

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Підвищення ефективності мостової технології в
точному землеробстві шляхом розробки модуля для
агрегативання агромота**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-3-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гуменюк Олексій Олегович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«___» _____ 2025 р.

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

Гуменюку Олексію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності мостової технології в точному землеробстві шляхом розробки модуля для агрегування агромота керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Науковий звіт кафедри ТСГМ за темою 0117U004545. Агроміст довжиною 18 м, загальна потужність електроприводів 4 кВт, висота прогінної частини 1 м.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4) 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В. Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 4.09.2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.09.2025 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 22.10.2025 р.	Виконано
3	Експериментальний	до 12.11.2025 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 21.11.2025р.	Виконано
5	Економічний	до 26.11.2025 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 7.12.2025 р.	Виконано

Студент

_____ Гуменюк О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Бойко В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гуменюк О.О. Підвищення ефективності мостової технології в точному землеробстві шляхом розробки модуля для агрегування агромоста / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Робота присвячена підвищенню ефективності мостової технології в системах точного землеробства шляхом розробки конструктивно вдосконаленого модуля для агрегування агромоста з робочими знаряддями. Основна мета дослідження полягає у створенні універсального вузла, який забезпечує швидке, надійне та автоматизоване приєднання навісного обладнання до мостової машини, що підвищує продуктивність та точність технологічних операцій у полі.

У процесі роботи проведено аналіз сучасного стану мостових систем, визначено їхні конструктивні недоліки та технологічні обмеження. Розроблено принципову схему та конструкцію модуля агрегування, який може застосовуватись із різними типами навісних і причіпних знарядь без потреби у додатковому переналагодженні. Виконано дослідження основних елементів конструкції, оцінено міцність і надійність з'єднання, а також визначено умови ефективної роботи модуля в межах мостової технології.

Використання запропонованого рішення сприяє зменшенню енерговитрат, підвищенню рівня механізації та точності виконання агротехнічних операцій.

На запропоновану конструкцію платформи розроблено заходи з охорони праці.

Економічними розрахунками підтверджено підвищення ефективності вирощування овочів при використанні запропонованої платформи для мостової технології точного землеробства.

Ключові слова: мостова технологія, агроміст, модуль агрегування, точне землеробство, мехатроніка, автоматизація, ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
1.1 Аналіз розвитку та сучасного стану мостової технології в точному землеробстві	12
1.2 Стан розвитку мостової технології в Україні	16
1.3 Проблеми агрегування та аналіз сучасних інженерних рішень	21
1.4 Висновки	28
1.5 Мета і завдання досліджень	28
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	30
2.1 Загальні принципи побудови модуля агрегування	30
2.2 Теоретичні дослідження кінематики механізму піднімання модуля агрегування	38
2.3 Теоретичні дослідження кінематики механізму повороту платформи модуля для агрегування знарядь	45
2.4 Теоретичні дослідження стійкості та жорсткості механізмів модуля агрегування	51
2.5 Висновок	55
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	56
3.1 Мета та завдання експериментальних досліджень	56
3.2 Експериментальний зразок агромоста з розробленим модулем для агрегування знарядь	57
3.3 Методика та результати силових та позиційних досліджень модуля агрегування	60
3.4 Висновки	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	66
4.2 Вимоги безпеки до конструкції модуля агрегування	68
4.3 Заходи з охорони праці при експлуатації агромоста	69
4.4 Пожежна безпека	70
4.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях	71
4.6 Висновки	71
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	72
5.1 Вихідні дані та підхід до розрахунків	72
5.2 Витрати на оплату праці	72
5.3 Витрати на енергоносії	73
5.4 Амортизаційні відрахування та витрати на ремонт	74
5.5 Загальні експлуатаційні витрати та економічний ефект	75
5.6 Висновки	76
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виклики аграрного виробництва – деградація ґрунтів, погодна мінливість, дефіцит кваліфікованої робочої сили та вимоги до сталості – потребують технологій, що одночасно підвищують урожайність і зменшують антропогенний тиск на агроєкосистеми. Однією з найефективніших відповідей є мостова (wide-span/gantry) технологія в поєднанні з концепцією керованого руху техніки постійними коліями (Controlled Traffic Farming, CTF), яка відділяє зони руху від зони росту культур, істотно обмежуючи переущільнення ґрунту [1–3].

Широкозахватні (wide-span) платформи дозволяють принципово скоротити відсоток площі, яка потрапляє під колію: у порівнянні з «класичним» CTF на базі тракторів вони можуть у двічі зменшити площу наїзду та забезпечити більш точне внесення ресурсів у межах стабільної геометрії проходів [1]. Практичні системи на кшталт NEXAT показують, що за відповідної конфігурації до 95% ріллі можуть взагалі не наїжджатися колесами, що захищає ґрунт і створює передумови для максимальної реалізації потенціалу врожайності. Останні інженерні роботи також підкреслюють, що wide-span платформи для Wide-CTF не тільки знижують ущільнення, а й підвищують продуктивність та стабільність технологічних операцій завдяки точному веденню агрегатів [4].

