

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2023 р.

Зав. кафедри, к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
_____ (назва освітнього рівня)

тема проекту «Дослідження параметрів жатки зернозбирального комбайна»

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-ім
освітньої програми бакалавра
спеціальності 208«Агроінженерія»
Конотопенко А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник - к.т.н., доцент Кравченко В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії
Освітня програма _____ бакалавр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Войтік А.В.**

“ ____ ” _____ **202_ р.**

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

студенту _____ **Конотопенку Артему Васильовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Дослідження параметрів жатки зернозбирального комбайна»

керівник проекту _____ **Кравченко В.В., к.т.н., доцент** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“12” травня 2023 р. № 01-06/95

2. Строк подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до роботи: існуючі системи автоматичного контролю висоти жатки

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

аналіз існуючих конструкцій жаток та систем автоматичного контролю висоти встановлення жаток; розробити автоматичну систему контролю висоти положення жатки; дослідження питання охорони; обґрунтувати досягнуті результати.

5. Ілюстративний матеріал:

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____

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.	05.03.23 р.	
3.	Розділ 2.	04.04.23 р.	
4.	Розділ 3.	03.05.23 р.	
5.	Розділ 4.	15.05.23 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини роботи	30.05.23 р.	
7.	Представлення роботи керівнику на перевірку	30.05.23 р.	

Студент

(підпис)Конотопенко А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)Кравченко В.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Огляд конструкції жаток зернозбиральних комбайнів	7
1.2. Огляд сучасних жаток з автоматичним регулювання висоти	11
1.3. Висновки і завдання досліджень.....	14
РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯВИСОТИ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА	15
2.1. Принцип роботи.....	15
2.2. Конструкція механізму копіювання поверхні поля	17
2.3. Калібрування механізму копіювання поверхні поля	19
2.4. Схема Gray prediction	20
2.5. Алгоритм роботи системи керування	22
2.6 Висновки	23
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	24
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	27
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Автоматизація зернозбиральних комбайнів дає змогу істотно підвищити продуктивність роботи, знизити втрати зерна та запобігати позаштатним ситуаціям під час жнив [1].

Вартість сучасного зернозбирального комбайна обраховується сотнями тисяч доларів. Тому не дивно, що в Україні й досі фіксується доволі відчутний дефіцит цієї техніки, що виражається у втратах урожаю. Поряд із тим це означає, що наявні в господарствах комбайни потрібно завантажувати на повну, максимально ефективно використовуючи їх можливості, зокрема, шляхом застосування автоматичних систем, які полегшують роботу оператора.

Оператору комбайна потрібно контролювати роботу жатки в такому положенні, щоб не лишити незібраної смужки врожаю, контролювати рух вперед, щоб не наїхати якусь перешкоду. Регулярно спостерігати, що робиться позаду, щоб оцінювати якість зерна на виході з комбайна.

До того ж оператор комбайна мусить оперативно щось вирішувати в разі зміни рельєфу ґрунту, знижувати чи підвищувати швидкість роботи, регулювати швидкість обертання мотовила, змінювати режими підбарабання, оцінювати якість роботи машини в кожний конкретний момент.

Оптимізувати використання ресурсу зернозбиральних машин, реально шляхом впровадження автоматичних систем контролю й керування роботою комбайнів. Що передбачає наявність автопілота, що відповідає за чітке дотримання курсу машини та розпізнавання перешкод. Для переобладнання комбайна може знадобитися монтаж додаткових елементів, таких як датчики та додаткові виконавчі механізми в гідравлічну систему.

Автоматично оптимізувати за допомогою електроніки можна практично всі основні функції зернозбирального комбайна. Система автоматичного підлаштування під збирану культуру дозволяє адаптувати ключові компоненти комбайна, такі як швидкість вентилятора та зазор підбарабання, до роботи з певною культурою. Функція керування швидкістю подачі дозволяє змінювати ходову

швидкість комбайна залежно від обсягу рослинного матеріалу, що надходить до його систем обробки.

У конструкції комбайнів провідних світових виробників автоматизовано також регулювання положення напрямних кожуха ротора, камеру контролю якості зерна та датчики тиску на решета, що дозволяє максимально підвищити швидкість збирання врожаю шляхом зміни налаштувань комбайна до перевищення попередньо заданих параметрів.

Своєю чергою, регульована функція повернення до необхідної висоти зрізання зорієнтована на максимально повне збирання врожаю. Якщо потрібно збирати низькорослі культури, особливо ж ті, на яких зерно чи боби розташовано невисоко від ґрунту, можна автоматично легко змінювати кут жатки. До того ж чутливість висоти жатки регулюється автоматично залежно від швидкості ходу, з підвищенням швидкості реакції за збільшення швидкості руху комбайна.

Не менш важливою є наявність спеціальних датчиків тиску на решетах, які надають електронному «мозку» комбайна потрібно інформацію для мінімізації втрат зерна. Датчики вологості зерна дають змогу оперативно ухвалювати рішення про доцільність збирання врожаю на конкретному полі в певний момент, а також вже на полі розрахувати продуктивність післязбиральної доробки зерна й обрати оптимальний варіант подальшого поводження із зібраним врожаєм.

Своєю чергою, датчики маси або ж урожайності дають змогу зафіксувати реальну врожайність на окремих ділянках поля та на полі загалом, що дає змогу запобігти можливим зловживанням, а також проаналізувати причини тих чи тих показників урожайності. Це прямий шлях до точного землеробства, зокрема, диференційованого внесення добрив і сівби.

І, нарешті, жоден сучасний комбайн не обійдеться без телеметрії, тобто передавання даних у безперервному режимі до офісу чи на смартфон керівників господарства. Це дає змогу постійно контролювати процеси, що відбуваються в полі, й ухвалювати відповідні рішення.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1. Огляд конструкцій жаток зернозбиральних комбайнів.

Зернові культури – це зернові злаки і зернобобові, а також гречка. До зернових злаків відносять хлібні (пшениця, жито, ячмінь) та просовидні (просо, рис, овес, сорго, кукурудза). Суцвіття у хлібних злаків колос, а у просовидних – волоть. У кукурудзи чоловіче суцвіття – волоть, жіноче – початок .

Зернові культури: пшениця, жито, ячмінь ще називають зерновими колосовими, а гречку, просо, рис, овес – круп'яними. До зернових бобових культур відносять горох, квасолу, сою тощо.

Наведені зернові злаки ще називають хліба, хлібостій. Стан хлібостою (густота, висота, полеглість, вирівняність за висотою і дозріванню, врожайність, співвідношення зерна до соломи за масою, вологість, забур'яненість) та механічні властивості його (міцність стебел на розрив і перерізання, сила зв'язку зерна з колосом тощо) обумовлюють як способи і строки збирання, так і конструкцію робочих органів і їх кінематичні (переміщення, швидкість, прискорення) та силові (зусилля, потужність, крутний момент) параметри.

Оскільки при збиранні хлібів комбайнами мають місце і зрізування стебел чи обчісування суцвіття, і вимолочування зерна, наведені властивості треба повсякчас мати на увазі. Залежно від стану хлібостою доводиться отже, регулювати витрату енергії і режим роботи комбайна.

Жатна частина комбайна призначена для відокремлення смуги стебел хлібостою певної ширини, їх зрізування і подачі в приймальну камеру молотарки .

Жатна частина комбайна складається із жатки А (рис. 1.1), проставки Б і похилої камери В. Башмаки 5, подільники 10, мотовило 9, різальний апарат 8 і шнек 6 з пальцьовим механізмом 7 змонтовані на корпусі жатки, бітер 4 — у корпусі проставки, а плаваючий конвеєр 2 — у корпусі похилої камери.

Корпус жатки шарнірно з'єднаний з корпусом проставки в трьох точках: центральним шарніром і двома підвісками механізму зрівноважування. Корпус

проставки нерухомо прикріплений до корпусу похилої камери за допомогою швидкознімного гвинтового з'єднання. Корпус похилої камери шарнірно приєднаний до корпусу молотарки і спирається за допомогою двох циліндрів на балку моста ведучих коліс.

