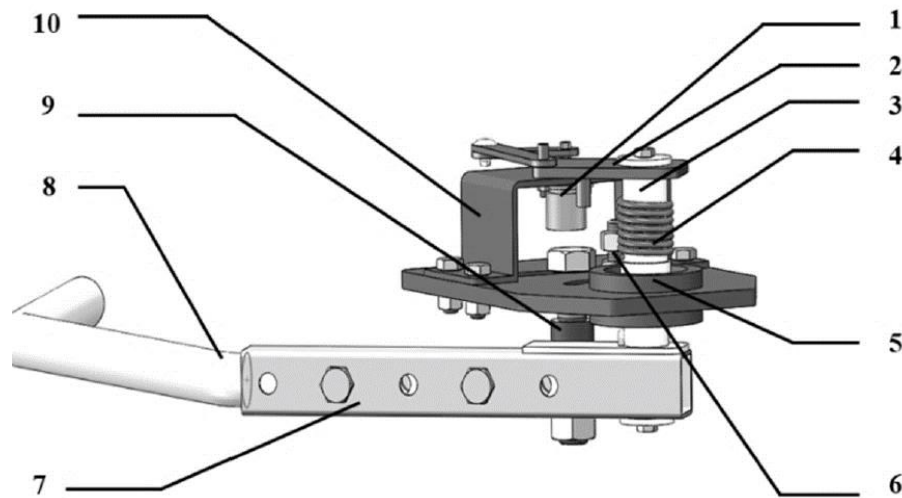


Рисунок 2.3. Механізм вирівнювання 1 - датчик кута; 2 – чотириланковий механізм; 3 - вал обертання; 4 - торсіонна пружина; 5 – підшипник; 6 - регульований фіксуєчий болт торсіонної пружини; 7 – сенсорна пластина; 8 – щуп; 9 – втулка; 10 – рама механізму вирівнювання.

Таблиця 2.1. Основні параметри механізму вирівнювання

Назва	Модель	Параметри	Значення
Датчик визначення кута	KALAMOYI/P3022-V-CW180	Вихідний вольтаж	(0-5)V/(0-180°)
Сенсорна пластина	Q322 стальна 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.

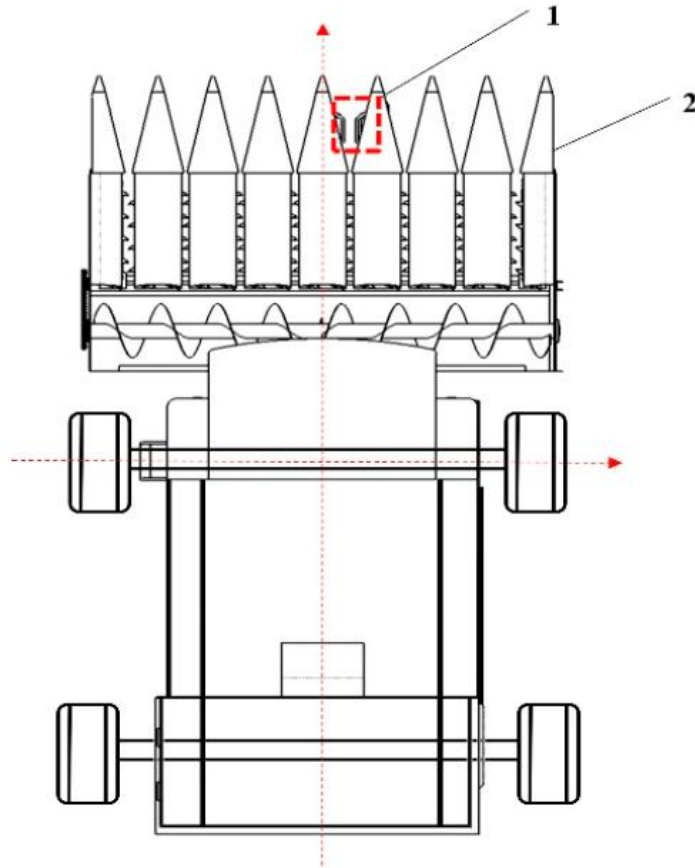


Рисунок 2.4. Схема розміщення системи автоматичного вирівнювання руху комбайна відносно рядів кукурудзи: 1 - механізм вирівнювання; 2 – жатка.

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 .