Попри переваги мостової технології, її практична ефективність значною мірою залежить від швидкості, надійності та точності приєднання змінних модулів (ґрунтообробних, посівних, захисту рослин тощо). Традиційна тракторна триточкова навіска еволюціонувала для інших кінематичних умов: її оптимізація здебільшого спрямована на збільшення підйомного зусилля та керованість у складі «трактор–знаряддя», але не враховує специфіки широкопролітних рам, поперечного переміщення й вимоги до високоточної стабілізації положення робочих органів по всій ширині захвату. Дослідження руху й стійкості змонтованих машин у складі wide-span платформ прямо

вказують: для надійного ведення знаряддя потрібен коректний вибір геометрії та компоновки вузла приєднання, що забезпечує достатню кутову «рухливість» технологічної частини без втрати стабільності [3]. Це й зумовлює потребу в спеціальному модулі агрегування, адаптованому до мостових умов.

Сучасні wide-span системи використовують електричні/електрогідравлічні приводні модулі та високоточні системи позиціонування; відповідно вузол агрегування має бути інтегрованим елементом єдиної мехатронної архітектури, здатним: (1) автоматизувати процес зчеплення/розчеплення; (2) жорстко фіксувати положення знаряддя з компенсацією коливань; (3) підтримувати цифрові інтерфейси для калібрування й контролю навантажень у реальному часі. Така інтеграція скорочує втрати часу на переналагодження, зменшує людський фактор і піднімає повторюваність технологічних операцій на рівень, що вимагається точним землеробством.

На тлі накопичених знань щодо STF і wide-span платформ усе ще існує прогалина саме в частині стандартизованих рішень агрегування для агромоств: вибір кінематичних схем, умови стійкості технологічної частини, адаптація до великих прольотів, компенсація крутильних коливань і інтеграція датчиків навантаження/положення для керування в замкнених контурах. Відомі дослідження триточкових систем дають корисні інженерні підходи (оптимізація геометрії, підвищення підйомного зусилля, інструментування зворотним зв'язком), але їх потрібно переосмислити під специфіку мостових шасі, де домінують поперечні схеми руху, великі робочі ширини, а вимоги до планарної жорсткості та точності позиціонування зростають кратно.

На перетині глобальних вимог до сталості та локальних потреб підвищення ефективності українського АПК мостова технологія з універсальним модулем агрегування забезпечить підвищення ефективності та реалізації всіх конструктивних можливостей мостової машини в агрегаті з навісними знаряддями

Метою роботи є підвищення ефективності мостової технології в точному землеробстві шляхом розробки універсального модуля для агрегування агромоста з робочими органами різного призначення, що забезпечує надійне, швидке та автоматизоване приєднання знарядь із мінімальними втратами часу і підвищеною точністю позиціонування.

Завдання кваліфікаційної роботи.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати такі основні завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану мостових машин і технологій агрегування у системах точного землеробства.
2. Визначити основні конструктивні, технологічні та експлуатаційні недоліки існуючих систем навіски та зчеплення в мостових платформах.
3. Розробити конструкцію універсального модуля агрегування, адаптованого до специфіки мостового руху та різних типів навісного обладнання.
4. Виконати аналітичні та експериментальні дослідження основних елементів модуля.
5. Розробити структурну схему мехатронної системи керування агрегуванням і визначити принцип її функціонування.
6. Провести оцінку ефективності впровадження розробленого модуля у виробничих умовах мостового землеробства та визначити його економічну доцільність.

Об'єктом дослідження є мостова технологія точного землеробства та процес агрегування робочих органів з мостовою платформою для виконання технологічних операцій у польових умовах.

Предметом дослідження Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри та принципи роботи модуля агрегування агромоста,

що впливають на ефективність його функціонування, точність з'єднання, стабільність положення робочих органів і зручність експлуатації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у:

- розробленні конструктивної схеми універсального модуля агрегування для мостової машини, який поєднує механічну, гідравлічну та електронну складові в єдину мехатронну систему;
- запропонованні методики вибору геометричних і кінематичних параметрів вузла з урахуванням особливостей руху широкозахватних мостових платформ;
- обґрунтуванні інженерних рішень, що забезпечують автоматизацію процесу приєднання навісних знарядь і зниження впливу людського фактора;
- встановленні закономірностей взаємодії агрегованого модуля з системою позиціонування агромоста, що дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій.