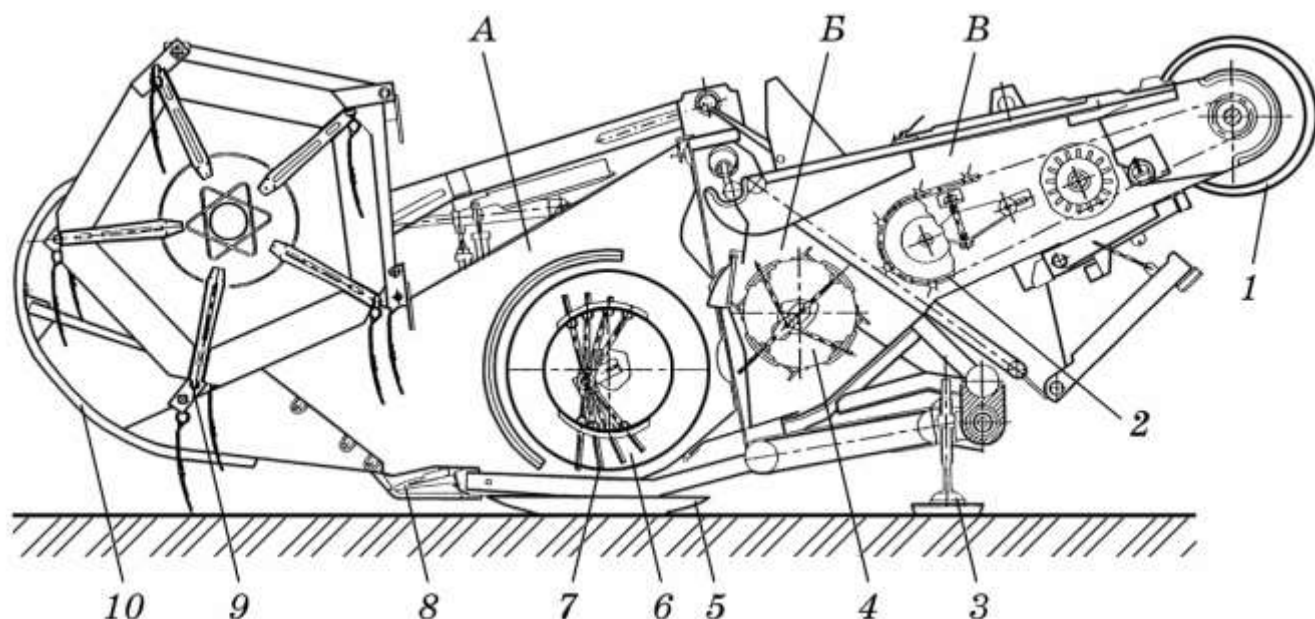


Рисунок. 1.1 Жатна частина комбайна

А — жатка; Б — проставка; В — похила камера; 1 — шків верхнього вала плаваючого конвеєра; 2 — плаваючий конвеєр; 3 — гвинтовий домкрат; 4 — бітер проставки; 5 — копіювальний башмак; 6 — шнек; 7 — пальцевий механізм шнека; 8 — різальний апарат; 9 — мотовило; 10 — подільник

Пристрої зрівноважування і копіювання рельєфу поля.

Ці пристрої за способом сприйняття нерівностей поля можна поділити на три групи.

Першу групу утворюють механічні копіювальні пристрої (башмаки), які безпосередньо контактують з поверхнею поля. Певний тиск на башмаки забезпечують спеціальні механізми зрівноважування, обладнані пружинами.

За таким принципом працюють хедери комбайнів «Нива», «Славутич», які забезпечують копіювання рельєфу поля як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках відносно напрямку руху комбайна полем.

Деякі фірми США, Канади та інші замінили пружинне зрівноважування хедера на пневмогідравлічне, тобто замість пружин установлюють

пневмогідроаккумулятори. Недоліком пристроїв копіювання першої групи є виникнення додаткового опору переміщенню комбайна полем.

Другу групу утворюють пристрої, в яких нерівності поверхні поля сприймають копії чи щупи. Виконавчими механізмами цих пристроїв є гідроциліндри. Одні з них переміщують хедер у поздовжньому напрямку, а інші — в поперечному. Керує процесом комп'ютер. За таким принципом працюють хедери комбайнів фірм «Massey Ferguson», «Claas» та ін.

Третю групу систем автоматичного регулювання висоти зрізу становлять плаваючі різальні апарати. Ця система копіювання є комбінацією першої та другої груп. Різальний апарат копіює рельєф поля, спираючись на башмаки, а висота установки хедера регулюється за типом систем другої групи. Такі апарати використовують американські фірми на хедерах для збирання сої і полеглих колосових зернових культур.

Механізм зрівноважування жатки (рис. 1.2) забезпечує її роботу з копіюванням нерівностей поля і без копіювання. При транспортуванні жатки на великі відстані передбачено вимкнення механізму. Він складається з правої 7 і лівої 9 підвісок, триплечих важелів 5 і 11, перехідних ланок 4 і 12, блоків пружин 1 і 14 та пружинних розтяжок 16 і 17. Праву підвіску шарнірно приєднано до триплечого важеля 5, який може повертатися відносно шарніра 20 корпусу жатки. До триплечого важеля шарнірно приєднано перехідну ланку 4, а до неї блок пружин 1, який шарнірно приєднаний до корпусу жатки. Аналогічно прикріплено ліву підвіску 9. Знизу корпус жатки спирається на башмаки 3 і 13, а ці башмаки — на поверхню поля.

Принцип дії механізму зрівноважування такий. У робочому положенні, коли жатка спирається башмаками на поверхню поля (рис. 1.2, б), відбувається копіювання. У разі наїзду башмака 3 на виступ, а башмака 13 на западину корпус жатки повертається проти стрілки годинника відносно центрального сферичного шарніра 8 і шарнірів підвісок. Лівий блок пружин 14 і пружинна розтяжка 16 розтягуються, а правий блок пружин 1 і пружинна розтяжка 17 стягуються, оскільки лівий 11 і правий 5 триплечі важелі повертаються проти стрілки

годинника відносно шарнірів 15 і 20 корпусу жатки. Лівий упор 10, приварений до корпусу жатки, обмежує опускання корпусу вниз.

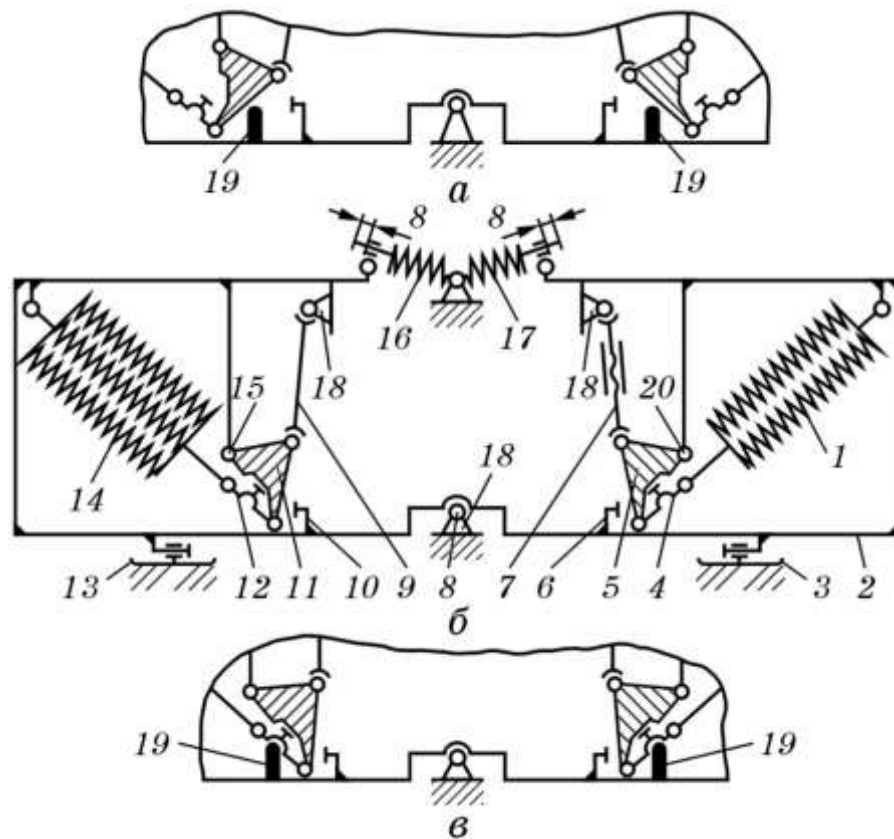


Рисунок. 1.2 Положення механізму зрівноважування жатки комбайна КЗС-9-1 під час роботи: а — в робочому положенні; б — при транспортуванні на невеликій відстані; в — при транспортуванні на великій відстані; 1 і 14 — блоки пружин; 2 — корпус жатки; 3 і 13 — башмаки; 4 і 12 — перехідні ланки; 5 і 11 — триплечі важелі; 6 і 10 — упори; 7 і 9 — підвіски; 8 — центральний сферичний шарнір; 15 і 20 — шарніри корпусу жатки; 16 і 17 — пружинні розтяжки; 18 — корпус проставки; 19 — штирі