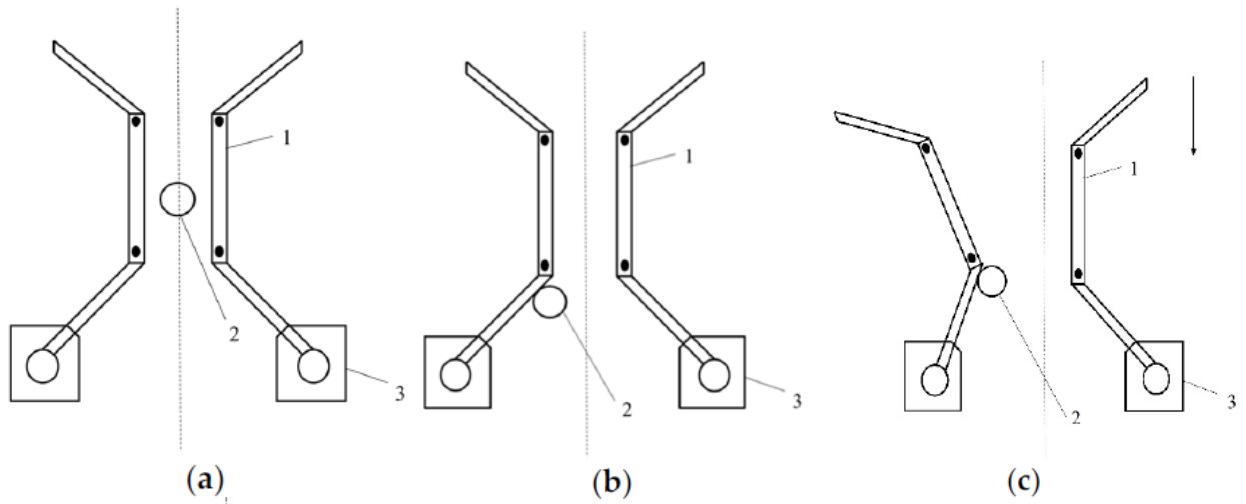


Рисунок 2.5. Принципова схема дії механізму вирівнювання: 1 - сенсорна пластина; 2 - стебло кукурудзи; 3 - тримач сенсорної пластини. (а) рівномірний рух по рядку; (б) відхилення рядка; (с) спрацювання датчика повороту.

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

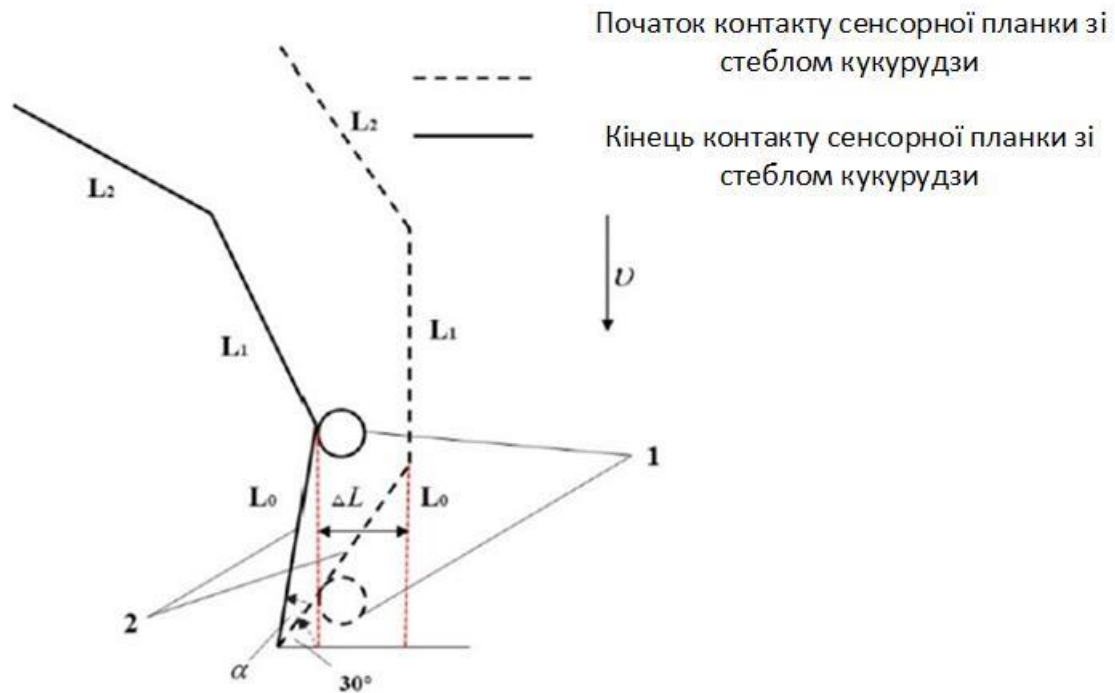


Рисунок 2.6. Схема до розрахунку кута повороту системи автоматичного вирівнювання: 1 - стебло кукурудзи, 2 – точка дотику стебла до сенсорної пластини.