Практичне значення кваліфікаційної роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості впровадження розробленого модуля агрегування у конструкції мостових машин для точного землеробства.

Розроблені технічні рішення можуть бути використані при модернізації існуючих мостових машин або при створенні нових зразків техніки, орієнтованих на концепцію точного землеробства та автономних агротехнологій.

Апробація. Гуменюк О.О. Механізм агрегування для мостової машини. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2025.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз розвитку та сучасного стану мостової технології в точному землеробстві

Ідея відокремлення зони руху техніки від зони росту культур з'явилася не в наш час – її перші прототипи можна побачити ще в ХІХ столітті, коли розпочався активний пошук ефективніших методів механізації сільського господарства. В епоху панування парових двигунів інженери намагалися зменшити руйнування ґрунту важкими агрегатами та підвищити коефіцієнт корисної дії енергії пари. Одним із найцікавіших прикладів став проект англійського винахідника Олександра Халкета (Alexander Halkett), який у 1880-х роках створив першу в світі парову сільськогосподарську машину мостового типу (рис. 1.1).

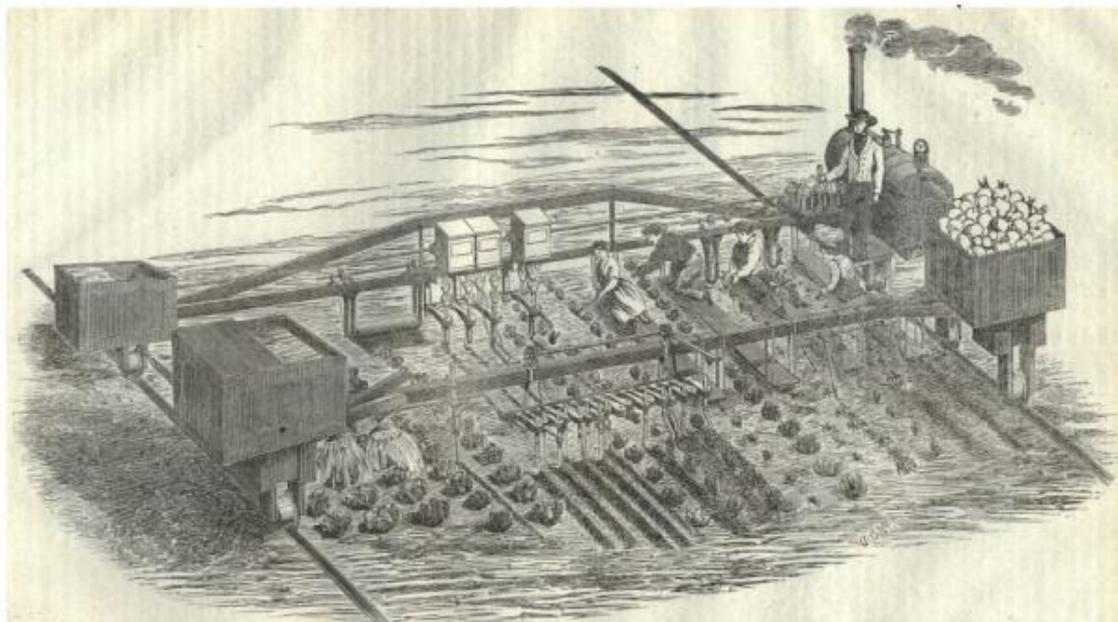


Рисунок 1.1- Парова машина Халкета мостового типу

Машина Халкета була спроектована як металевий міст на високих рамах, що перекривав широку смугу поля завширшки близько 12 метрів. Вздовж обох країв поля прокладалися рейкові доріжки, по яких пересувалися опорні візки

машини. З одного з боків встановлювався котел із паровою машиною, яка через троси або механічні передачі приводила в рух ґрунтообробні знаряддя, що підвішувалися до мостової конструкції. Таким чином, техніка рухалася по краях поля, а вся центральна частина залишалася недоторканою колесами або гусеницями. Халкет фактично запропонував ідею, яку через понад сто років назвуть мостовою технологією (bridge farming system) та Controlled Traffic Farming – контрольованим рухом техніки по сталих коліях [1].

Попри технічну новизну, машина Халкета не набула масового поширення через високу вартість і недосконалість матеріалів. Втім, її концепція – рух по рейках і повне звільнення центральної зони поля від транспорту – виявилася настільки прогресивною, що стала основою для майбутніх пошуків оптимальної механізації в землеробстві. Сьогодні Олександра Халкета можна вважати першим практичним розробником мостового енергетичного модуля у сільському господарстві.