При наїзді башмака 13 на виступ, а башмака 3 на западину процес копіювання у поперечній площині відносно руху комбайна відбувається навпаки. Якщо обидва башмаки потрапляють у западину, то блоки пружин і пружинні розтяжки розтягуються до моменту стикання триплечих важелів з упорами 6 і 10, а корпус жатки повертається відносно центрального шарніра і шарнірів підвісок у поздовжній вертикальній площині відносно руху комбайна. Піднімання корпусу жатки при наїзді башмаків на виступ обмежується упорами 3 (див. рис. 1.2) на корпусі жатки і упорами 4 на корпусі проставки.

Під час роботи жатки або при переїздах розворот її в горизонтальній площині обмежується щоками і роликами. Щоки, упираючись у ролики, вільно перекочуються по них.

Для роботи жатки без копіювання її піднімають гідроциліндрами і в отвори корпусу жатки встановлюють штирі 19 (рис. 1.2, а) так, щоб триплечі важелі спиралися на них.

При переїздах комбайна з начепленою жаткою на далекі відстані механізм зрівноважування вимикають. До цього штирі встановлюють в отвори корпусу жатки так, щоб перехідні ланки 4 і 12 спиралися на них (рис. 1.2, в).

Якість і межі копіювання залежать від правильного налагодження механізму зрівноважування і стану його елементів. Його налагоджують у такий спосіб. Видаляють штирі 19 (рис. 1.2, б) з отворів кронштейнів. Піднімають жатну частину так, щоб башмаки відірвались від поверхні поля, а пружинні розтяжки 16 і 17 вільно провисали. Регулювальними гвинтами розтяжок установлюють зазор 8 мм між головками гвинтів і опорними поверхнями сферичних підшипників. Зміною положення башмаків відносно корпусу жатки встановлюють задану висоту зрізу. Мотовило переміщують до похилої камери і опускають у крайнє положення. Опускають жатку на поверхню поля, поки не утвориться зазор 85...90 мм між упорами 3 і 4 (див. рис. 1.2), натягують пружини обох блоків 1 і 14 (рис. 1.2, б) так, щоб зусилля на кінцях переднього бруса біля кожного подільника становила 300...400 Н. Запас натягу пружин має бути 100...150 мм.

У такому положенні елементів механізму зрівноважування жатка копіюватиме рельєф поля в розрахунковому діапазоні.

1.2. Огляд сучасних жаток з автоматичним регулюванням висоти.

Найскладнішим технологічним процесом усієї технології вирощування зернових, сої та ріпаку є збирання, особливо за несприятливих умов вегетації.

У структурі втрат під час збирання сої та ріпаку найбільша частка припадає на жатку зернозбирального комбайна. Щоб запобігти таких втрат, жатка зернозбирального комбайна повинна забезпечувати низький зріз (4-5 см) по всій її

ширині, а для збирання ріпаку необхідно виносити різальний апарат на 30-50 см уперед. Молотильно-сепарувальні робочі органи також можуть допускати значні втрати й пошкодження бобів сої, тому й вони повинні бути налаштовані на необхідні режими роботи, які забезпечують мінімальні втрати зерна.

Автоматичними механізмами регулювання висоти зрізу обладнанні жатки переважно зернозбиральних комбайнів закордонних виробників таких як MasseyFerguson, JohnDeere, CLAAS, New Holland, Case тощо.

Жатка New Holland Super Flex (рис. 1.3, а). Гнучка опора ножа може згинатися на 110 мм на нерівній поверхні, забезпечуючи низький зріз і постійну висоту стерні.

Повністю плаваючий шнек з глибокими витками забезпечує швидку й рівномірну подачу зрізаної маси найважчих культур.



а



б

Рисунок. 1.3. Жатка Super Flex (а) і автоматичне регулювання висоти жатки (б)

Удосконалена система автоматичного регулювання висоти жатки (рис. 1.3, б) може працювати в трьох режимах: у режимі компенсації використовується попередньо встановлений контактний тиск на ґрунт, який підтримується гідравлічною системою для ефективного збирання прим'ятих або низькорослих культур (наприклад, горох і боби); система автоматичного регулювання висоти стерні за допомогою датчиків, що розміщені в нижній частині жатки і гідроциліндрів управління жаткою; система AutoFloat використовує комбінацію датчиків, які забезпечують повторення жаткою нерівного рельєфу.

Жатки зернозбиральних комбайнів Massey Ferguson розроблені з урахуванням збирання широкого спектра культур. Універсальні жатки серії POWERFLOW (рис. 1.4) дозволяють збирати зернові, зернобобові культури, ріпак без додаткового

переобладнання. У таких жатках зрізана хлібна маса від різального апарата до шнека спрямовується за допомогою стрічково-планчастого транспортера, що зменшує втрати через осипання зерна та забезпечує рівномірну подачу незалежно від умов роботи. Швидкість транспортера може регулюватися. Ширина транспортера – 1,14 м, що покращує оглядовість і контроль роботи різального апарата. Для збирання ріпаку жатки комплектують вертикальними ножами з електроприводом, а для збирання високоврожайних ділянок ріпаку – додатковим шнеком. Практика підтверджує збільшення продуктивності жаток POWERFLOW на збиранні таких культур, як ріпак, бобові культури, жито, до 50% і більше.

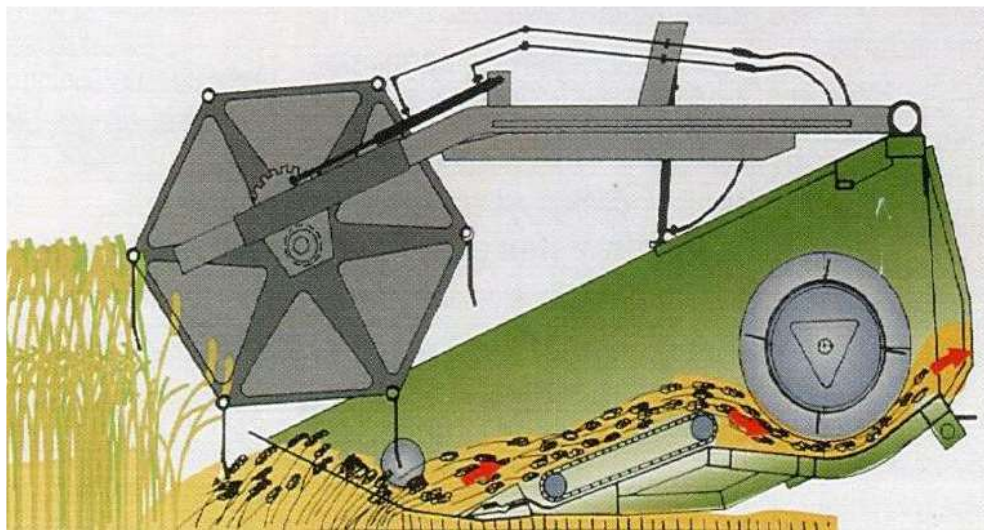


Рисунок. 1.4. Схема жатки POWERFLOW фірми Massey Ferguson.