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

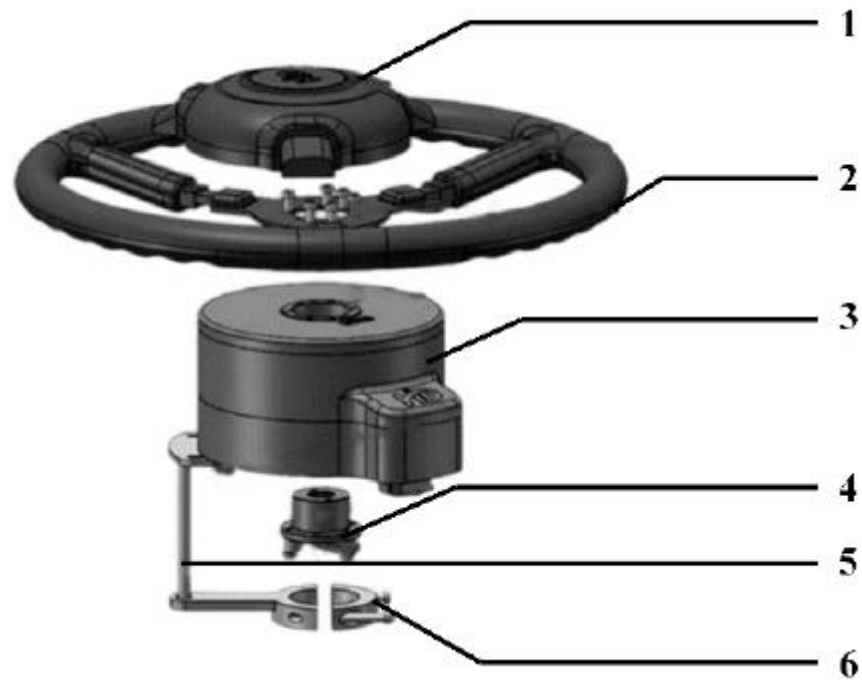


Рисунок 2.7. Схема електричного керма: 1 - верхня кришка керма, 2 – рульове колесо, 3 – двигун, 4 – фланець, 5 - кронштейн кріплення двигуна, 6 - гвинт з головкою під торцевий ключ.

2.5. 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).

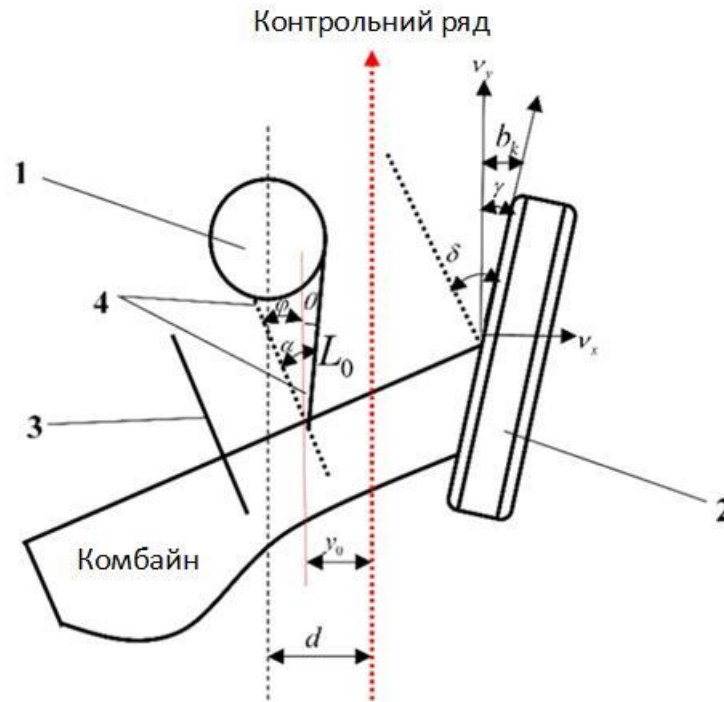


Рисунок 3.2. Моделювання бокового зміщення комбайна: 1 - стебло кукурудзи, 2 – колесо, 3 - ліва сенсорна планка, 4 – права сенсорна планка.