На початку ХХ століття з поширенням колісних тракторів і зростанням потужності двигунів проблема ущільнення ґрунтів набула глобального характеру. Багаторічні дослідження вчених засвідчили, що повторне переїзджання по полю призводить до порушення структури ґрунту, зменшення його пористості та зниження врожайності до 30 % [2]. Реакцією на цю проблему стала ідея керованого руху техніки постійними коліями (СТФ), яка з'явилася у Великій Британії в 1960-х роках. Її розвивав дослідник Д. Довлер, який довів, що за рахунок обмеження зони руху до 10–15 % площі можна зберегти структуру орного шару та зменшити енерговитрати на обробіток на 25–30 % [1]. За результатами сформованих ідей Довлер створює порталний трактор який до цього часу експлуатується та пройшов чотири модернізації на рисунку 1.2 наведено останню модифікацію.



Рисунок 1.2 – Портальний трактор Dowler

Система СТФ передбачає виконання всіх агротехнічних операцій по одних і тих самих доріжках із високою точністю позиціонування. Традиційно таку точність забезпечують GPS-навігаційні системи з RTK-корекцією, які дозволяють отримати похибку не більше ± 2 см. Однак навіть за точного наведення звичайні трактори мають обмеження: вони рухаються послідовно знаряддями різної ширини захвату, що створює невідповідність колій під час посіву та збирання. Це порушує структуру ґрунту навіть у СТФ-системі. Саме тут повертається ідея мостової машини Халкета – рухатися не по всьому полі, а по двох постійних лініях, перекриваючи широкий проліт.

У другій половині ХХ ст. з'явилися нові спроби втілення мостових платформ. У 1970-х роках британські інженери створили дослідні зразки «gantry tractor» – механічних рамних машин з шириною захвату 10–18 м, які рухались на високих опорах і могли нести різне знаряддя для обробітку ґрунту або збирання врожаю. У 1980-х роках у США та Нідерландах почали випробовувати роботизовані ферми, де по сталих рейках пересувалися платформи з механічними знаряддями для догляду за рослинами. Попри певний інтерес, тодішній рівень електроніки та навігації ще не дозволяв повністю реалізувати переваги мостової технології.

Ситуація кардинально змінилася на початку ХХІ століття, коли з'явилися точні супутникові системи, електрогідравлічні приводи та цифрові модулі керування. У цей період в агромашинобудуванні почали знову звертатися до ідей Халкета, але на сучасному технічному рівні. Найвідомішим прикладом стала

німецька система NEXAT (рис. 1.3), створена як повнофункціональна модульна платформа для виконання всіх технологічних операцій у сільському господарстві [4]. Платформа NEXAT рухається по постійних коліях і здійснює обробіток поля через змінні модулі, що встановлюються на центральну раму. Кожен модуль має власний енергетичний і гідравлічний привід, а система керування координується єдиним контролером. У результаті до 95 % поверхні поля залишається вільною від колісного тиску, що суттєво покращує фізико-механічні властивості ґрунту.



Рисунок 1.3 – Системний трактор NEXAT

Традиційна аграрна механізація ґрунтується на використанні окремих енергетичних засобів (тракторів) із навішеними знаряддями. Таке рішення гнучке й поширене, але має ряд недоліків – високий тиск на ґрунт, неоднорідність глибини обробітку та значну кількість проходів. Згідно з даними FAO, у глобальному масштабі щороку через ущільнення ґрунтів втрачається до 1,5 млрд тонн урожаю [2]. Мостова ж технологія завдяки сталім коліям зменшує площу трамбування у декілька разів та сприяє відновленню біологічної активності ґрунту. Крім того, широкопротітні платформи дозволяють підвищити продуктивність праці за рахунок збільшення ширини захвату та скорочення часу на розвороти й переналадження.

Порівняльні дослідження показали, що за однакових потужностей енергетичного модуля мостова платформа виконує до 20–25 % більший обсяг робіт за зміну, ніж трактор із традиційним агрегатом [3]. Також спостерігається зменшення питомих витрат палива на 1 га до 0,8–1,2 разів, що в умовах зростання вартості енергоносіїв має важливе економічне значення.

Сучасна мостова технологія є невід'ємною частиною концепції точного землеробства, що базується на використанні цифрових інформаційних систем, сенсорики та автоматичного керування. У платформах нового покоління застосовуються електрогідравлічні розподільники, датчики положення та навантаження, модулі машинного зору та автоматичні системи зчеплення з робочими органами. Ці елементи утворюють єдину мехатронну архітектуру, що підвищує точність позиціонування та зменшує людський фактор [3; 5].