Для збирання сої, що вимагає низького зрізу стебел і запобігання втрат, жатки POWERFLOW можуть комплектуватися приставками із системою CraryWindSystem. Система CraryWindSystem дає змогу виконувати збирання зернобобових культур та сої без використання жаток Flex із гнучким різальним апаратом. Система CraryWindSystem забезпечує постійну подачу повітряного потоку ззовні безпосередньо на різальний апарат, що дозволяє постійно подавати скошену масу до шнека, тим самим збільшуючи продуктивність і зменшуючи втрати під час збирання за жаткою.

Жатки серії 630F та 635FHidroFlex компанії John Deere комплектують гнучкими платформами різального апарата 2 з приймальною пластиною для запобігання потрапляння каменів у молотарку комбайна. Мінімальну висоту зрізу для соєвих бобів та гороху забезпечує регулятор висоти Dial-A-Matic. Залежно від

встановлення трьох режимів роботи, встановлення притискача, регулятор Dial-AMatic автоматично виставляє положення хедера. Електронний датчик реагує на зміни рельєфу поля й регулює хедер, що дає змогу узгоджувати висоту зрізу без постійного налагодження жатки. Така робота особливо ефективна під час збирання з нерівним рельєфом поля та на збиранні низькорослих культур. Перше положення (рис. 1.5, а) використовують на сухих полях з високим тиском жатки на ґрунт і з мінімальною висотою зрізу для максимального збереження врожаю, що й необхідно використовувати під час збирання сої.

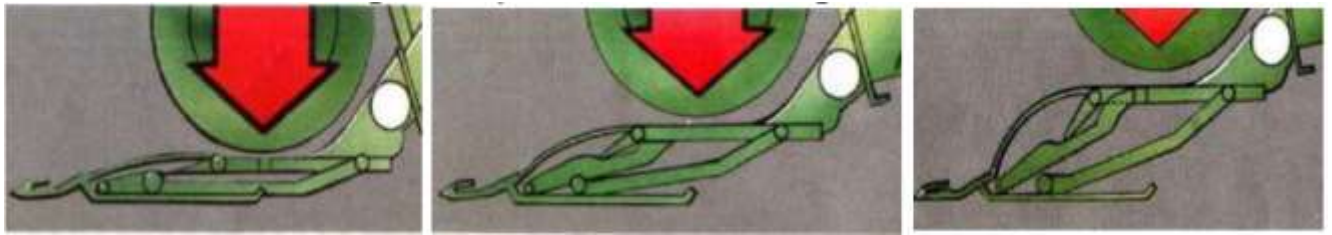


Рисунок. 1.5. Схема роботи жатки з різним тиском на поверхню поля:

а – високий тиск на сухих ґрунтах; б – середній тиск для нормальних умов роботи; в – легкий тиск для піщаних і вологих ґрунтів

1.3. Висновки і завдання досліджень.

Таким чином з аналізу стану питання автоматичного керування положенням жатки можна зробити висновок, що такими пристроями оснащені в основному дороговартісні закордонні комбайни. Але впровадження таких пристроїв дозволяє значно підвищити якість та продуктивність роботи комбайна. Тому метою даної роботи є розробка пристрою автоматичного контролю висоти жатки з метою обладнання ним жаток зернозбиральних комбайнів.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Зробити аналіз конструкції жатки та існуючих способів регулювання положення висоти жатки.
2. Розробити автоматичну систему регулювання висоти жатки зернозбирального комбайна.
3. Розробити заходи з охорони праці при виконанні зернозбиральних робіт.
4. Обґрунтувати досягнуті результати досліджень.

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Автоматична система регулювання висоти жатки забезпечує оператору ручний і автоматичний режими роботи. Важіль ручного керування використовувалася для керування підйомом жатки під час ручного керування. Важіль ручного управління була оснащена перемикачем ручного і автоматичного режимів. Оператор може вибрати робочий режим відповідно до фактичних потреб. Система автоматичного керування складалася з механізму копіювання поверхні поля, гідравлічного циліндра підйому жатки, важеля керування та інших модулів. Загальна структура системи автоматичного регулювання висоти жатки показана на рисунку 2.1

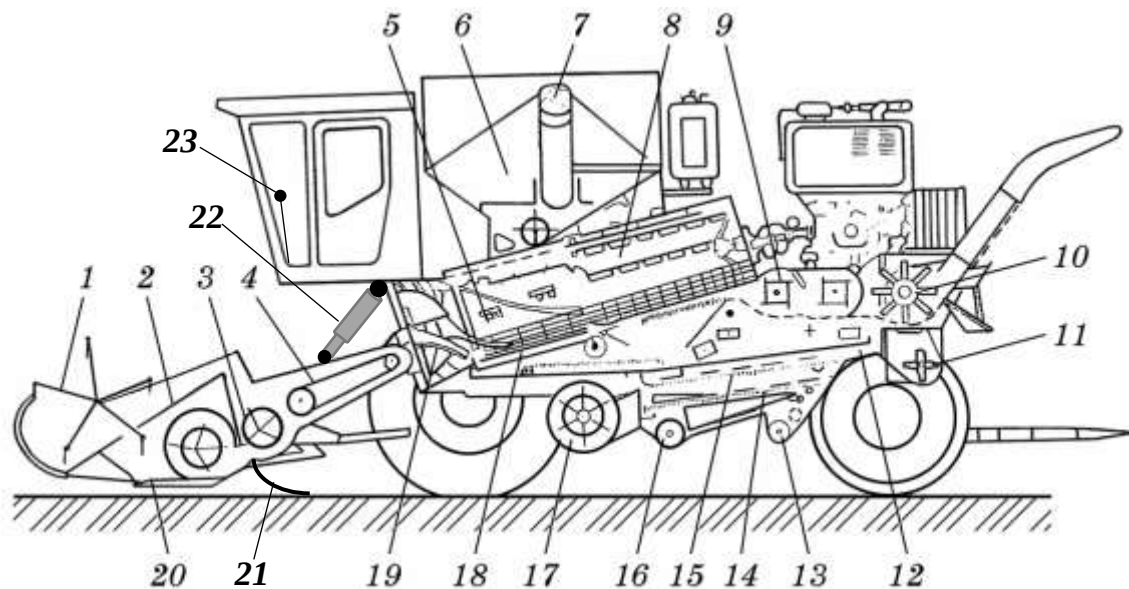


Рисунок 2.1 Загальна будова комбайна та встановлення елементів автоматичного контролю висоти жатки

1 — мотовило; 2 — шнек; 3 — бітер проставки; 4 — похилий конвеєр; 5 — ротор; 6 — бункер; 7 — завантажувальний шнек; 8 — сепарувальна частина кожуха ротора; 9 — бітер; 10 — подрібнювач; 11 — пневмоконвеєр полови; 12 — подовжувач верхнього решета; 13 — колосовий шнек; 14 — нижнє решето; 15 — верхнє решето; 16 — зерновий шнек; 17 — вентилятор очисника; 18 — молотильна частина кожуха ротора (підбарабання); 19 — приймальна камера молотарки; 20 — різальний апарат; 21-башмак; 22- гідроциліндр; 23-речаг регулювання положення жатки.

2.1 Принцип роботи

Механізм копіювання поверхні поля симетрично встановлений на кожній стороні жатки, і зміна профілю ґрунту перетворюється у вихідний сигнал напруги через датчик кута. Контролер представляє собою гідравлічний контролер Bortron Selindro, спеціально розроблений для інтелектуального обладнання сільськогосподарської техніки, який також оснащений функцією зв'язку інтерфейсу шини CAN. Підйом жатки контролюється гідравлічною системою, а гідравлічний клапан є пропорційним електромагнітним клапаном, який може точніше контролювати положення гідравлічного циліндра. Система автоматичного контролю висоти жатки визначає висоту положення жатки від землі через механізм копіювання поверхні поля. Контролер виводить керуючий сигнал на пропорційний клапан відповідно до поточної висоти жатки. Пропорційний клапан перенаправляє гідравлічну оливу, штокову або поршневу камери циліндру підйому жатки, регулюючи таким чином висоту встановлення жатки відповідно до необхідного діапазону. Коли механізм копіювання поверхні поля виявляє, що поточна висота жатки перевищує верхню межу встановленого діапазону, контролер видає сигнал для активації електромагніту з правого боку пропорційного клапана, і золотник пропорційного клапана переміщується вправо. Шток гідравлічного циліндра жатки під тиском гідравлічної оливи опускає її; коли механізм копіювання поверхні поля виявляє, що поточна висота жатки є меншою за нижню межу встановленого діапазону, контролер видає сигнал для активації соленоїда з лівого боку пропорційного клапана, золотник пропорційного клапана переміщується вліво. Шток поршня циліндра жатки висувається під тиском гідравлічної оливи, і жатка піднімається. Принцип роботи контролю висоти жатки показано на малюнку 2.2.