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/

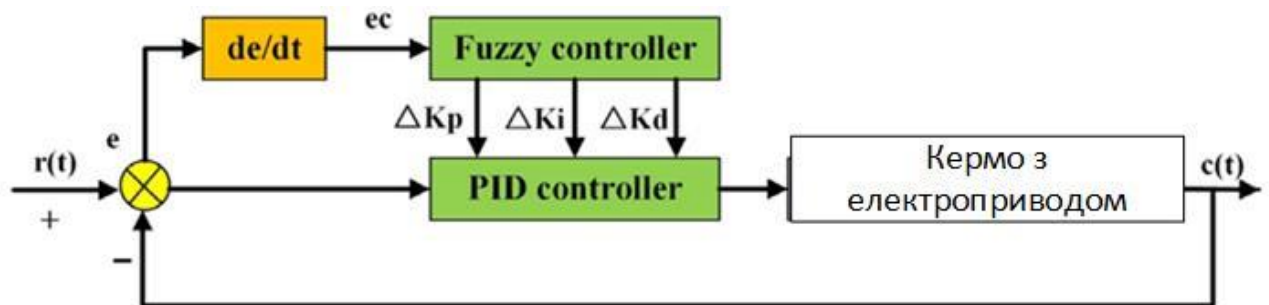


Рисунок 3.3. Схема нечіткого ПІД-регулятора.

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 ПІД 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.

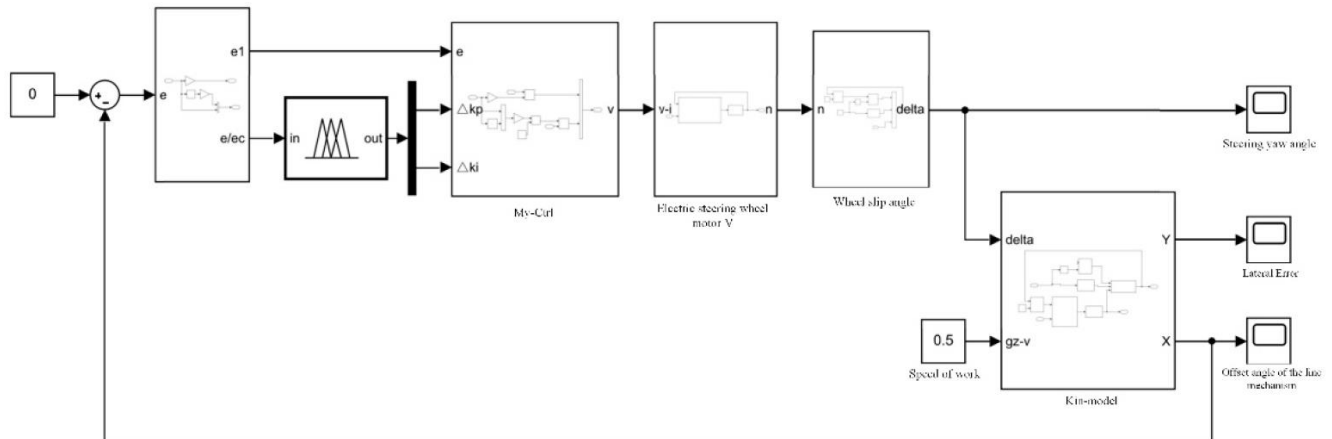


Рисунок 3.4. Імітаційна модель системи автоматичного вирівнювання.

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.