Використання електронних систем дозволяє оператору керувати всім процесом із кабіни або взагалі здійснювати дистанційне управління. Наприклад, у NEXAT заміна модуля обприскувача на модуль сівалки виконується автоматично за кілька хвилин завдяки системі гідрозчеплення та електронній синхронізації приводів. Такі рішення дають змогу зменшити кількість допоміжних операцій та забезпечити максимальну продуктивність агромота в межах одного сезону.

1.2 Стан розвитку мостової технології в Україні

В українському аграрному машинобудуванні ідея мостових систем поки знаходиться на етапі наукових досліджень і експериментального моделювання. Однак з урахуванням актуальних тенденцій та потреб вітчизняного АПК розвиток такої техніки є надзвичайно перспективним.

Українські дослідники звертають увагу на можливість створення мостових платформ із живленням від сонячних панелей та акумуляторних батарей, що дозволить знизити енергетичні витрати і зменшити залежність від паливних

ресурсів. Такі платформи можуть стати основою для розвитку енергоавтономного точного землеробства, у якому всі агротехнологічні операції виконуються в єдиному цифровому циклі з мінімальним втручанням людини. Також відомо використання мостового типу машин (рис. 1.4) в Дніпропетровській області на збиранні огірків де актуальним являється питання усунення травмування вегетаційної частини рослин, тому використання таких мостових платформ дозволяє розмістити до 22 збирачів на ній та вирішити цю проблему.



Рисунок 1.4 – Мостова платформа для збирання продукції овочівництва

Починаючи з кінця ХХ століття, дослідження у цьому напрямі активно проводилися в ННЦ інституті механізації та електрифікації сільського господарства, Дніпровському державному аграрно-економічному університеті, Таврійському державному агротехнологічному університеті ім. Дмитра Моторного, а також у низці галузевих наукових інститутів.

Значний внесок у розвиток теоретичних основ мостових і порталних технологій зробили українські вчені – професори В.І. Кувачов, В.Т. Надикто, В.Ф. Булгаков, В.О. Улексін та їхні наукові школи, які сформували цілісний напрям сучасної системної механізації в аграрному секторі [6, 7].

Улексін Василь Олексійович одним із перших у своїх працях звернув увагу на потребу мінімізації техногенного навантаження на ґрунт при роботі важкої техніки. Ним було обґрунтовано концепцію енергозберігаючої експлуатації машинно-тракторних агрегатів та визначено закономірності впливу ущільнення на агрофізичні властивості ґрунту.

Його дослідження створили наукову базу для подальшого переходу від класичних схем обробітку до технологій Controlled Traffic Farming (CTF), що передбачають використання постійних колій.

Професори В. П. Кувачов та В. Т. Надикто разом із науковим колективом сформувавши теоретичні основи мостового землеробства, у межах яких запропонували принципово нову конструктивну концепцію машинних комплексів – із розділенням ходової та робочої систем. Відповідно до цієї ідеї створюються агромости, що пересуваються над поверхнею поля та виконують технологічні операції, не порушуючи структуру ґрунту. У своїх дослідженнях В.Т. Надикто наголошував, що така технологія забезпечує геометричну стабільність поля, можливість диференційованого внесення ресурсів і повне усунення колійного ущільнення, що є ключовою передумовою підвищення ефективності точного землеробства.

Вагомий внесок у розвиток наукових засад мостової механізації зробив професор В. М. Булгаков, який досліджує механіку ґрунтових процесів та оптимізацію взаємодії робочих органів із орним шаром. У його роботах обґрунтовано кінематичні й динамічні моделі машин для точного землеробства, а також розглянуто системи автоматичного регулювання положення робочих елементів, що стали підґрунтям для створення адаптивних мостових агрегатів нового покоління.



Рисунок 1.5 – Портальна мостова машина для закритого овочівництва
ТДАТУ

Помітний практичний внесок у становлення української школи мостової механізації здійснив кандидат технічних наук, доцент Василь Олексійович Улексін (ДДАЕУ). Його дослідження були спрямовані на розроблення координатно-транспортної системи землеробства, у якій усі технологічні процеси виконуються в межах фіксованих колій. Такий підхід дозволяє синхронізувати рух енергетичних і робочих засобів, мінімізувати повторне ущільнення ґрунту та підвищити точність механізованих операцій.

Під керівництвом В. О. Улексіна у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті було створено ряд експериментальних стендів і макетів, призначених для перевірки працездатності мостової технології в польових умовах. Наукову спадщину Василя Олексійовича продовжили молоді дослідники університету, розвиваючи напрям самохідних колісно-рейкових платформ і мобільних мостових машин для точного землеробства.

Одним із практичних результатів діяльності цієї наукової школи стало створення експериментальної мостової машини, призначеної для дослідження автоматизованих технологічних процесів обробітку рослин у межах координатно-транспортної системи поля. Ця машина стала базовою моделлю для подальших експериментів українських агроінженерів у напрямі автоматизації

транспортних і технологічних операцій в овочівництві та заклала основу для майбутніх розробок мостових агрегатів нового покоління.