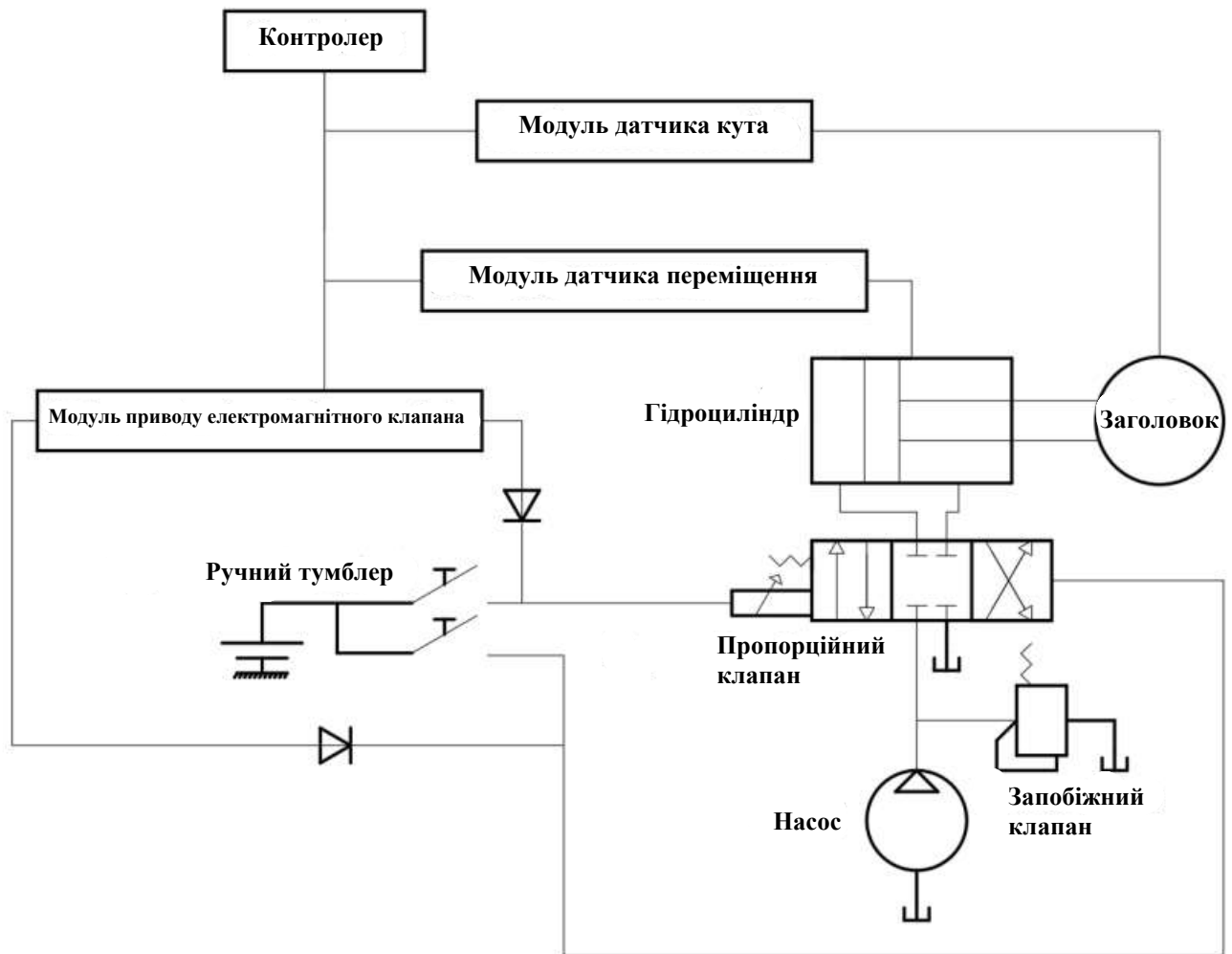


Рисунок. 2.2 – Принципова схема регулювання висоти жатки

2.2 Конструкція механізму копіювання поверхні поля.

Для вимірювання висоти жатки комбайна розроблено механізм профілювання висоти жатки. Механізм копіювання поверхні поля висоти жатки складається з копіювальної пластини, торсійної пружини, датчика кута, монтажної рами та інших елементів, як показано на малюнку 2.3. Копіювальна пластина завжди контактує з поверхнею поля під тиском торсійної пружини та власного тиску від ваги. Кінець копіювальної пластини та датчик кута були відповідно закріплені на валу установочними гвинтами. Під час роботи під час коливань поверхні ґрунту копіювальна пластина обертається навколо осі, приводячи в обертання чутливий вал датчика кута. Таким чином, зміну висоти положення жатки можна отримати відповідно до сигналу датчика кута.

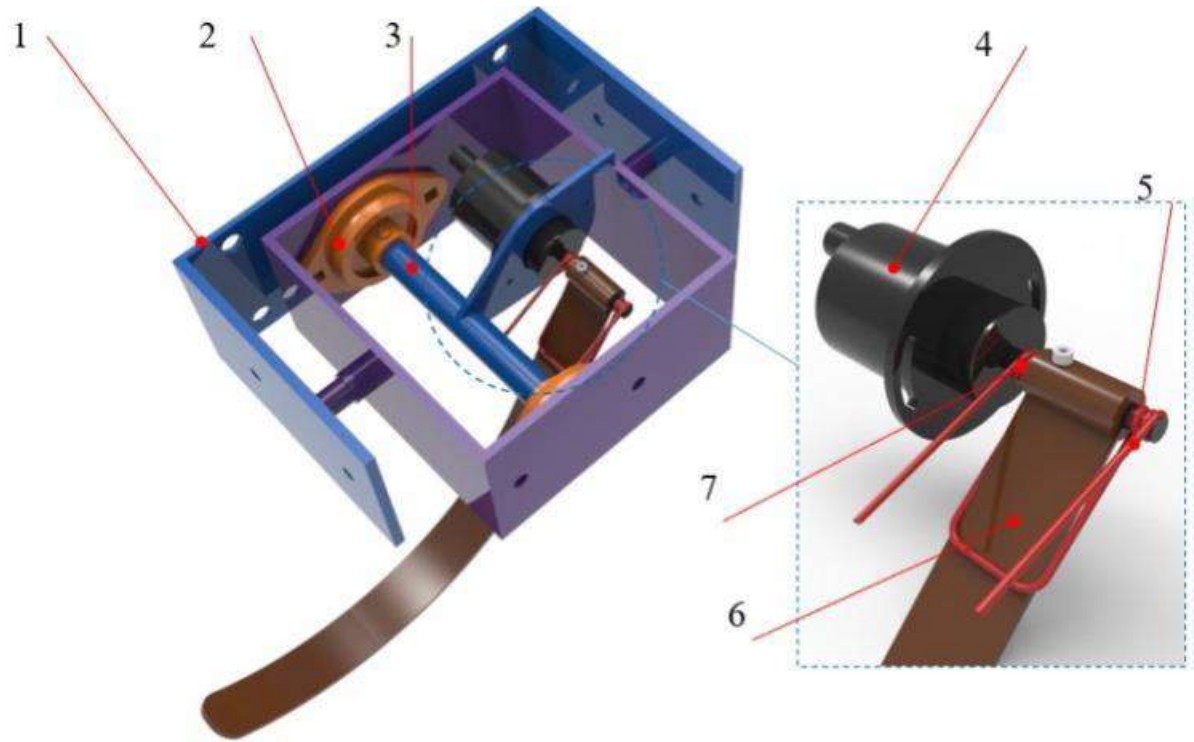


Рисунок.2.3 – Структурна схема механізму копіювання поверхні поля

1. Монтажна рама; 2. Монтажний фланець; 3. Штифтовий вал; 4. Датчик кута;
5. Пружина кручення; 6. Профільна плита; 7. Вал

Щоб запобігти поломці механізму копіювання поверхні ґрунту при русі зернозбирального комбайну заднім ходом, його копіювальна пластина виготовлена загнутою при кінці. При збирання зернових зернозбиральним комбайном висота стерні зазвичай контролюється в межах 50-300 мм. Тому, щоб гарантувати, що механізм копіювання поверхні поля зможе визначити висоту жатки в цьому діапазоні, копіювальна пластина розроблена з довжиною 110 мм для прямої частини та радіусом 200 мм для дуги вигнутої частини під кутом дуги 90°. Враховуючи умови роботи копіювальної пластини, а також можливість зустрічі з такими перешкодами як каміння, для виготовлення такої пластини рекомендується вибрати металеву пластину шириною 32 мм та товщиною 4 мм.

