

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту

“ ” _____ 2025 p.

Зав. кафедри, д.т.н., професор

_____ Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ
ВСТАНОВЛЕННЯ ЖАТКИ»**

Виконав: студент 2 курсу,

групи 21м-ім

Спеціальність Н7

«Агроінженерія»

Андрій БАНАРЬ

(прізвище та ініціали)

Керівник Юрій КОВАЛЬЧУК

(прізвище та ініціали)

Рецензент Олександр ТРУС

(прізвище та ініціали)

Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідур В.В.
 “ ” _____ 2025 р.

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

_____ Банарю Андрію Микорлайовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження механізму регулювання висоти встановлення жатки»

керівник роботи _____ Ковальчук Ю.О., к.т.н., доцент _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“09” листопада 2023 р. № 01-06/256

2. Строк подання студентом роботи _____ 2.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: способи регулювання висоти жатки.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

провести аналіз існуючих способів регулювань висоти жатки на різних зернозбиральних машинах; розробити концепцію регулювання висоти жатки залежно від змін поверхні поля; вдосконалити існуючі способи мехатронного регулювання механізмів з урахуванням умов роботи зернозбирального агрегату; розробити заходи охорони праці при роботі зернозбирального агрегату з вдосконаленою жаткою; техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 04.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.04.25 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.05.25 р.	
3.	Розділ 2. Розробка конструкції механізму регулювання висоти жатки.	04.06.25 р.	
4.	Розділ 3. Вдосконалення способу мехатронного регулювання висоти положення жатки	03.09.25 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.25 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	06.11.25 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	13.11.25 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.12.25 р.	

Студент

(підпис)

Андрій БАНАРЬ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій КОВАЛЬЧУК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Банарь А.М. Дослідження механізму регулювання висоти встановлення жатки. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 44 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 17 рисунків, 2 таблиці, 13 джерел).

Об'єкт дослідження – способи встановлення та регулювання положення висоти жатки зернозбирального агрегату.

Мета роботи – розробити механізм встановлення та регулювання висоти жатки з врахуванням профілю поверхні поля.

У першому розділі “Стан питання і задачі досліджень” наведено огляд існуючих способів та механізмів встановлення висоти жатки на різних зернозбиральних машинах та сформовано задачі досліджень.

У другому розділі “Розробка конструкції механізму регулювання висоти жатки” розроблено механізм профілювання ґрунту контактного типу, який складається з копіювального щупа, датчика кута та шарнірної ланки.

У третьому розділі “Вдосконалення алгоритму автоматичного керування жаткою”, проаналізовано принцип роботи та недоліки стандартного ПІД регулювання, стосовно умов роботи зернозбирального агрегату та проведено його вдосконалення.

У четвертому розділі “Охорона праці” розглянуто особливості охорони праці в сільському господарстві та розроблено засоби охорони праці при збиранні зернових культур, враховуючи процеси експлуатації та технічного обслуговування зернозбиральних машин.

У п'ятому розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховано ефект від впровадження запропонованого механізму регулювання висоти жатки.

ЖАТКА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА, РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ЖАТКИ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Проблема контролю висоти жатки	7
1.2. Способи контролю висоти жатки	9
1.3. Конструктивні рішення встановлення та регулювання висоти жатки..	10
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	15
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ЖАТКИ	16
РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЖАТКОЮ	22
3.1. Обмеження традиційного ПД для роботи з інтегральним насиченням	22
3.2. Удосконалення системи ПД-регулювання	26
3.3. Врахування швидкості агрегату	28
3.4. Висновки до розділу	30
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	31
4.1. Загальні положення	31
4.2. Особливості охорони праці в сільському господарстві	31
4.3. Розробка заходів охорони праці при збиранні зернових	33
4.4. Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	35
ВИСНОВКИ.....	41
Список використаних джерел.....	43

ВСТУП

Зернозбиральні комбайни – складні сільськогосподарські машини для збирання різних видів зернових культур. Вони експлуатуються в різних кліматичних умовах по всьому світу. По суті, це мобільна фабрика в полі з багатьма взаємодіючими процесами, які можуть вимагати коригування, щоб пристосуватися до різних і мінливих умов посівів і поля [1]. Ці процеси передбачають зрізання стебел культури на висоті, вибраній оператором, і збирання врожаю в жатці. Потім матеріал транспортується елеватором до секції обмолоту та сепарації. Тут зерна відокремлюються від колосків, качанів і більших часток соломи. Зерна, дрібніші частинки соломи та полова потрапляють через сепараційну решітку на секцію очищення. Чистий зерновий матеріал транспортується зерновим елеватором у зерновий бункер, де він тимчасово зберігається. Інший матеріал виходить із задньої частини зернозбирального комбайна. Розміри комбайнів, а також різні компоненти та процеси зазнавали постійних змін, оскільки виробники, а також фермери намагаються збільшити потужність і ефективність збиральної техніки. Тепер є ознаки того, що подальше збільшення розміру машини може бути неможливим через ущільнення ґрунту через великі навантаження, а також через доступ до доріг загального користування. Проте очікується, що подальше підвищення ефективності та продуктивності процесу збирання врожаю може бути досягнуто завдяки оптимальній продуктивності всього процесу збирання врожаю, а також усіх процесів. Однак сезонні аспекти збору врожаю зернових, постійна зміна посівів, умов посівів і погодних умов роблять оператора дуже складною для підтримування оптимальної продуктивності. Оскільки робочі дні можуть бути довгими, а культура та погодні умови можуть значно відрізнятися, навіть для досвідченого оператора практично неможливо підтримувати продуктивність усіх процесів близькою до оптимальної. Тому дослідження систем управління для автоматизації процесів підсистем, спрямовані на зменшення навантаження на оператора при одночасному підвищенні ефективності роботи зернозбирального комбайна є актуальними.

Збирання врожаю починається з жатки, де врожай зрізається на певній ширині захвату та транспортується до розташованого в центрі елеватора.

Оператор може встановити висоту скошування над землею, а автоматичне керування має підтримувати цю висоту за змінних умов місцевості. Неправильне налаштування або підтримання висоти жатки може призвести до втрат врожаю, якщо не всі колоски будуть зібрані, коли жатка знаходиться надто високо, тоді як занадто низьке налаштування призводить до втрати продуктивності через велику кількість соломи, що подається в зернозбиральний комбайн. Також існує ризик пошкодження ріжучого апарату.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Проблема контролю висоти жатки.

Проблема контролю висоти жатки є давньою проблемою при виробництві зернозбиральних комбайнів. Відомо, що приблизно 75% втрат врожаю відбувається на жатці [6], і значна частина втрат за жаткою спричинена неправильним налаштуванням висоти жатки. На рис. 1.1 зображено принципову схему системи зернозбирального комбайна.

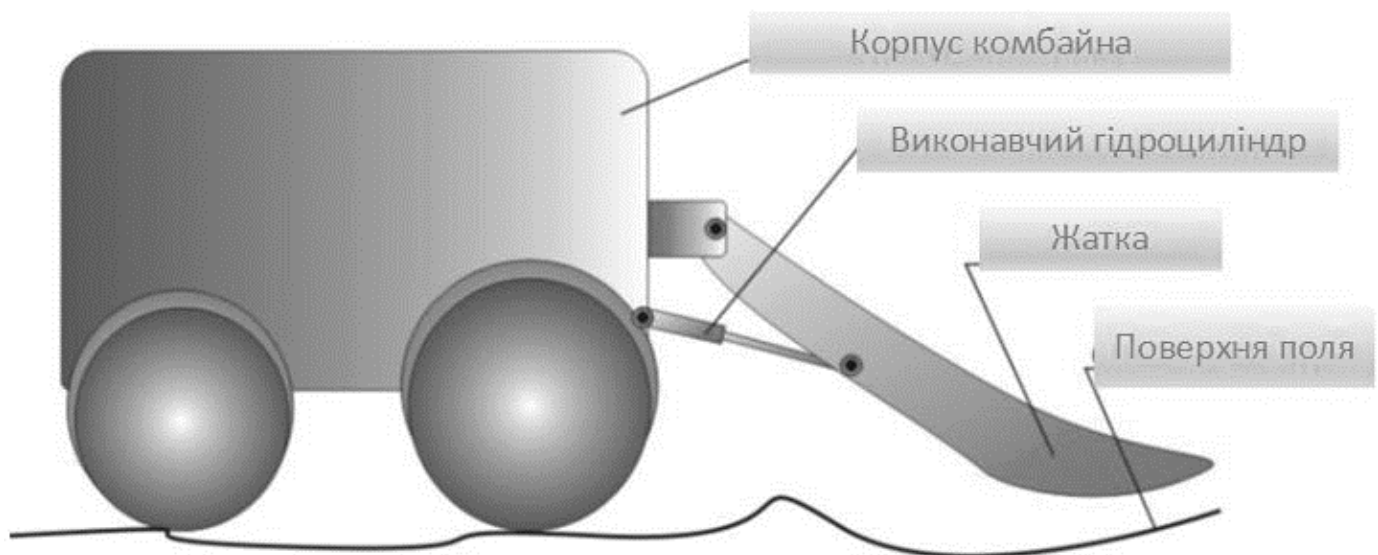


Рисунок 1.1 Схематичне зображення руху комбайна по полю.