На рисунку 1.6 наведено загальний вигляд експериментальної установки, розробленої в ДДАЕУ [8]. Вона складається з металевої ферми (4), що спирається на опорні візки (2, 6), які рухаються по рейкових напрямних (1, 3). Конструкція передбачає силовий блок (8) з електроприводом і системою керування, а також кабельну систему живлення (7).

У центральній частині ферми встановлено змінний робочий модуль (9), який може виконувати різні операції – від підживлення та сівби до обприскування й збирання врожаю.

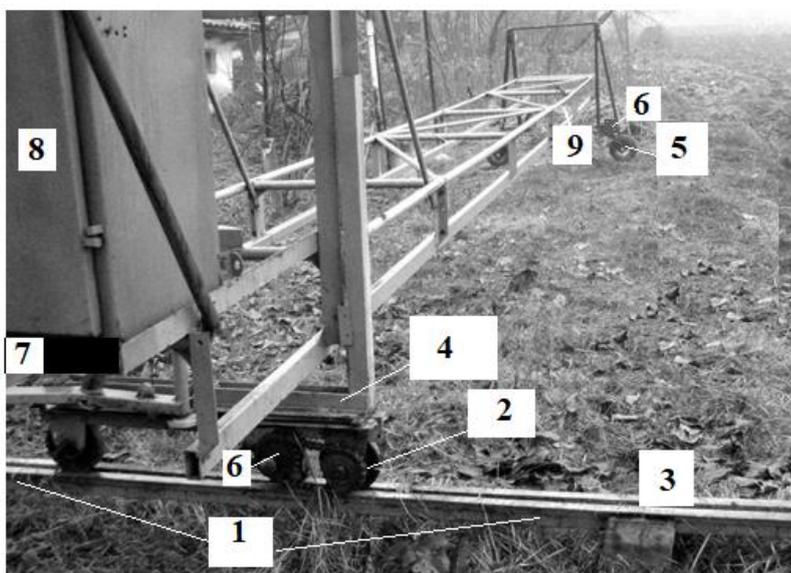


Рисунок 1.6. Експериментальна мостова машина ДДАЕУ

Машина рухається вздовж рейкової колії, виконуючи технологічні операції над посівами без контакту з ґрунтом, що дозволяє уникнути його переущільнення. Рейкова база забезпечує стабільність руху навіть за нерівного мікрорельєфу, а точність позиціонування робочих органів становить кілька міліметрів.

Результати випробувань, проведених на дослідному полі університету, підтвердили ефективність роботи цієї системи, зокрема рівномірність обробітку, зниження витрат енергії та підвищення якості технологічних операцій.

Використання подібних установок дозволяє здійснювати повний цикл агротехнічних робіт із мінімальним втручанням людини, що є одним із головних напрямів розвитку інтелектуального землеробства. Відповідно до сучасних тенденцій, такі системи можуть бути об'єднані у єдину координатно-транспортну мережу, у якій мостові машини, сенсорні комплекси, дрони й автоматизовані платформи взаємодіють як частини спільної інформаційно-керованої екосистеми.

Таким чином, українські вчені сформували міцний науковий фундамент для подальшого розвитку мостових і порталних машин. Їхні напрацювання є не лише історично важливими, а й практично актуальними в контексті переходу аграрного сектору до сталих, енергоефективних і точних технологій обробітку ґрунту.

1.3 Проблеми агрегування та аналіз сучасних інженерних рішень

Одним із ключових завдань при створенні мостових машин є забезпечення ефективного агрегування робочих органів із несучою фермою або рамою агромоста. У традиційних тракторних системах цю функцію виконує триточкова навіска, проте вона не відповідає вимогам мостової технології, де основними критеріями є точність, синхронність і автономність керування [6].

Механізм агрегування в мостових машинах має не лише передавати зусилля, а й забезпечувати координацію руху робочих органів у межах багатопрохідного циклу. Кожен прохід відбувається вздовж ферми агромоста, після чого система повинна підняти знаряддя з робочими органами, виконати їх розворот на 180° і підготувати до зворотного руху. Одночасно сама платформа агромоста зміщується поперечно – на відстань одного міжряддя або одного рядка, залежно від того, чи виконується посів культур, чи міжрядний обробіток.

Таке поєднання дій – вертикального підйому, розвороту й поперечного зміщення потребує високої точності синхронізації механічної, гідравлічної та

електронної систем. Саме тому модуль агрегування стає ключовою ланкою, яка координує роботу всієї мостової машини, забезпечуючи узгоджений рух робочих органів із траєкторією платформи [8].