Як датчик положення кута вибрано високоточний цифровий датчик кута повороту RM22 5В діапазоном 0-120° і лінійним вихідним аналоговим сигналом напруги 0-5 В, щоб відповідати вимогам механізму копіювання поверхні поля, призначеного для встановлення висоти стерні.

2.3 Калібрування механізму копіювання поверхні поля

Щоб встановити функціональний зв'язок між вихідним сигналом датчика кута повороту механізму копіювання та фактичної висоти жатки необхідно провести калібрування механізму копіювання поверхні поля. Висоту жатки необхідно змінювати шляхом ручного регулювання з допомогою важеля, і вимірювати висоту різального апарата від поверхні ґрунту, тобто висоту жатки, за допомогою рулетки та фіксувати при цьому значення вихідної напруги датчика кута повороту, що відповідає різній висоті встановлення жатки. Оскільки вихідний сигнал датчика кута повороту лінійний, залежність між кутом відхилення копіювальної пластини та вихідної напруги виглядає наступним чином:

$$U = k_1 \cdot \beta$$

де: U - вихідна напруга датчика кута повороту, В;

β – кут повороту профільної пластини, (°);

k_1 — коефіцієнт калібрування напруги та кута.

Згідно з тестовим калібруванням, модель зв'язку між висотою жатки та кутом повороту копіювальної пластини буде наступною:

$$H = k_2 \cos \beta + c$$

де: H – висота жатки, м;

k_2 – калібрувальний коефіцієнт між висотою жатки та кутом повороту профільної плити;

c - константа.

Звідси розраховується функціональний зв'язок між вихідною напругою датчика кута та висотою жатки, як у формулі (4).

$$H = k_2 \cos \frac{U}{k_1} + c$$

2.4 Схема Gray prediction

Зазвичай модель Gray prediction $GM(M, N)$, де M це порядок рівняння моделі, а N це кількість змінних у рівнянні моделі. Для визначення моделі Gray prediction висоти жатки було використано найбільш широко використовувану модель $GM(1, 1)$. Період вибірки 0,5 с, довжина $n=4$, крок прогнозу $p=5$. Кожну вибірку вводили у формулу (4), щоб отримати висоту положення жатки $H^{(0)}(t)$, і тоді вихідну послідовність можна записати як:

$$H^{(0)} = \{H^{(0)}(1), H^{(0)}(2), H^{(0)}(3), H^{(0)}(4)\}$$

Усі положення висоти жатки були позитивними, тому можна записати:

$$H^{(1)} = \{H^{(1)}(1), H^{(1)}(2), H^{(1)}(3), H^{(1)}(4)\}$$

Де

$$H^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k H^{(0)}(m) \quad (k = 1, 2, 3, 4)$$

Фонові значення: $z^{(1)}(k)$

$$\begin{cases} k = 2, z^{(1)}(2) = 0.5(H^{(1)}(1) + H^{(1)}(2)) \\ k = 3, z^{(1)}(3) = 0.5(H^{(1)}(2) + H^{(1)}(3)) \\ k = 4, z^{(1)}(4) = 0.5(H^{(1)}(3) + H^{(1)}(4)) \end{cases}$$

Коефіцієнти a та u [7]:

$$a = \frac{C \cdot D - E}{F - C^2}$$

$$u = \frac{F \cdot D - C \cdot E}{F - C^2}$$

Де:

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \sum_{k=2}^4 z^{(1)}(k) \\ D = \sum_{k=2}^4 H^{(0)}(k) \\ E = \sum_{k=2}^4 z^{(1)}(k) \cdot H^{(0)}(k) \\ F = \sum_{k=2}^4 (z^{(1)}(k))^2 \end{array} \right.$$

Після отримання наведених вище параметрів, отримують прогнозоване значення висоти заголовка після p кроків: $H^{(0)}(4+p)$

$$H^{(0)}(4+p) = \left[H^{(0)}(4) - \frac{u}{a} \right] e^{-ap} (1 - e^{-a})$$

Система регулювання висоти жатки повинна регулювати відстань між жаткою та землею відповідно до нерівностей поверхні ґрунту, а вибір схеми автоматичного регулювання положення жатки безпосередньо впливатиме на продуктивність керування жаткою. Оскільки механізм визначення висоти та копіювання жатки, встановлено позаду різального апарату, процес регулювання висоти жатки має характеристики нелінійності та затримки часу, на які впливають зовнішні фактори. Ефект традиційного ПД-регулювання є відносно слабким. Щоб підвищити точність і стабільність керування, висота жатки регулюється за допомогою алгоритму ПД-регулювання з допомогою Gray prediction, а параметри ПД-регулятора коригуються в режимі онлайн відповідно до помилки передбачення та швидкості зміни виведення помилки системою контролю висоти жатки.

Система автоматичного контролю висоти жатки визначає висоту встановлення жатки від поверхні поля через механізм копіювання. З допомогою методу Gray prediction контрольне відхилення $e(t)$ було отримано шляхом порівняння поточної висоти із заданою висотою. Для розрахунку системи

використовувався алгоритм ПІД-регулювання. Система керування керує електромагнітним реверсивним клапаном через модуль приводу електромагнітного клапана для керування висуванням і засуванням гідравлічного циліндра жатки, таким чином реалізуючи автоматичне керування висотою жатки. Принцип керування показано на рисунку 2.4.

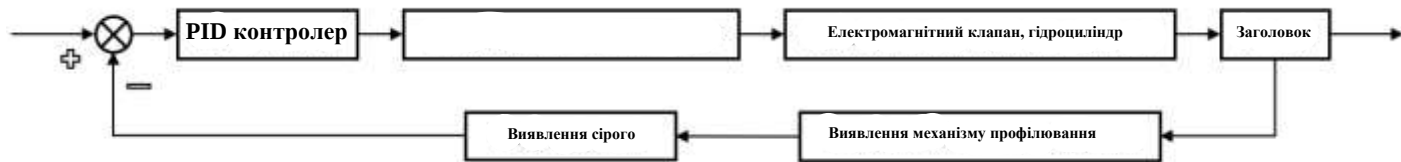


Рисунок. 2.4 - Принципова схема ПІД-регулювання висоти жатки Gray prediction

2.5 Алгоритм роботи системи керування

Вхідний сигнал системи автоматичного регулювання висоти жатки включє 2 аналогових сигнали (2 механізми копіювання), а вихідний сигнал складається з 2 електромагнітних реверсивних клапанів і 1 електромагнітного запобіжного клапана. Блок-схема системи автоматичного керування висотою жатки наведена на рисунку 2.5.