Висота жатки визначається як відстань між нижньою точкою жатки та поверхнею ґрунту. Піднімаючи або опускаючи жатку за допомогою приводу, зазвичай гідравлічного, можна регулювати висоту жатки. Однак у цьому процесі необхідно зберігати певний баланс. Якщо висота жатки занадто велика, врожайність буде знижена, оскільки велика частина врожаю залишиться незібраною. І навпаки, якщо висота жатки підтримується на занадто низькому рівні, це призведе до пошкодження обладнання або втоми оператора. Ця проблема

посилюється тим фактом, що комбайнові системи зазвичай мають демпфовані шини, які діють як пружини, як показано на рисунку 1.2.

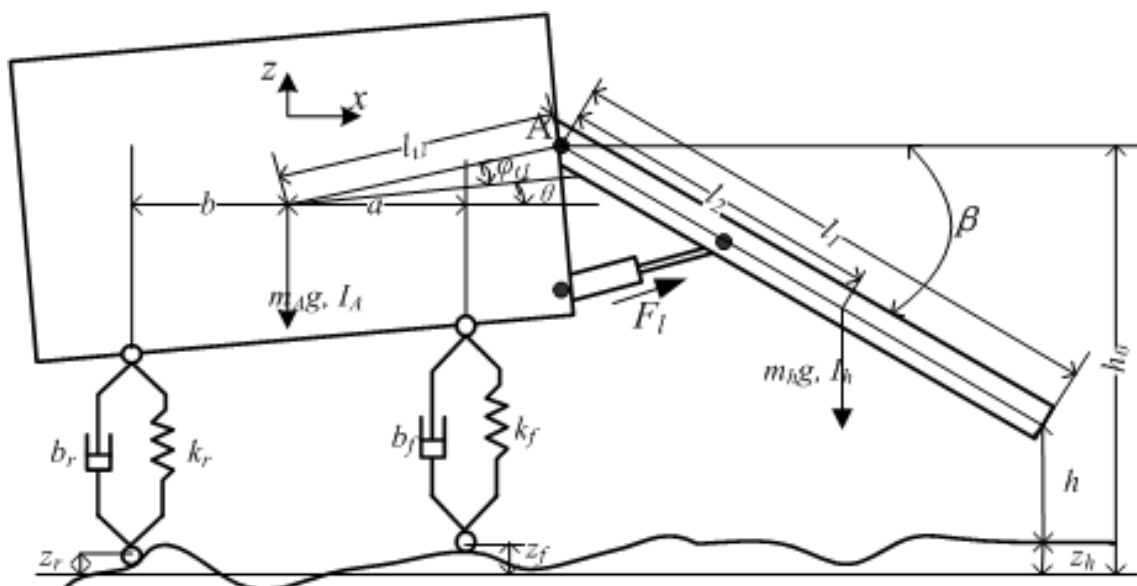


Рисунок 1.2 Динамічна модель руху комбайна [3].

Власні частоти транспортного засобу [3] також дещо змінюються зі швидкістю та станом ґрунту, створюючи таким чином подальший виклик будь-якій суто механічній стратегії пом'якшення. Таким чином, бажано, щоб висота жатки могла регулюватися та слідувати формі рельєфу, одночасно пригнічуючи вплив збурень ґрунту на жатку.

Одним із можливих рішень так званої проблеми висоти жатки є система автоматичного контролю рельєфу місцевості для підтримки висоти жатки. Це було метою інженерів з механізації та автоматизації сільського господарства з 1960-х років [3]. Ранні підходи використовували прості системи керування жаткою для регулювання висоти жатки таким чином, щоб вона була пропорційною висоті культури [3]. Як правило, ці прості контролери є контролерами пропорційного типу з мертвою зоною вхідного сигналу, що працює навколо заданого значення.

Попередні зусилля контролю висоти жатки були зосереджені головним чином на рельєфі місцевості. Подібне керування віброізоляцією було широко вивчено в проблемі керування активною підвіскою легкового автомобіля. Щоб ізолювати транспортний засіб від впливу вібрації ґрунту, дослідники використовували схеми активного контролю для регулювання характеристик підвіски або сил між шиною

та кузовом автомобіля. Було неодноразово продемонстровано, що це значно зменшує вібрацію транспортного засобу, який піддається широкому спектру частотних перешкод. За аналогією з проблемою активної підвіски автомобіля, жатку можна розглядати як ізольовану масу, і бажано ізолювати жатку від заважаючих вібрацій, що надходять від корпусу комбайна.

1.2 Способи контролю висоти жатки.

Пристрої зрівноважування і копіювання рельєфу 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.

1.3 Конструктивні рішення встановлення та регулювання висоти жатки.

Жатна частина комбайна КЗС-9-1 [5] складається із жатки, проставки і похилої камери.

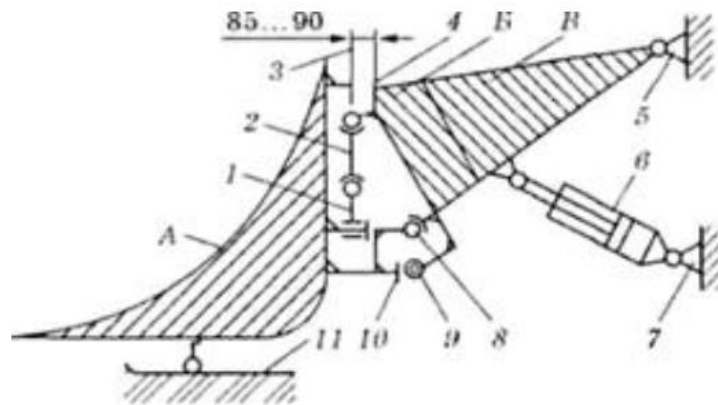


Рисунок 1.3 Схема піднімального механізму жатної частини комбайна КЗС-9-1: А - корпус жатки; Б - корпус проставки; В - корпус похилої камери; 1 - важіль; 2 - підвіска; 3 і 4 - упори; 5 - корпус молотарки; 6 - гідроциліндр; 7 - балка моста ведучих коліс; 8 - центральний шарнір; 9 - ролик; 10 - щока; 11 – башмак.

Башмаки, на які опирається жатка, копіюють нерівності поля, таким чином підтримуючи її на заданій висоті зрізу. Башмак 1 - коритоподібна лижа, виготовлена зі сталі, шарнірно приєднаний до двоплечого важеля 4 з привареною віссю. Вісь вільно встановлена у вушка, приварені до головної балки. У важелі є отвори Е і Д під болт.



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 Комбайн New Holland CX8090 та режими роботи жатки комбайна:
а) режим підтримування заданої висоти зрізування, б) режим Autofloat™, в) режим компенсації.

Щоб увійти в режим автоматичного керування висотою жнивarki (висота зрізу та/або Autofloat™, врівноваження), після виконання першої калібрування виконайте такі дії: висота зрізу та режим Autofloat. У цьому режимі, якщо не встановлено датчики-потенціометри системи Autofloat™, жатка працює на заздалегідь заданій висоті зрізу. Якщо встановлені потенціометри Autofloat™, жатка копіює рельєф поля із попередньо заданою висотою зрізу.