Класичні системи агрегування, розроблені для тракторів, не враховують циклічної логіки руху мостових машин. Після кожного проходу вздовж поля трактор зазвичай розвертається сам, тоді як навісне знаряддя залишається орієнтованим у напрямку руху. У мостовій технології таке неможливо, оскільки ферма рухається по рейкових коліях або жорстких доріжках, і саме робочий модуль має виконувати розворот і повторне вирівнювання.

Основні проблеми полягають у тому, що:

- традиційна триточкова навіска не забезпечує автоматичного розвороту робочих органів;
- механічні вузли не розраховані на динамічні навантаження при одночасному підйомі та обертанні,
- відсутня система синхронізації із головним приводом ферми, через що порушується цикл проходів і точність перекриття рядів.

У результаті знижується точність виконання технологічних операцій, а також виникає ризик повторного обробітку або пропуску міжрядь [3]. Для усунення цих недоліків необхідне створення спеціалізованого мехатронного модуля агрегування, який забезпечує підйом, розворот і стабілізацію робочих органів у заданій послідовності.

Кінематичні та динамічні аспекти руху знарядь. Під час роботи мостової машини робочі органи переміщуються у двох координатах: поздовжній – уздовж ферми, і поперечній – між рядами. Для переходу до зворотного проходу знаряддя повинні:

- піднятися з робочого положення, щоб уникнути контакту з ґрунтом;
- повернутися навколо вертикальної осі на 180° ;
- зафіксуватися у новому робочому положенні;
- дочекатися поперечного зміщення ферми агромоста;

- автоматично розпочати роботу в зворотному напрямку.

Для реалізації цього алгоритму модуль агрегування повинен мати дві незалежні системи керування: вертикальний привід підйому (гідравлічний або електромеханічний); обертальний механізм реверсу робочого органу (мотор-редуктор або гідродвигун).

У сучасних концепціях мостових машин передбачено застосування сервоприводів із високоточним кутовим контролем, які синхронізуються з головним контролером руху. Наприклад, при посіві насіння – підйом і обертання здійснюються після завершення останнього проходу ряду, а при міжрядному обробітку – після досягнення кінцевої точки міжряддя. Завдяки цьому зберігається ідеальна геометрія обробки поля.

Кінематичний аналіз показує, що для ширини ферми 18 м і швидкості руху 1,2 м/с час, необхідний на повний цикл «підйом – розворот – спуск», не повинен перевищувати 15–20 с, аби не знижувати продуктивності. Тому особлива увага приділяється оптимізації гідравлічних потоків, плавності зупинки, а також енергетичній ефективності приводу.

Огляд сучасних інженерних рішень. У платформі NEXAT механізм агрегування виконано у вигляді модульного замкового вузла (рис. 1.7), що дозволяє автоматично приєднувати та від'єднувати технологічні модулі без участі оператора.



Рисунок 1.7 – Модуль агрегування системи NEXAT

З'єднання здійснюється через електрогідравлічні замки, які фіксують модуль у трьох площинах і одночасно з'єднують гідравлічні шланги, електричні

контакти та CAN-шину для передачі даних [4]. Це рішення дозволяє змінювати модулі протягом 5–10 хвилин, забезпечуючи високу ефективність роботи машини.

Ще одне інженерне рішення розглянемо наприкладі системи AGROKRUH (Словаччина). Система Agrokruh реалізує іншу концепцію мостової механізації радіальну координатну платформу, що рухається по колу. Агрегатування робочих органів здійснюється через шарнірну систему зі стабілізаторами, які автоматично підтримують сталу глибину обробітку незалежно від положення машини по колу (рис. 1.8). Завдяки цьому досягається точність позиціонування $\pm 1,5$ см при повороті на 360° [9].



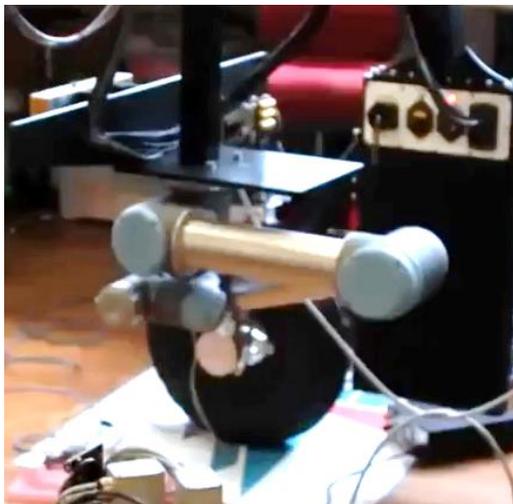
Рисунок 1.8 – Модуль агрегатування системи AGROKRUH

Ladybird – автономна мостова платформа для польових овочевих культур розроблена у Лабораторії польових роботів (Australian Centre for Field Robotics, University of Sydney) під керівництвом професора Сала Суккара. Його основна

мета – виконання точного моніторингу, ідентифікації рослин, догляду за культурами та точкового обприскування без шкоди для ґрунту і посівів.