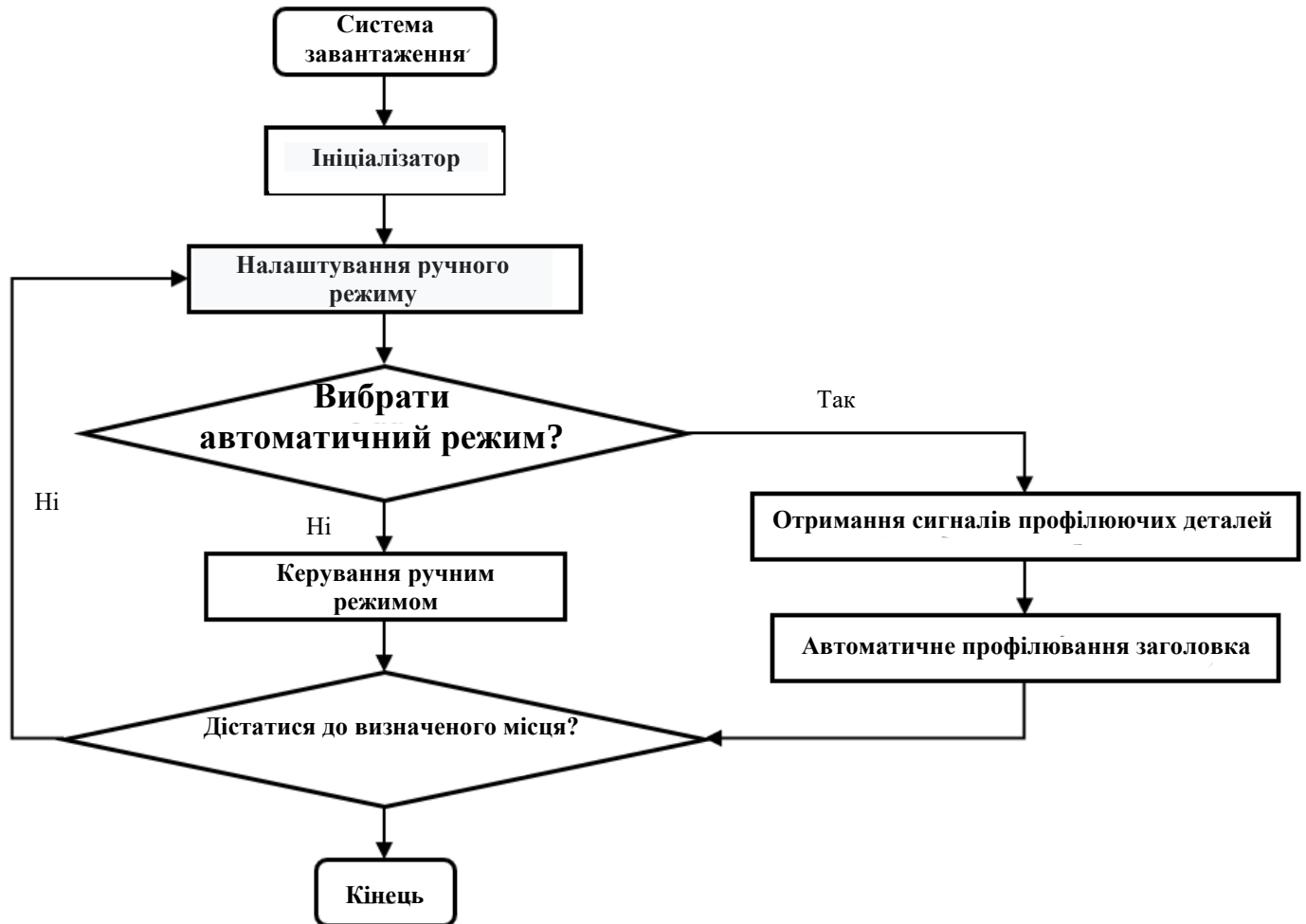


Рисунок. 2.5 – Блок-схема керування висотою жатки

Під час запуску системи оператор встановлює висоту жатки в ручному режимі та встановлює бажаний діапазон зміни висоти встановлення жатки. В автоматичному режимі механізм профілювання здійснює моніторинг сигналу, і після усунення неправильних даних отримується поточна висота різального апарату відповідно до функціонального зв'язку між даними виявлення механізму копіювання та висотою жатки, а також прогнозоване значення висоти ходу різального апарату яка отримується відповідно до інформаційного прогнозування висоти положення жатки відносно ґрунту.

У порівнянні з заданим значенням, після аналізу та обробки контролером, відбувається вмикання та вимкнення електромагнітного клапана з допомогою приводного модуля електромагнітного клапана, щоб реалізувати автоматичне регулювання висоти жатки. Якщо висота положення жатки вища за верхню межу встановленого діапазону, гідравлічний циліндр жатки опускається в нижнє

положення, щоб зменшити висоту жатки. Якщо висота положення жатки нижча за межу встановленого діапазону, гідравлічний циліндр жатки приводиться в рух, щоб збільшити висоту жатки.

2.6 ВИСНОВКИ

1) З огляду на те, що жатки багатьох зернозбиральних комбайнів не обладнанні механізмами автоматичного регулювання висоти відносно поверхні поля запропоновано встановлення такого обладнання на комбайни, яке дозволить регулювати положення жатки як в ручному режимі так і в автоматичному.

2) Щоб визначити поточну висоту руху жатки відносно поверхні поля, був розроблений механізм копіювання, щоб реалізувати автоматичний контроль висоти жатки, було проаналізовано геометричне співвідношення жатки зернозбирального комбайна та створено модель керування висотою жатки на основі алгоритму інформаційного прогнозування.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення виконання нормативно-правових актів з охорони праці є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, та працівників підприємств, установ, організацій. Тому необхідно потурбуватись про те, щоб виконання вимог законодавства з охорони праці та трудової дисципліни пройшли на високому організаційному рівні без порушень нормативно-правових актів з охорони праці.

Необхідно пам'ятати, що відповідальність за створення на робочому місці безпечних умов праці та недопущення травмування працівників на виробництві покладається на керівників, які зобов'язані розробляти комплексні заходи щодо забезпечення вимог з охорони праці.

З початком зернозбиральних робіт задіяно багато с/г техніки, а тому потрібно потурбуватись про те, щоб відповідальні та посадові особи пройшли навчання щодо дотримання вимог безпеки з охорони праці при проведенні польових робіт, а також для оперативного усунення виявлених недоліків і порушень, основні причини травмування — порушення трудової та виробничої дисципліни, недоліки у навчанні та інструктажі працюючих, невиконання вимог інструкцій з охорони праці, порушення правил дорожнього руху.

Для попередження ризиків травмування під час збирання зернових культур необхідно особливу увагу треба звернути на:

1) Особи які виконують роботу з підвищеною небезпекою, попередньо до початку виконання робіт проходять спеціальне навчання.

2) Посилити вимоги щодо питань охорони праці, безпеки руху зернозбиральних комбайнів та техніки при збиранні врожаю.

3) Неможливі допуски до роботи працівників, які не пройшли відповідних інструктажів по охороні праці та періодичних щорічних медичних оглядів.

4) На роботах зі шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням працівникам видаються безоплатно за встановленими

нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджувальні засоби.

Звернути увагу на дотримання вимог охорони праці безпосередньо в місцях виконання робіт, а саме:

- не допускати порушення трудової дисципліни під час роботи;

- забезпечити в господарствах двозмінну роботу з метою недопущення порушень робочого часу та відпочинку;

- розробити графік чергування спеціалістів господарств у нічний час (обладнати надійним, ефективним освітленням всі технологічні агрегати для роботи в нічний час);

- заборонити допуск до роботи працівників, які не пройшли медичні огляди;

- провести обстеження полів над якими проходять повітряні лінії ЛЕП та заборонити зупинку агрегатів та машин в охоронних зонах цих ліній;

- забезпечити проведення предрейсового та після рейсового медичного огляду стану здоров'я водіїв транспортних засобів;

- обов'язкове проведення інструктажів з правил охорони праці, безпеки руху з працівниками зайнятими на збиранні ранніх зернових культур з реєстрацією у відповідних журналах;

- порядок проведення зварювальних робіт;

- правила проїзду і стоянки транспортних засобів;

- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;

- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів і оглядів електроустановок;

- визначити безпечні місця відпочинку в польових умовах.

Перед початком зернозбиральної компанії та з метою попередження травматизму працівників в сільському господарстві необхідно керівникові, головним спеціалістам підприємств та відповідальним з охорони праці посилити контроль під час проведення зернозбиральних робіт. На засіданні в господарстві розглянути в присутності працівників питання дотримання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та виконання Закону України «Про охорону праці».