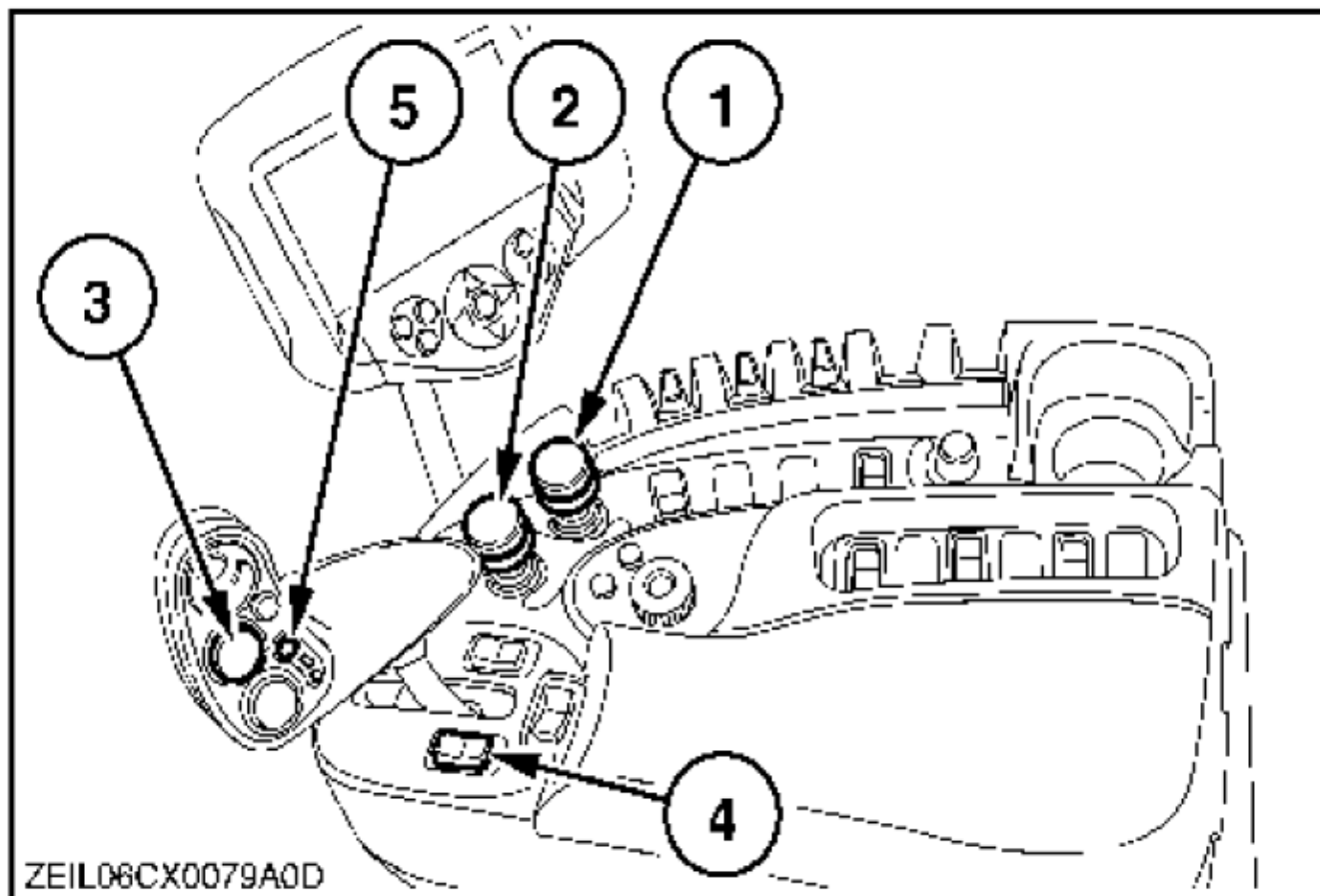


Рисунок 1.6 Органи керування положенням жатки комбайна New Holland CX8090.

Щоб встановити жатку в режим автоматичної висоти руху жатки потрібно виконати наступні кроки: 1. За допомогою перемикачів увімкнути молотильний апарат (1) та привід транспортера похилої камери (2). 2. Встановити перемикач пам'яті жатки (4) у положення 1 або 2 режими регулювання висоти зрізу/системи Autofloat™. 3. Опустити жатку на необхідну висоту зрізу, використовуючи кулісний перемикач 3 висоти та вільного поперечного нахилу жатки. 4. Для запису в пам'ять нового значення висоти (уставки) натиснути кнопку 5 автоматичного керування висотою жнивarki та утримувати її не менше 2 секунд (поки почується підтверджуючий звуковий сигнал). 5. Щоб під час роботи змінити одну з закладених у пам'ять уставок висоти жатки, для підйому або опускання жатки на необхідну висоту використовується кулісний перемикач 3 висоти та поперечного нахилу жатки (повільне переміщення жатки вгору/вниз). Для запису нового значення висоти (уставки) необхідно натиснути кнопку 5 автоматичного керування висотою жнивarki та утримуйте її не менше 2 секунд (почується підтверджуючий

звуковий сигнал). 6. На розворотних смугах оператор може натиснути кнопку 5 автоматичного управління висотою жатки двічі, щоб підняти жатку над рослинами. Щоб знову увійти до автоматичного режиму, необхідно швидко натиснути кнопку 5 автоматичного керування висотою жатки, і жатка опуститься на заздалегідь задану висоту.

Автоматична система компенсації (врівноважування) жатки спрацьовує при торканні землі. Після того, як жатка торкнулася землі, задана висота зрізу автоматично відновлюється. Регулювання системи проводиться з за допомогою уставки порогового значення тиску. Низьке значення порогового тиску обмежує силу реакції при торканні землі.

Case IH Axial-Flow® серії 250 TERRAIN TRACKER [2]

Для оптимального повторення контурів землі жатками будь-якої ширини комбайни Axial-Flow® оснащуються функцією повністю автоматичного контролю висоти жатки для досягнення однакової висоти стерні при збиранні врожаю на високих швидкостях. Циліндр нахилу двосторонньої дії, встановлений на хитній пластині похилої камери, забезпечує ведення жатки паралельно поверхні землі незалежно від положення комбайна. До чотирьох датчиків на жатках відслідковують рельєф поверхні та коригують положення жатки задля забезпечення незмінної довжини стерні. Якщо необхідно залишати максимально коротку стерню, то жатка має знаходитись над самою поверхнею землі, тому комбайн автоматично контролює положення жатки, щоб уникнути її заривання в ґрунт і надмірного зносу.



Рисунок 1.7 Case IH Axial-Flow® серії 250 TERRAIN TRACKER

1.4. Висновки та завдання досліджень.

Огляд інформаційних джерел показав важливість впровадження в зернозбиральних машинах засобів автоматизації процесу роботи для зменшення втрат врожаю, збільшення продуктивності таких машин та зменшення робочого навантаження на операторів комбайнів. Огляд існуючих систем встановлення та регулювання положення жатки показав, що в багатьох існуючих машинах є впроваджено автоматичні засоби регулювання цього процесу, що робить їх більш зручними у використанні, але такі машини мають більшу вартість. Машини ж меншої вартості, або застарілі машини в основному мають ручне встановлення висоти жатки, що зменшує можливості оператора реагувати на зміни умов роботи комбайна. Тому дослідження спрямовані на впровадження засобів автоматичного регулювання положення жатки є актуальними.

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

1. Дослідити існуючі способи встановлення та регулювання висоти жатки.
2. Розробити конструкцію механізму регулювання висоти жатки.
3. Вдосконалити алгоритм автоматичного керування жаткою.
4. Розробити заходи охорони праці при роботі з удосконаленим агрегатом.
5. Провести аналіз економічних показників застосування розробленого механізму регулювання висоти жатки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ ВИСОТИ ЖАТКИ

Система керування висотою жатки на основі моніторингу профілю ґрунту показана на рис 2.1. Вдосконалення жатки відбувається на основі традиційної конструкції. У нижній частині жатки встановлено копіювальний щуп і датчик кута, який відстежує нерівності ґрунту та служить пристроєм введення сигналу для електрогідравлічної системи керування. На кінці жатки встановлено шарнірне з'єднання, яке з'єднане з датчиком кута, щоб реалізувати введення сигналу зворотного зв'язку після регулювання висоти жатки. Щоб забезпечити чутливість системи під час точного налаштування висоти жатки, гідравлічний циліндр односторонньої дії, який відповідає системним вимогам, вибрано як виконавчий механізм встановлення висоти жатки.

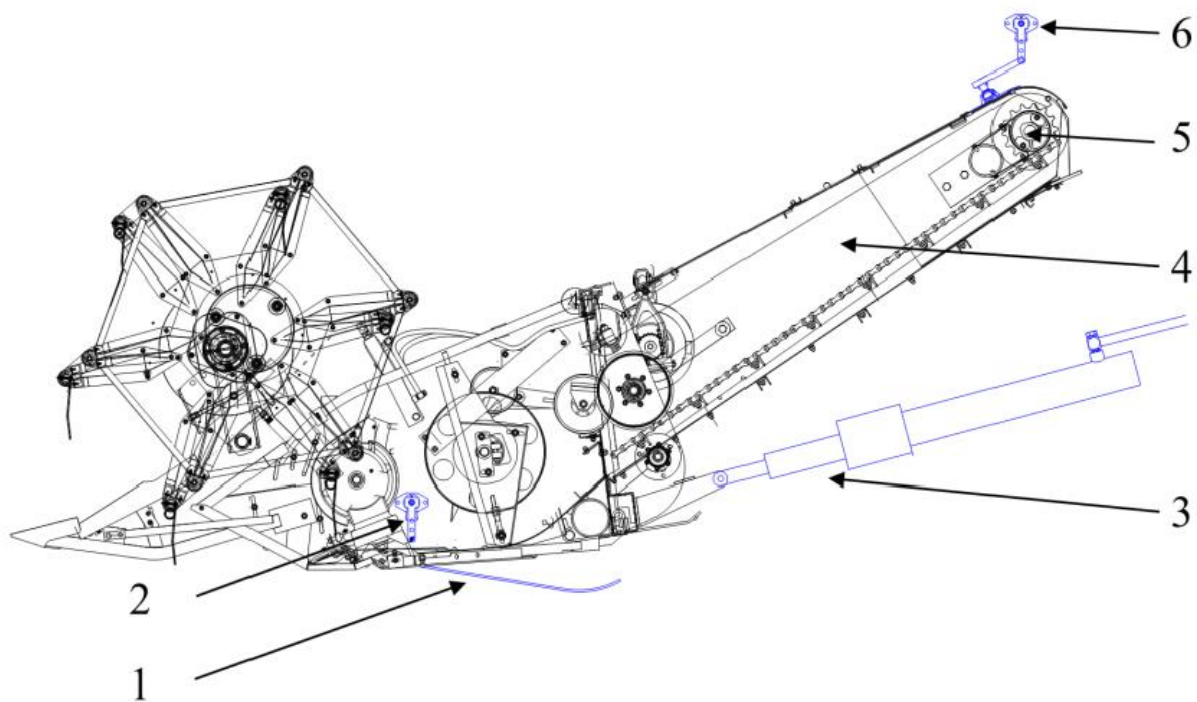


Рисунок 2.1. Структура системи регулювання висоти положення жатки. 1 - копіювальний щуп; 2 - датчик кута; 3 - гідроциліндр односторонньої дії; 4 – корпус жатки комбайна; 5 - точка повороту підйому жатки; 6 - механізм зворотного зв'язку по висоті жатки.