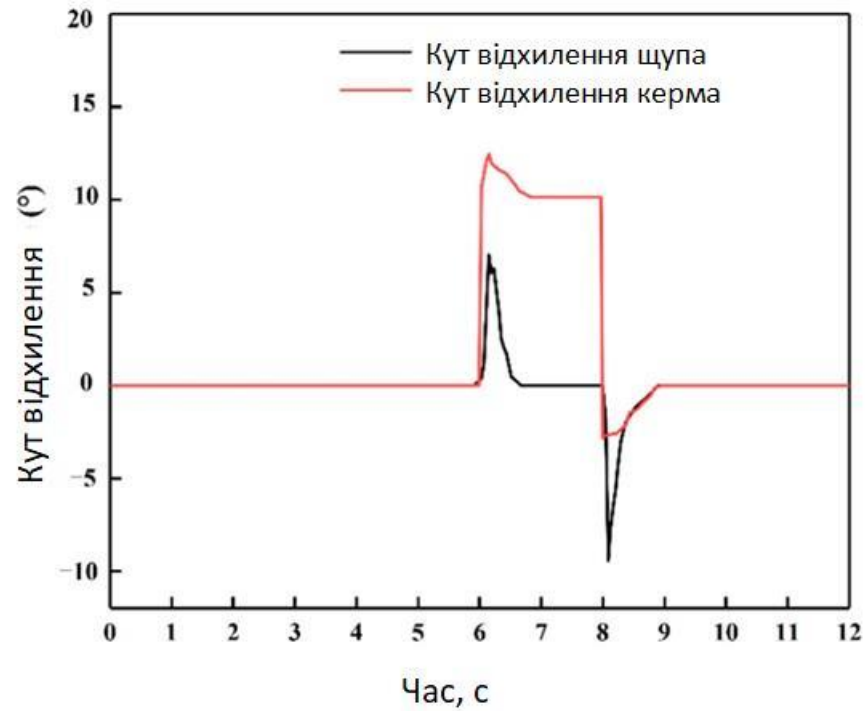


Рисунок 3.5. Результати моделювання.

3.4. 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.

Процеси виникнення травм під час збирання кукурудзи можуть виникати у наступних випадках:

- під час проведення обслуговування трактора і комбайна;
- під час комплектування машин у машинно-тракторний агрегат;
- під час поставлення машини на зберігання;
- під час роботи агрегату в полі.

Під час проведення обслуговування машин травми виникають у випадках коли [22]:

- не встановлені захисні пристрої на обертових деталях машин;
- внаслідок дотиків робітником до гострих кромek деталей;
- використання несправного інструменту;
- під час проведення обслуговування з працюючим двигуном, чи піднятим

знаряддям.

Під час комплектування машин у машинно-тракторний агрегат травми виникають у випадках коли:

- є несправність засобів сигналізації;
- обмежується оглядовість тракториста чи допоміжного робітника;
- під час проведення комплектування немає підставок під машини.

Під час поставлення машин на зберігання:

- у випадку, коли для очищення машини немає потрібного обладнання та місця проведення;

- відсутність необхідних підставок.

Під час роботи агрегату в полі травми можуть виникати у випадках:

- раптових несправностей;
- неуважного керування агрегатом.

4.2. Моделювання процесів виникнення травм.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження. Будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій [22].

Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева" - "дерева" несправностей або "дерева" помилок оператора застосовують для аналізу складних систем. Аналіз умов обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відказів та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

Основні принципи побудови моделі такі. Визначається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми. Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи. Що характеризують ті чи інші події. Як правило побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня безпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи того методу полягають у тому, що на основі

обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації.

При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відказів оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події.

Головна випадкова подія в даному випадку - травма, модель якої побудована на (рис. 4.1.). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовували оператори "І" та "АБО", після цього виконую набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Після визначення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій.