До роботи на зернозбиральні комбайни можна допускати осіб після виконання їм вісімнадцяти років, які пройшли спеціальне навчання по будові і експлуатації машини, і мають відповідний документ. Спеціалісти, відповідальні за охорону праці зобов'язані всіх механізаторів, водіїв ознайомити з маршрутною картою безпечних пересувань по території господарства. При виїзді комбайнів у поле слід переконатися в надійності органів управління, ходової частини, гальм, системи сигналізації, освітлення.

Категорично забороняється проводити ремонт машин при працюючому двигуні.

Не можна допускати до роботи людей без інструктажу з питань охорони праці.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Використання автоматичної системи регулювання висоти жатки дозволяє ефективно повторювати рельєф поля (навіть з найбільшими та найширшими жатками), збільшити продуктивність агрегату навіть при збиранні полеглих культур, зменшити втрати зерна, що автоматично означає підвищення прибутку, отримати однакову висоту стерні, що забезпечить полегшення виконання наступних операцій (наприклад культивуації), зменшить можливість пошкодження різального апарату, зменшить навантаження на оператора, що підвищить ефективність його роботи на протязі всієї зміни.

Для економічної оцінки впровадження удосконаленого комбайна застосовано порівняння прямих затрат його роботи з базовим варіантом.

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування розробленого пристрою, визначали відповідно до стандартної методики.

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності комбайна з удосконаленою жаткою

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Марка енергетичного засобу	Claas Lexion 740 + Vario 750	Claas Lexion 740+ Vario 750
Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	280	280
Вартість комбайна, грн.	6558750	6708750
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
Робоча швидкість агрегату, км/год	5	5
Коефіцієнт використання часу зміни	0,7	0,8
Продуктивність, га/год	2,6	3
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:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (4.1)$$

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

C_2 – вартість витрачених паливо-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:

$$C_1 = \frac{m_1 n_1 + m_2 n_2 + \dots + m_i n_i}{W_{зм}}, \quad (4.2)$$

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:

$$C_1 = \frac{1 \cdot 1600}{20,8} = 76,9 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_1 = \frac{1 \cdot 1600}{24,02} = 66,6 \text{ грн./га}$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів дорівнює:

$$C_2 = \Pi_K Q_{\Pi}, \quad (4.3)$$

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

Q_{Π} – витрата палива, кг/га.

для базового варіанту:

$$C_2 = 40,00 \cdot 5,9 = 236,00 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_2 = 40,00 \cdot 5,6 = 224,00 \text{ грн./га}$$

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

$$C_3 = \frac{B_{TP} \cdot a_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}}, \quad (4.4)$$

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:

$$C_3 = \frac{6558750 \cdot 15}{100 \cdot 2,6 \cdot 170} = 2204,622 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_3 = \frac{6708750 \cdot 15}{100 \cdot 3 \cdot 170} = 1973,162 \text{ грн./га}$$

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

$$C_4 = \frac{B_{TP} \cdot P_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}}, \quad (4.5)$$

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

Для базового варіанту:

$$C_4 = \frac{6558750 \cdot 6,5}{100 \cdot 2,6 \cdot 170} = 955,33 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C'_4 = \frac{6708750 \cdot 6,5}{100 \cdot 3 \cdot 170} = 855,03 \text{ грн./га}.$$

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

$$C = 76,90 + 236,00 + 2204,62 + 955,33 = 3472,14 \text{ грн./га},$$

для нового варіанту:

$$C' = 60,60 + 224,00 + 1973,16 + 855,03 = 3118,86 \text{ грн./га}.$$

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

$$E_n = C - C' = 3472,14 - 3118,86 = 353,28 \text{ грн/га.} \quad (4.6)$$

При використанні комбайна з удосконаленою жаткою на площі 400 га економія прямих витрат буде становити:

$$E = E_n \cdot F = 353,28 \cdot 400 = 141313,30 \text{ грн.}$$

Визначимо річний економічний ефект від впровадження:

$$E_p = E + E_n \cdot \Delta B, \quad (4.7)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень $E_n=0,15$;

ΔB - вартість удосконалення, грн. $\Delta B = 150000$ грн.

Тоді:

$$E_p = 141313,30 + 0,15 \cdot 150000 = 163813,31 \text{ грн.}$$

Визначимо термін окупності удосконаленого подрібнювача соломи:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E_p} = \frac{150000}{163813,30} \approx 1 \text{ роки} \quad (4.8)$$

Складові витрати коштів на збирання подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження комбайна з удосконаленою жаткою

Показник	Варіанти		Відхилення
	Базовий варіант	Удосконалений варіант	
Затрати праці, люд.-год/га	0,39	0,33	-0,06
Заробітна плата, грн./га.	76,19	66,67	-9,43
Вартість палива, грн./га	236,00	224,00	-12,00
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт, грн./га;	2204,62	1973,16	- 231,46
Відрахування на поточний ремонт та ТО, грн./га.	955,34	855,04	-100,30
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	3472,15	3118,87	-353,28
Економія прямих експлуатаційних витрат, грн.	141313,30		
Річний економічний ефект, грн	163813,31		
Термін окупності капіталовкладень, років	1		

Застосування удосконаленого агрегата Claas Lexion 740+ Vario 750 забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 353,28 грн./га.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої жатки в порівнянні з існуючим варіантом – 163813,31 грн/рік при обсязі роботи 400 га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання автоматичного керування положенням жатки можна показав, що такими пристроями оснащені в основному дороговартісні закордонні комбайни. А впровадження таких пристроїв дозволяє значно підвищити якість та продуктивність роботи комбайна.

2. З огляду на те, що жатки багатьох зернозбиральних комбайнів не обладнанні механізмами автоматичного регулювання висоти відносно поверхні поля запропоновано встановлення такого обладнання на комбайни, яке дозволить регулювати положення жатки як в ручному режимі так і в автоматичному.

3. Щоб визначити поточну висоту руху жатки відносно поверхні поля, був розроблений механізм копіювання, щоб реалізувати автоматичний контроль висоти жатки, було проаналізовано геометричне співвідношення жатки зернозбирального комбайна та створено модель керування висотою жатки на основі алгоритму інформаційного прогнозування.

4. Застосування удосконаленого агрегата Claas Lexion 740+Vario 750 забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 353,28 грн./га. Річний економічний ефект від застосування удосконаленої жатки в порівнянні з існуючим варіантом – 163813,31 грн/рік при обсязі роботи 400 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василь Черкас Урожайний інтелект: автоматизація зернозбиральних комбайнів // Агробізнес Сьогодні. <http://agro-business.com.ua/ahrotekhnolohiyi/item/18762-urozhainyi-intelekt-avtomatyzatsiia-zernozybalnykh-kombainiv.html> (дата звернення 15.03.2023 р.)
2. Зернозбиральний комбайн сьогодні, вчора і завтра: навчальний посібник / О. М. Погорілець, М. О. Погорілець, Ю. О. Погорілець. - Ніжин : ПП Лисенко М.М., 2008. - 72 с.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. - 544 с.
4. Іванишин В.В., Іліяшик В.В., Дуганець В.І. Аналіз конструкцій жаток і приставок до зернозбиральних комбайнів та особливості їх використання на збиранні бобових культур та ріпаку. Збірник наукових праць ПДАТУ. Вип. 26. Част. 2. ; за ред. В.В. Іванишина. 2017. С. 54-63.
5. Mingjian RUAN, Hanlu JIANG, Haili ZHOU, Jun YE, Jinpeng HU DESIGN AND TEST OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR HEADER HEIGHT OF COMBINE HARVESTER // INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 68, No. 3 / 2022. P.: 569-578.
6. Nurcan, E., Deniz Köksal, C. (2021). Determination of financial failure indicators by gray relational analysis and application of data envelopment analysis and logistic regression analysis in BIST 100 Index. Iranian Journal of Management Studies, Vol.14, 163-187.
7. Asgari, S., MirhoseiniNejad, S., Moazamigoodarzi, H., Gupta R., Zheng, R., Puri, I. K. (2021). A gray-box model for real-time transient temperature predictions in data centers. Applied Thermal Engineering, Vol. 185, 116319.
8. Охорона праці при збиранні ранніх зернових <https://oppb.com.ua/news/ohorona-praci-pry-zbyranni-rannih-zernovyh> (дата звернення 20.04.2023)

9. 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.