Щоб відстежувати та фіксувати нерівності ґрунту, розроблений механізм профілювання ґрунту контактного типу, структура якого показана на рис. 2.2. Механізм профілювання складається з копіювального щупа, датчика кута та шарнірної ланки. Під час роботи копіювальний щуп торкається поверхні поля, обертається навколо фіксованої точки обертання та приводить в рух датчик кута через шарнірний ланковий механізм. Таким чином, копіювальний щуп перетворює сигнал висоти між жаткою та поверхнею поля у відповідний сигнал напруги (0~5 В) через датчик кута та передає його на відповідний контролер [7].

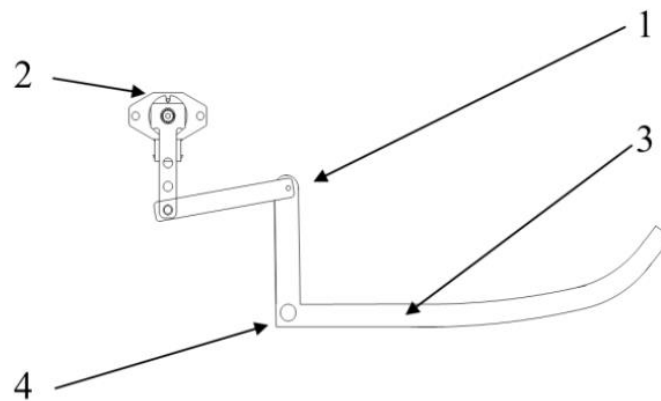


Рисунок 2.2 Принцип механізму копіювання поверхні поля. 1 - шарнірна ланка; 2 - датчик кута; 3 - копіювальний щуп; 4 - фіксоване з'єднання копіювального щупа.

Система керування жаткою повинна відстежувати висоту жатки в реальному часі після завершення кожної дії електрогідравлічного регулювання та виконувати розрахунок різниці між фактичним сигналом зворотного зв'язку та сигналом встановлення цілі для отримання числового значення для розрахунку наступного програмного циклу. Для моніторингу фактичної висоти жатки використовується датчик кута та механізм шарнірної тяги; структура показана на рис. 2.3. Підйом і опускання жатки спричиняють зміну положення шарнірної ланки, що призводить до обертання датчика кута висоти жатки. У цей час сигнал висоти в реальному часі, перетворюється на сигнал напруги (0~5 В) через датчик кута та надходить у лінію зворотного зв'язку для участі в роботі алгоритму керування.

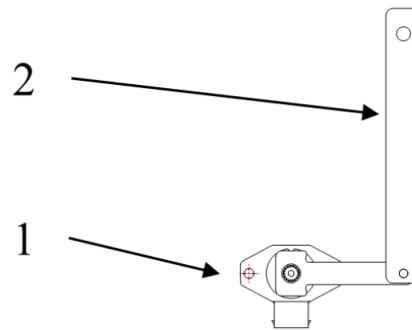


Рисунок 2.3 Механізм вимірювання висоти жатки. 1 - датчик кута; 2 – керуюча ланка.

На рисунку 2.4 представлена структура адаптивної системи керування жаткою. Коли зернозбиральний комбайн починає працювати, оператор встановлює висоту стерні в адаптивному режимі керування жаткою через інтерфейс в передній частині кабіни, і комбайн починає переходити в режим копіювання жаткою поверхні поля. Копіювальний щуп на нижній стороні жатки контактує з поверхнею поля та приводить в рух датчик висоти, щоб він обертався та видавав відповідний сигнал напруги на контролер, при зміні рельєфу. Контролер обчислює за допомогою рівняння зміну напруги до висоти, отримує висоту руху жатки, зібрану в поточному програмному циклі, і отримує системну похибку через обчислення різниці з заданим користувачем значенням $e(k)$. Бортовий датчик швидкості контролює поточну швидкість агрегату та визначає відповідні пропорційні, інтегральні та диференціальні параметри, і за допомогою програмного забезпечення, обчислює дані та виводить відповідний робочий цикл. Контролер перетворює широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) у відповідний струм ШІМ і впливає на котушку електромагнітного пропорційного клапана. Електромагнітна котушка створює відповідне магнітне поле для керування відкриттям і закриттям золотника на певну відстань, а також контролює напрямок потоку гідравлічної оливи в гідравлічному контурі, щоб гідравлічний циліндр жатки виконував відповідні дії опускання чи піднімання жатки. Пристрій зворотного зв'язку по висоті жатки передає фактичну висоту жатки назад на бортовий контролер і продовжує виконувати розрахунок різниці зі значенням, встановленим

користувачем. Щоб підвищити стабільність жатки поблизу цільового значення, якщо різниця становить менше 15 мм, у цьому циклі завершується налаштування жатки за замовчуванням. Якщо він перевищує 15 мм, він продовжить входити до наступного циклу керування програмою.

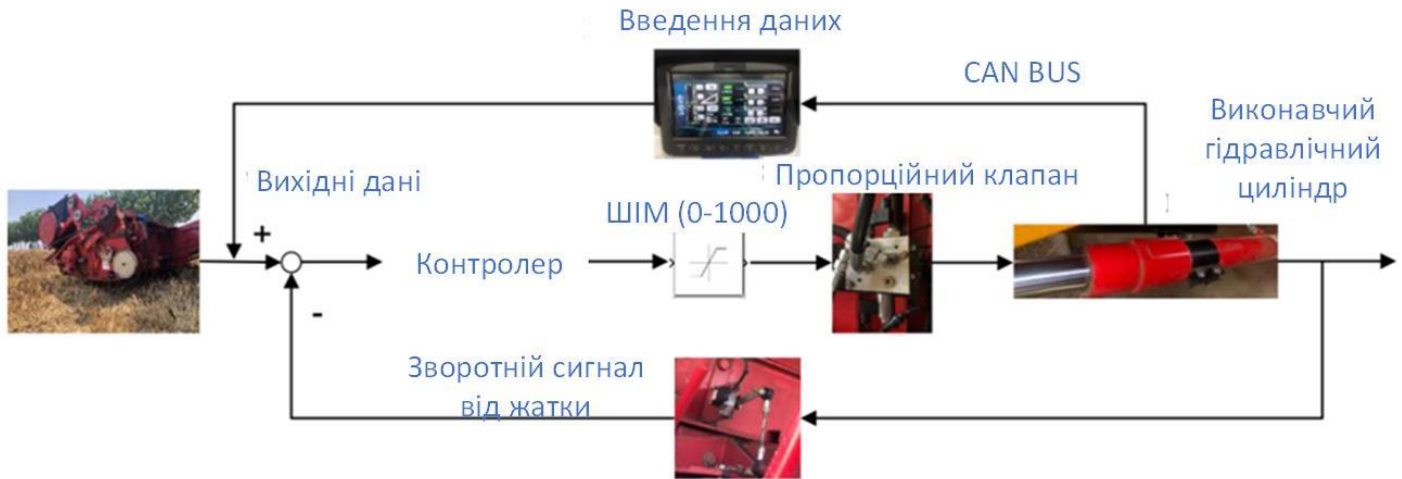


Рисунок 2.4 Структура системи адаптивного управління висотою жатки.