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2 \quad (4.1)$$

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (4.2)$$

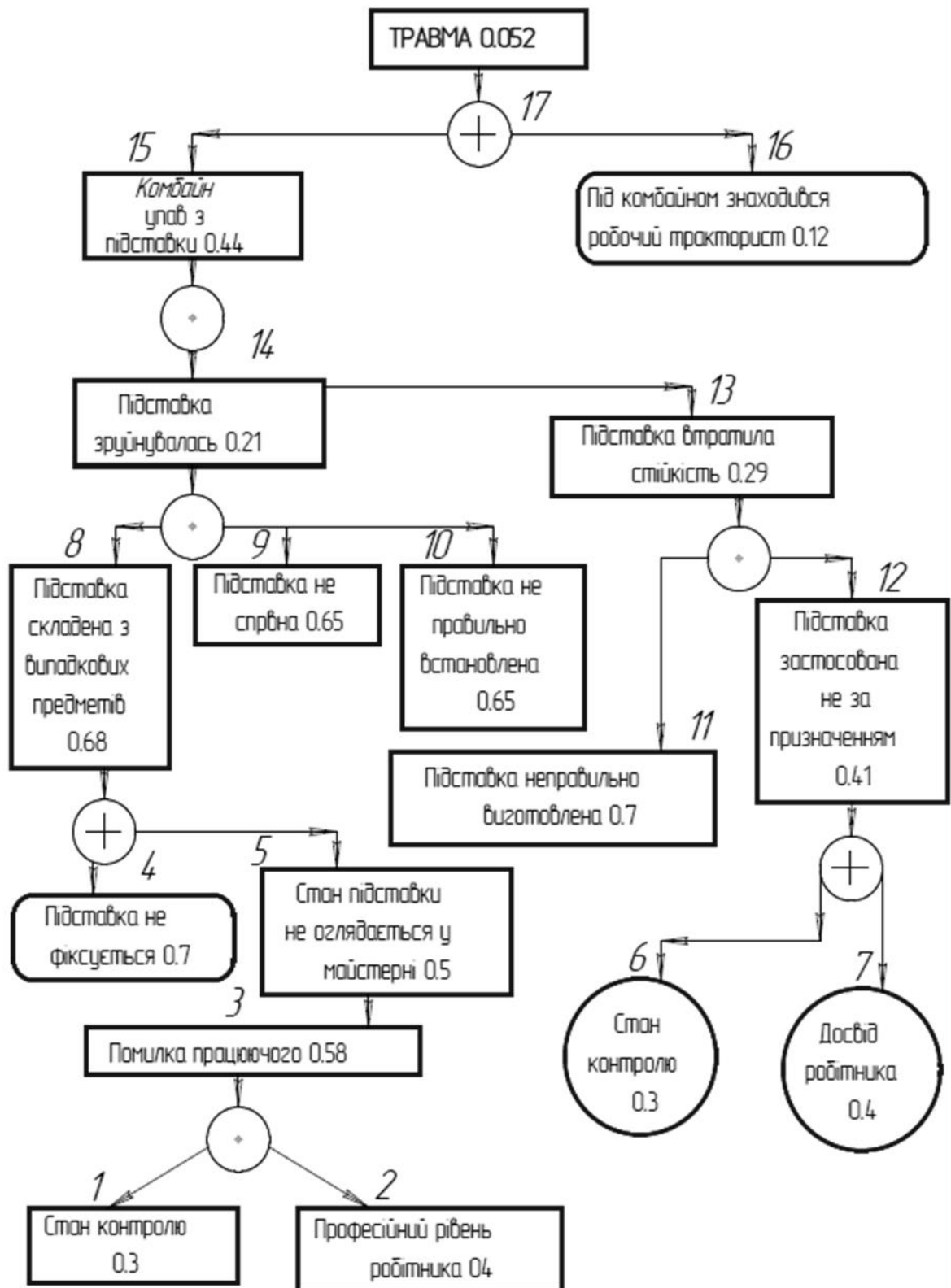


Рисунок. 4.1. Модель «помилки і відмов оператора».

3. Оператор "I" об'єднує n події з ймовірностями P_1 і $P_2 \dots P_n$ тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (4.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (4.5)$$

6. Якщо оператор "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули.

Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

4.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання кукурудзи.

Для запобігання процесів виникнення травм під час збирання кукурудзи необхідно:

- до роботи допускати лише технічно справні машини та знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускаються до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів;

- до керування та обслуговування машин допускати лише кваліфікованих фізично здорових працівників і навчених за спеціальною програмою, що мають

відповідні посвідчення й пройшли відповідні інструктажі. Забороняється допускати до роботи неповнолітніх, некваліфікованих працівників.

Комплектування машинно-тракторного агрегату повинен здійснювати тракторист-машиніст і допоміжний робітник під обов'язковим контролем бригадира, механіка або агронома. Довільна заміна чи комплектування машин без дозволу цих осіб не допускається.

Забороняється експлуатація машин без захисних пристроїв на обертових та інших деталях, які можуть створити схоплювання одягу робітників. Не дозволяється використовувати несправний інструмент, саморобні підставки та інше обладнання яке при його використанні може травмувати робітника.

Перед виконанням польових робіт поле спочатку обов'язково повинен оглянути агроном.

Після цього (за потребою) його підготовляють: видаляють велике каміння, засипають рови, ями, та інші перешкоди, а ті, що неможливо усунути позначають віхами, табличками з попереджувальними написами. Після цього поле розмічають відповідно до операційної карти. Коли працюватиме група агрегатів, то обов'язково вибирають, обладнують і позначають місце для відпочинку.

За необхідністю, якщо потрібно провести обслуговування чи ремонт під кукурудзозбиральним комбайном, то це потрібно проводити при заглушеному двигуні в надійно зафіксованому і піднятому положенні. Для цього потрібно використовувати спеціальні підставки, або пристрої.

Під час руху агрегату забороняється виконувати будь-які регулювання, усувати несправності, очищати робочі органи.

4.3 Висновки до розділу.

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 і-ої кваліфікації на агрегаті;

n_i – оплата праці за змінну норму виробітку працівника і-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/>