У традиційній системі регулювання дії жатки механізм гідравлічного керування зазвичай вибирається реверсивний клапан з електронним керуванням для керування контуром гідравлічної оливи [8]. Принцип керування цим способом полягає у створенні відповідного магнітного поля шляхом живлення різних котушок соленоїда електричного керуючого клапана. Таким чином, магнітне поле змінює напрямок потоку гідравлічної оливи в гідравлічній системі та реалізує підйом гідравлічного циліндра, керуючи рухом внутрішнього золотника електричного керуючого клапана. Однак ця стратегія керування придатна лише для ручного регулювання при низькій швидкості збирання, і точно налаштувати висоту жатки непросто. Самоадаптивна система контролю профілю ґрунту жатки вимагає високої точності для дії жатки та має реалізувати точне налаштування підйому жатки на основі зміни сигналу висоти ґрунту під час високошвидкісних операцій збирання врожаю. Тому в цьому дослідженні вбудований електромагнітний пропорційний клапан використовується для реалізації керування гідравлічною системою. На рис. 2.5 і 2.6 показано принцип роботи конструкції.

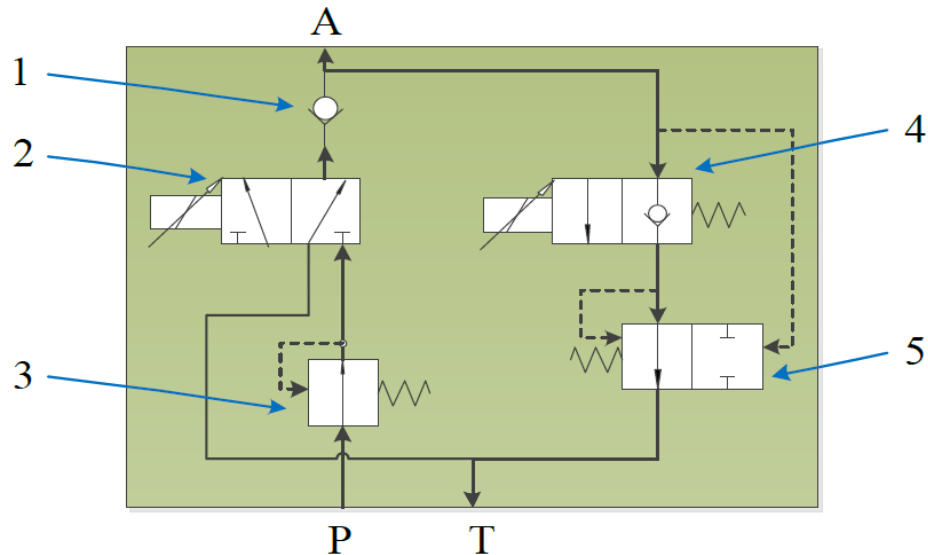


Рисунок 2.5 Структурний принцип вбудованого електромагнітного пропорційного клапана. 1 - прямий зворотний клапан; 2 - 2/3-ходовий електромагнітний пропорційний клапан; 3 - гідравлічний редукційний клапан на виході; 4 - 2/2-ходовий електромагнітний пропорційний клапан; 5 - гідравлічний прямий зворотний клапан.

На рис. 2.6 показано принцип роботи інтегрованого електромагнітного пропорційного клапана. Коли жатка має піднятися, бортовий контролер надсилає відповідний ШІМ-сигнал і перетворює його на відповідний струм (130 мА – 400 мА), який діє на котушку 2/3-ходового електромагнітного пропорційного клапана (ліва сторона під напругою, а правий електромагнітний клапан знеструмлений). Котушка створює магнітне поле, яке штовхає котушку на певну відстань, а гідравлічна олива надходить у вбудований електромагнітний пропорційний клапан з порту Р. Після цього тиск знижується через редукційний клапан, олива протікає через 2/3-ходовий електромагнітний пропорційний клапан і витікає з порту А в гідравлічний циліндр підйому жатки. Коли тиск випускного редукційного клапана буде вищим за тиск, встановлений пружиною, він штовхне золотник редукційного клапана, щоб переміститися вправо, зменшуючи потік оливи в порту Р і таким чином досягаючи для стабілізації та захисту 2/3-ходового електромагнітного пропорційного клапана.

При опусканні жатки сигнал ШІМ перетворюється у відповідний струм (130 мА – 320 мА) і діє на правий двопозиційний двоходовий електромагнітний пропорційний клапан (лівий електромагнітний клапан втрачає живлення). Олива в гідравлічному циліндрі потрапляє в електромагнітний пропорційний клапан через порт А і протікає через прямі одноклапанні входні та вихідні Т-порти гідравлічного керування, щоб завершити опускання жатки. Коли тиск оливи на її вході в електромагнітний пропорційний клапан перевищує значення тиску, встановлене пружиною корпусу клапана, золотник буде переміщено вліво, щоб зупинити надходження гідравлічної оливи до порту Т. Ця функція гарантує, що жатка не впаде швидко на землю та не пошкодиться.

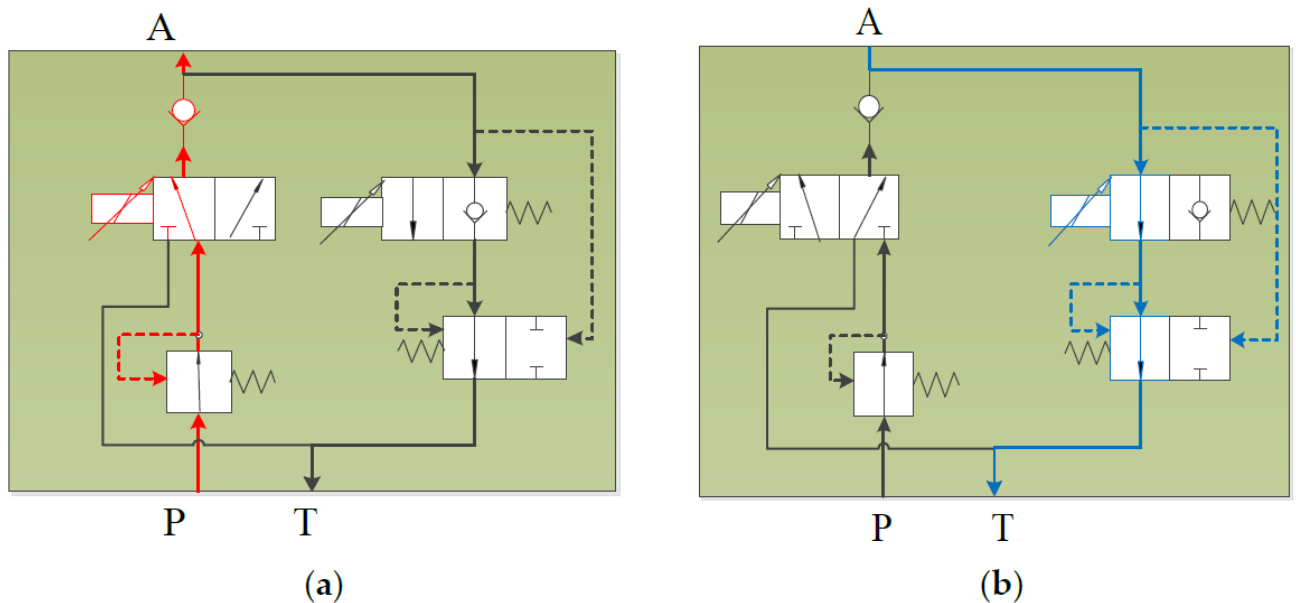


Рисунок 2.6 Принцип роботи інтегрованого електромагнітного пропорційного клапана. (а) підйом жатки; (б) опускання жатки.

Таким чином, розроблено механізм профілювання ґрунту контактного типу, який складається з копіювального щупа, датчика кута та шарнірної ланки. Та запропоновано використати контролер та пропорційний клапан, який перетворює широтно-імпульсну модуляцію у відповідний струм і впливає на котушку електромагнітного пропорційного клапана, пришвидшуючи таким чином швидкість реагування висоти жатки на зміну рельєфу поля.

РОЗДІЛ 3

ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЖАТКОЮ

3.1. Обмеження традиційного ПІД для роботи з інтегральним насиченням

Поточна основна технологія автоматичного керування із замкнутим циклом в основному базується на концепції зворотного зв'язку для зменшення невизначеності системи [9]. Робота зворотного зв'язку в основному включає: вимірювання, порівняння та виконання. Метою вимірювання є отримання фактичного значення контрольованого об'єкта та порівняння його з очікуваним значенням. Його відхилення використовується для корекції реакції системи та виконання нормативного контролю. Найбільш широко використовуваною стратегією регулювання в практичній інженерії є пропорційне, інтегральне та диференціальне регулювання, яке називається регулюванням ПІД [10]. На рис. 3.1 показано принцип ПІД-регулювання.

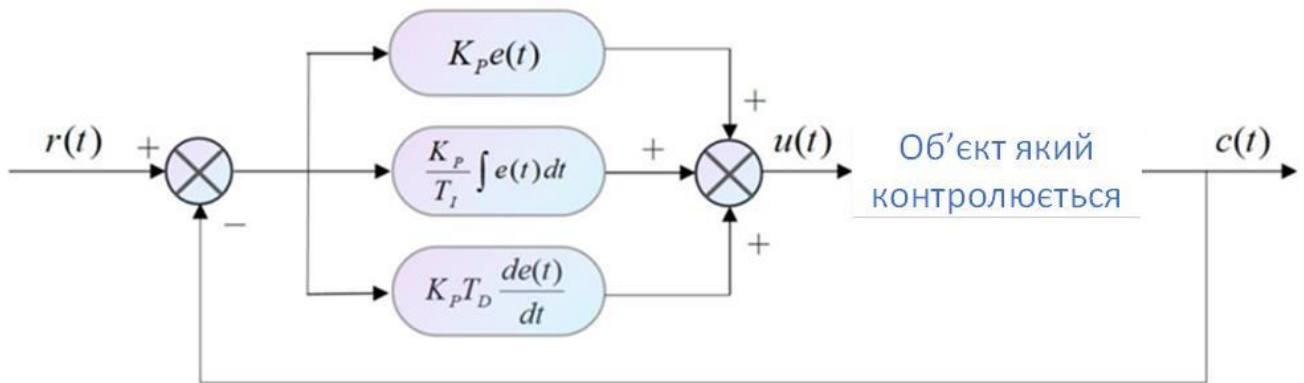


Рисунок 3.1 Структурна схема аналогової системи ПІД-регулювання.

ПІД-регулятор — це лінійний регулятор, принцип керування яким базується на різниці між заданим значенням $r(t)$ і фактичним значенням $c(t)$.

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (3.1)$$

Визначимо пропорційне регулювання (P), інтегральне регулювання (I) і диференціальне регулювання (D) лінійно поєднуються, щоб сформувати змінну керування для керування об'єктом керування та стати ПІД-регулюванням. Його закон керування наступний [7]:

$$e(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t)dt + T_D \frac{de(t)}{dt}) + M \quad (3.2)$$

де K_p - пропорційний коефіцієнт,

T_I і T_D - інтегральна постійна часу та диференціальна постійна часу відповідно.

У практичній інженерії комп'ютерне керування є різновидом контролю вибірки, який лише обчислює кількість контролю відповідно до значення відхилення під час вибірки. Таким чином, безперервний алгоритм ПІД-регулювання не може бути використаний, і алгоритм керування потрібно дискретизувати. ПІД-регулювання в цьому дослідженні використовує дискретний цифровий ПІД-регулятор.

Відповідно до алгоритму дискретного ПІД-регулювання, безперервний час представлено точкою часу вибірки; інтеграл наближено спрощується; а наближений диференціал замінюється зворотною різницею першого порядку, а саме [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = kT (k = 0, 1, 2, \dots) \\ \int_0^t e(t)dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^K e(j) \\ \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

З цього вираз дискретного ПІД можна отримати як:

$$\begin{aligned}
 u(k) &= k_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [(e(k) - e(k-1))] \right\} \\
 &= k_p e(t) + k_i \sum_{j=0}^k e(j) T + k_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T}
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

де $k_i = k_p / T_I$, $k_d = k_p \cdot T_D$,

T – період вибірки;

k – кількість вибірок, $k = 1, 2, \dots, e(k-1)$;

$e(k)$ – сигнали відхилення, отримані в $(k - 1)$ і k разів відповідно.

Метою впровадження інтегральної ланки ПД є головним чином усунення статичної похибки та підвищення точності керування. Однак, коли процес починається, закінчується або значно змінюються налаштування, система матиме велике відхилення за короткий час, що призведе до накопичення інтегрального члена роботи ПД. Це призводить до того, що величина керування перевищує граничну величину дії максимального діапазону дії, який може дозволити привод, що спричиняє значне перерегулювання системи та навіть коливання системи [7].

Велике збільшення похибки інтегральної ланки має велику величину, оскільки інтегратор задовольняє таку формулу:

$$K_I \int_0^t e(t) dt \tag{3.5}$$

Його дискретизована форма виражається так:

$$K_I \sum_{i=1}^k e(i) \Delta t \tag{3.6}$$

З наведеної вище формули можна зробити висновок, що зі збільшенням часу щоразу накопичується велика похибка $e(i)$, що дозволяє легко викликати інтегральне насичення та створити велику помилку. Коли помилка починає ставати від'ємною, незважаючи на те, що інтегральна ланка починає накопичувати від'ємні числа, і оскільки попереднє значення ланки накопичення інтегратора занадто велике, PID все ще підтримуватиме великий вихід протягом певного періоду часу, спричиняючи проходження великої системи коригування. Нарешті створюється ситуація, показана на рис. 3.2.

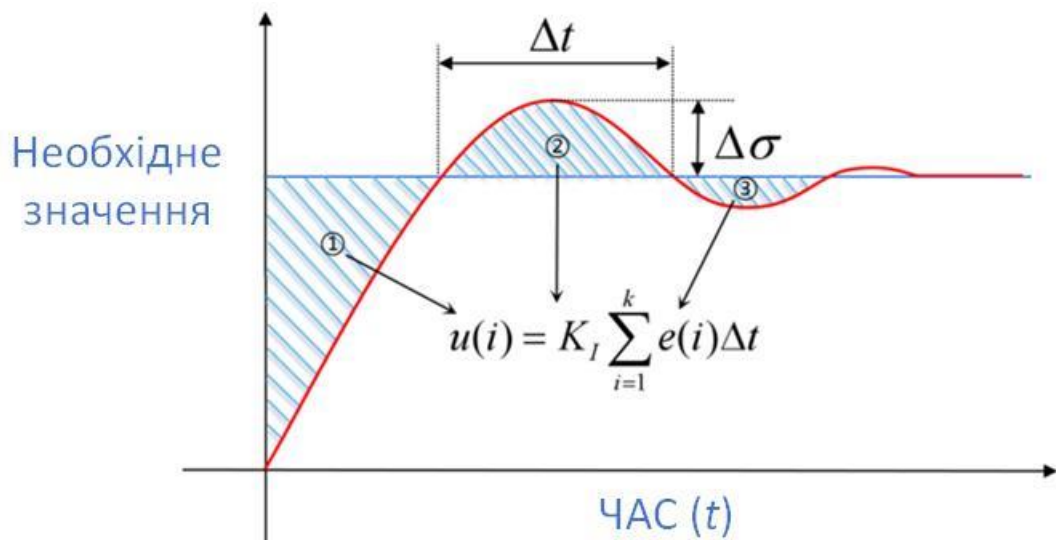


Рисунок 3.2 Інтегральне насичення впливає на принцип перерегулювання системи [7].

Згідно з рис. 3.2, роль інтегральної ланки в основному існує в тристадійному процесі. На стадії наростання буде велика зміна помилки, тому інтегратор накопичує велике значення. Область заштрихованої частини в 1 на рис. 3.2 представляє накопичене значення інтегратора. При вході в ланку перевищення 2 через існування попередньої цілісної ланки система продовжуватиме накопичуватися протягом певного періоду часу. Коли інтеграл виходить із насичення та переходить у стадію 3 коливань, інтегральна ланка починає позитивно впливати на налаштування системи, усуваючи помилку в стаціонарному стані та сприяючи досягненню вихідного сигналу системи встановленого значення.

Можна зробити висновок, що коли інтегратор усуває похибку стаціонарного стану, якщо виникає явище інтегрального насичення, це спричинить великі помилки системи; швидкість зміни зворотного регулювання стане меншою. Тому, щоб запобігти створенню ПІД-регулятором інтегрального насичення, необхідно вдосконалити алгоритм ПІД-регулювання, щоб відповідати вимогам системи керування жаткою.

3.2. Удосконалення системи ПІД-регулювання.

У звичайному алгоритмі ПІД-регулювання, оскільки інтегральний коефіцієнт K_I є постійним, інтегральний приріст у ланці керування залишається незмінним. У системі керування наземним профілем, яка часто вимагає точного налаштування жатки під час високошвидкісних операцій збирання врожаю, вимога до інтегрального члена полягає в тому, що ефект інтегрального члена повинен бути послаблений або навіть відсутній, коли відхилення системи є занадто великим і потребує посилення, коли відхилення мале. Тому те, як змінити інтегральну швидкість, відповідно до відхилення системи, є важливою частиною системи керування жаткою.

Ідея розробки алгоритму керування в цьому дослідженні полягає у зміні сукупної швидкості інтегрального члена в PID, щоб вона змінювалася синхронно з відхиленням. Чим більше відхилення, тим повільніше інтеграція, і навпаки. Для цього встановлюється коефіцієнт $f(e(k))$, який є функцією $e(k)$. Коли $|e(k)|$ збільшується, $f(e(k))$ зменшується, і навпаки. Таким чином, вираз його інтегрального члена PID є:

$$u_i(k) = k_I \left\{ \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \int [e(k)] e(k) \right\} T \quad (3.7)$$

Відношення між $f(e(k))$ і $|e(k)|$ встановлюється як:

$$\int [e(k)] = \begin{cases} 1, (|e(k)| \leq B) \\ \frac{A - |e(k)| + B}{A}, (B < |e(k)| \leq A + B) \\ 0, (|e(k)| > A + B) \end{cases} \quad (3.8)$$

Значення $f(e(k))$ змінюється в інтервалі $[0, 1]$. Коли $|e(k)|$ більше заданого інтервалу поділу, $A + B$, $f(e(k)) = 0$ зупиняє накопичення поточного значення $e(k)$.

Таким чином, новий алгоритм ПД з покращеним інтегральним членом є:

$$u(k) = k_P e(k) + k_I \left\{ \sum_0^{k-1} e(i) + \int [e(k)] e(k) \right\} T + k_D [e(k) - e(k-1)] \quad (3.9)$$

Після дискретизації тієї самої передатної функції порівняння ступінчастої реакції одиниці між покращеним ПД і звичайним ПД показано на рис. 3.4. На рисунку на лівій осі координат видно, що вдосконалений час налаштування наростання ПД значно нижчий, ніж звичайне традиційне ПД-регулювання. Відповідно до відображення осі Y праворуч, коефіцієнт покращеного інтегрального члена ПД дорівнює 0, коли різниця $e(k)$ між цільовим значенням і фактичним значенням є найбільшою та збільшується, коли $e(k)$ зменшується, тоді як традиційний інтегральний коефіцієнт ПД залишається незмінним.

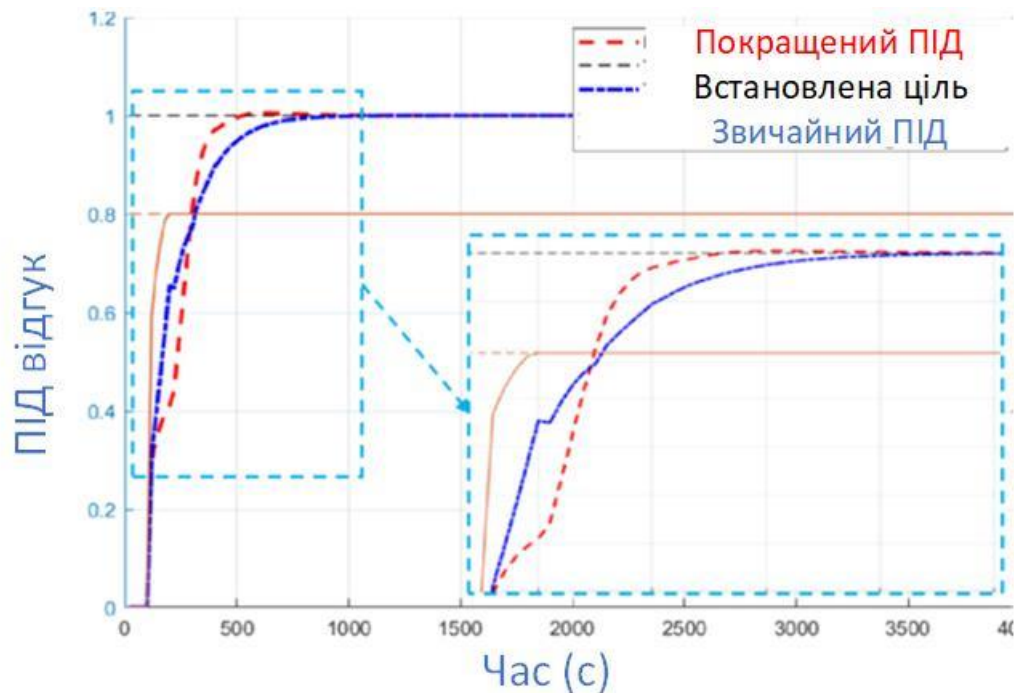


Рисунок 3.4. Порівняння нового ПІД після інтегрального вдосконалення з традиційним ПІД.

3.3. Врахування швидкості агрегату.

При фактичній збиральній операції комбайна швидкість збирання зазвичай становить 5–11 км/год, відповідно до різних завдань. Різні швидкості збирання мають різні вимоги до часу відгуку регулювання жатки. Під час роботи на високій швидкості жатка повинна мати швидку реакцію на регулювання, але при роботі на низькій швидкості надмірно висока чутливість реакції жатки може пошкодити механічний привід жатки. Тому під час виконання роботи необхідно розділити зони високої, середньої та низької робочої швидкості відповідно до різних швидкостей агрегату та встановити різні пропорційні, інтегральні та диференціальні параметри для кожної області.

Ця зміна швидкості роботи зовнішнього моніторингу відповідає параметрам ПІД та вдосконаленому методу ПІД, який внутрішньо змінює інтегральний коефіцієнт $f(e(k))$ на основі різниці $e(k)$. Принцип структури його алгоритму керування показаний на рис. 3.5.

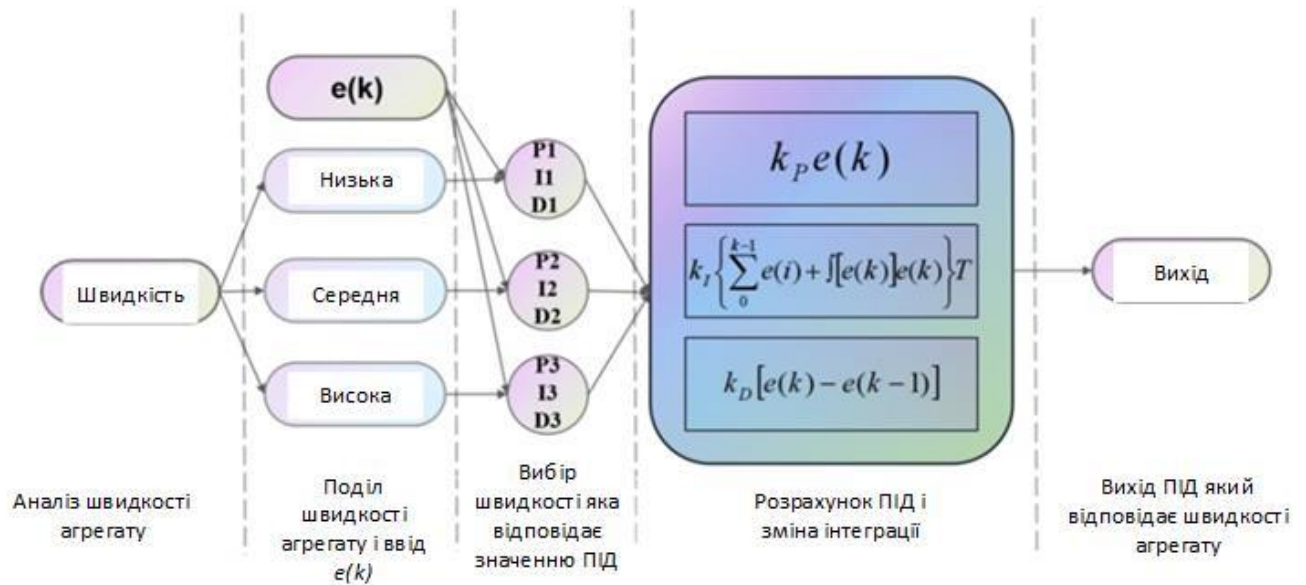


Рисунок 3.5 Принцип вдосконаленої структури алгоритму керування ПІД.

Коли різниця між фактичною висотою жатки та необхідною висотою дуже мала, система керування все ще матиме вихідний сигнал. Щоб забезпечити стабільність системи керування, коли фактична висота жатки близька до встановленої, і уникнути вібрації висоти жатки до вдосконаленої системи керування ПІД додано нову стратегію керування. Якщо різниця між фактичною висотою жатки та необхідною висотою становить менше 15 мм, система завершує коригування за замовчуванням і коригування не продовжуватиметься. В іншому випадку буде виконано налаштування наступного програмного циклу:

$$\begin{cases} \text{Удосконалений ПІД} - \text{Існуючий ПІД} = 0(e(k)) \leq 15 \text{ мм} \\ \text{Удосконалений ПІД} - \text{Існуючий ПІД} = u(k)(e(k)) > 15 \text{ мм} \end{cases}$$

3.4 Висновки до розділу.

1. Проаналізовано принцип роботи та недоліки стандартного ПД регулювання, стосовно умов роботи зернозбирального агрегату та визначено напрямки його вдосконалення.

2. Проведено удосконалення системи ПД-регулювання, що дозволило знизити час реагування системи на зовнішні збурення.

3. Вдосконалено алгоритм керування ПД, який дозволяє враховувати поступальну швидкість руху агрегату в межах 5-11 км/год та уникнути вібрації жатки забезпечуючи при цьому максимальне відхилення від заданої висоти стерні в межах 15 мм.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення.

Охорона праці в нашій державі базується на пріоритеті життя і здоров'я працівників, повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці, комплексного розв'язання завдань з охорони праці на основі національних програм цих питань та з урахуванням інших напрямків економічної та соціальної політики, соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань, встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств незалежно від форм власності і видів їх діяльності, здійснення навчання населення професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників, міжнародного співробітництва в галузі охорони праці, використання світового досвіду в організації роботи щодо поліпшення умов і безпеки праці.

Для сучасного сільськогосподарського виробництва характерним є також вплив на організм людини різних технічних, хімічних, біологічних факторів. До цього спричиняє застосування машин і механізмів, енергетики, матеріалів і речовин, значні рівні шуму, вібрації, електромеханічні, інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання, а також забрудненість повітря робочої зони.

4.2 Особливості охорони праці в сільському господарстві.

Перехід багатьох галузей сільського господарства на індустріальну, промислову основу, удосконалення технології виробництва основних видів продукції рослинництва і тваринництва, супроводжувались появою виробничих факторів, які при певних умовах можуть викликати розвиток професійних

захворювань у працюючих.

В даній роботі професійні захворювання класифікували по статистичному принципу з врахуванням характеру причини, що викликала захворювання. У працівників всіх галузей сільського господарства можуть бути виявлені професійні захворювання викликані дією:

- фізичних факторів (вібраційна хвороба, захворювання нервовосерцевого та кістково-суглобного апарату);

- концентрацій пилу (пиловий бронхіт та інші);

- хімічними речовинами, що використовуються в даному технологічному процесі (гострі та хронічні отруєння пестицидами, мінеральними добрива та інші);

- біологічних факторів (інфекційні, алергічні та інші). Вплив несприятливих виробничих факторів в рослинництві. Основними несприятливими факторами при роботі на самохідних машинах (тракторах, автомобілях, комбайнах) є вібрація і шум, високі та низькі температури, підвищена концентрація пилу в зоні дихання, вимушена робоча поза, значні фізичні навантаження. Трактористи, водії машин, допоміжні працюючі (причіпники) підлягають особливо високим рівням вібрації, яка тривала по дії, силі та чистоті. Джерелом її є ходова частина і двигун. Вібрація через коробку передач та систему кріплення передається на робоче місце, крісло та органи управління агрегатом. Мікрокліматичні умови в кабінетах тракторів не завжди відповідають гігієнічним нормативам. Більшу частину робочого часу механізатори при роботі в літній період, для зниження температури повітря в кабінеті змушені відкривати вікна і двері, а це відповідно підвищує ступінь запилення на робочому місці. В процесі виконання різноманітних робіт механізатори та інші працюючі постійно контактують з великою кількістю хімічних речовин (пестицидами, мінеральними добривами, паливо-мастильними матеріалами, вихлопними газами), які несприятливо впливають на стан їхнього здоров'я. Значні фізичні навантаження являються основними несприятливими виробничими факторами в більшості процесів сільського господарства. Вплив несприятливих виробничих факторів в тваринництві. Основними виробничими

небезпеками, які впливають на збільшення захворюваності і травматизму являється великі фізичні навантаження обслуговуючого персоналу при виконанні технологічних процесів в тваринництві і незадовільному стану мікроклімату в приміщеннях.

Важливу роль в попередженні розвитку професійних і загальних захворювань у працюючих всіх сфер господарювання, відіграють профілактичні медичні огляди, основним завданням яких (особливо при зарахуванні на роботу) відіграють раціональний вибір професій, який проводять з врахуванням конкретних умов праці, даних про фізичний стан працюючого, а також медичних протипоказань до виконання робіт в певній професії. Широке запровадження в усіх галузях сільського господарства індустриальних технологій, автоматизації і комплексної механізації виробничих процесів, концентрація виробничих ресурсів, облегшує працю, створює додаткові можливості для подальшого оздоровлення умов праці і побуту, для покращення медичного обслуговування працівників всіх сфер сільського господарства.

4.3 Розробка заходів охорони праці при збиранні зернових.

Для запобігання процесів виникнення травм під час збирання зернових 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 зернозбиральним 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.

4.4 Висновки до розділу.

Таким чином, розглянуто особливості охорони праці в сільському господарстві та розроблено засоби охорони праці при збиранні зернових культур, враховуючи процеси експлуатації та технічного обслуговування зернозбиральних машин.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

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 культивації), 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. 5.1.

Таблиця 5.1 - 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:

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

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:

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

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

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

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

для базового варіанту:

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

для нового варіанту:

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

Вартість паливно-мастильних матеріалів дорівнює:

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

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

Q_{Π} – витрата палива, кг/га.

для базового варіанту:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

Для базового варіанту:

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

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:

$$E_n = C - C' = 3472,14 - 3118,86 = 353,28 \text{ грн/га.} \quad (5.6)$$

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:

$$E_p = E + E_n \cdot \Delta B, \quad (5.7)$$

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 удосконалення:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E_p} = \frac{150000}{163813,30} \approx 1 \text{ роки} \quad (5.8)$$

Складові витрати коштів на збирання подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - 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.

ВИСНОВКИ

1. Огляд інформаційних джерел показав важливість впровадження в зернозбиральних машинах засобів автоматизації процесу роботи для зменшення втрат врожаю, збільшення продуктивності таких машин та зменшення робочого навантаження на операторів комбайнів. Огляд існуючих систем встановлення та регулювання положення жатки показав, що в багатьох існуючих машинах є впроваджено автоматичні засоби регулювання цього процесу, що робить їх більш зручними у використанні, але такі машини мають більшу вартість. Машини ж меншої вартості, або застарілі машини в основному мають ручне встановлення висоти жатки, що зменшує можливості оператора реагувати на зміни умов роботи комбайна. Тому дослідження спрямовані на впровадження засобів автоматичного регулювання положення жатки є актуальними.

2. Розроблено механізм профілювання ґрунту контактного типу, який складається з копіювального щупа, датчика кута та шарнірної ланки. Та запропоновано використати контролер та пропорційний клапан, який перетворює широтно-імпульсну модуляцію у відповідний струм і впливає на котушку електромагнітного пропорційного клапана, пришвидшуючи таким чином швидкість реагування висоти жатки на зміну рельєфу поля.

3. Проаналізовано принцип роботи та недоліки стандартного ПІД регулювання, стосовно умов роботи зернозбирального агрегату та визначено напрямки його вдосконалення. Проведено удосконалення системи ПІД-регулювання, що дозволило знизити час реагування системи на зовнішні збурення. Вдосконалено алгоритм керування ПІД, який дозволяє враховувати поступальну швидкість руху агрегату в межах 5-11 км/год та уникнути вібрації жатки забезпечуючи при цьому максимальне відхилення від заданої висоти стерні в межах 15 мм.

4. Розглянуто особливості охорони праці в сільському господарстві та розроблено засоби охорони праці при збиранні зернових культур, враховуючи процеси експлуатації та технічного обслуговування зернозбиральних машин.

5. 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. DE BAERDEMAEKER, Josse; SAEYS, Wouter. Advanced control of combine harvesters. IFAC Proceedings Volumes, 2013, 46.18: 1-5.
2.
https://assets.cnhindustrial.com/caseih/emea/EMEAASSETS/Products/Harvesting/Axial-Flow-250-Series/Brochures/18c2004ukr_axialflow_250_series_bro_fin_low1.pdf
3. Xie, Yangmin & Alleyne, A.G. & Greer, Ashley & Deneault, Dustin. (2010). Header Height Control of a Combine Harvester System. ASME 2010 Dynamic Systems and Control Conference, DSCC2010. 1. 10.1115/DSCC2010-4088.
4. Керівництво оператора комбайна New Holland CX 8090. CNH BELGIUM N.V. 2006 р. 264 с.
5. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини; підручник [2-е вид.] / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. – Київ : Каравела, 2008. – 552 с.
6. J.L. Glancey Analysis of Header Loss from Pod Stripper Combines in Green Peas, J . agric . Engng Res .vol 68 ,pp. 1 –10, 1997.
7. YANG, Ranbing, et al. The Design and Experimentation of EVPIVS-PID Harvesters' Header Height Control System Based on Sensor Ground Profiling Monitoring. Agriculture, 2022, 12.2: 282.
8. Zhang, Z. Design and Analysis of Hydraulic Lifting System for Header of Combine Harvester Cutting Table, Qingdao, China. 2019.
9. Siddique, M.A.A.; Kim,W.-S. Effects of Temperatures and Viscosity of the Hydraulic Oils on the Proportional Valve for a Rice Transplanter Based on PID Control Algorithm. Agriculture 2020, 10, 73.
10. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Крушельницький В.В. Мехатроніка. Підручник. – К., 2020. – 404 с.
11. Охорони праці в галузях сільського господарства: Навчально-методичний комплекс. Навчальний посібник для підготовки спеціалістів ступеня «магістр» для всіх напрямків підготовки /М.М. Сакун, І.В. Москалюк, О.О. Атрашкова; А.М. Яковенко; за редакцією Сакуна М.М. – Одеса: Видавництво «ВМВ», 2019. – 458 с.

12. Працехоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.

13. 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.