Конструкція Ladybird реалізує мостовий принцип руху: платформа переміщується на чотирьох великих колесах, рознесених по боках, утворюючи високий кліренс (до 1,5 м). Це дозволяє машині проходити над рослинами, не зачіпаючи їх. Робочі інструменти – мультиспектральні камери, мікродозатори, маніпулятори, лазерні системи видалення бур'янів – розміщуються під центральною рамою. Такий підхід створює “зону точного втручання” без механічного контакту з поверхнею поля.

Модуль-маніпулятор для агрегування Ladybird побудований за принципом плаваючої підвіски (рис. 1.9) [10]. Кожен інструмент встановлюється на незалежній секції, яка може змінювати своє положення у трьох координатах. Завдяки цьому навіть при невеликих коливаннях поверхні ґрунту робочий модуль зберігає сталу відстань до рослин. У поєднанні з лазерними далекомірами та гідроелектричними приводами це забезпечує високу точність обробки – до ± 3 мм, що є рекордним показником для машин такого типу.



a



б

Рисунок 1.9 – Модуль -маніпулятор (а) для агрегування знарядь з платформою Ladybird

Ще однією особливістю є автономне агрегування – кожен робочий орган має власний мікроконтролер і систему швидкого з'єднання з енергетичною шиною. Це дозволяє змінювати інструменти без участі людини: наприклад, після закінчення обприскування робот автоматично під'єднує інше знаряддя наприклад для відбору проб ґрунту чи точкового внесення добрив. Такі маніпуляції виконуються за допомогою модуля-маніпулятора (роботизованої руки), що керується візуальною системою розпізнавання позицій знарядь.

Усі дані обробляються центральним комп'ютером із навігаційною системою RTK-GPS, доповненою стереокамерами. Це дозволяє Ladybird рухатися з похибкою менше 2 см навіть у складних умовах освітлення. Енергетична установка – електрична, з літій-іонними батареями та сонячними панелями на даху корпусу, що робить платформу повністю екологічною та безшумною.

Таким чином, Ladybird стала не лише експериментальною установкою для випробувань мехатронних рішень, але й функціональним прикладом мостової технології у зменшеному масштабі. Її конструкція продемонструвала, що поєднання автономної навігації, сенсорного управління і плаваючої системи агрегування дозволяє виконувати точкові агротехнічні операції без втручання людини.

Окремим напрямом розвитку агрегування є інтеграція сенсорних систем для контролю положення та навантаження. У сучасних платформах використовуються такі компоненти:

- Лінійні потенціометри або енкодери, що визначають висоту і кут нахилу робочого органу;
- Датчики тиску в гідролініях, які дозволяють визначати контактне зусилля;
- Інерційні модулі (IMU), що фіксують вібрації та нахил машини в реальному часі;
- Камери машинного зору, які відстежують рядки посіву та коригують положення інструменту.

Ці елементи об'єднуються в єдину мехатронну систему, де блок керування виконує обробку сигналів і формує коригувальні дії. Наприклад, якщо сенсор виявляє підвищене навантаження на лівий край агрегату, система автоматично регулює гідропотік, вирівнюючи робоче положення. Такий підхід дозволяє зберігати стабільність технологічного процесу навіть на нерівному полі.

Ще однією проблемою яку необхідно врахувати при проектуванні модулів агрегування мостових машин є відсутність стандартів на вузли агрегування. Кожен виробник створює власну систему замків, кріплень, електричних і гідравлічних інтерфейсів. Це обмежує взаємозамінність модулів і підвищує вартість виробництва. У перспективі доцільним є розроблення єдиного міжнародного стандарту агрегування мостових машин, аналогічного ISO 730 (для триточкових навісок тракторів), який регламентуватиме геометрію з'єднання, тиск у гідролініях, типи електричних роз'ємів і протоколи зв'язку.

Окрім технічної сумісності, актуальною залишається проблема діагностики та безпеки при агрегуванні. Наявність автоматичних замків потребує систем контролю правильності фіксації, датчиків стану з'єднання та алгоритмів аварійного роз'єднання у разі перевантаження чи відмови приводу. Такі системи вже частково впроваджуються у високотехнологічних зразках, однак поки залишаються дорогими для серійного виробництва.

Отже процес агрегування в мостових технологіях є не лише з'єднанням несучої конструкції з робочими органами, а повноцінним мехатронним циклом, який включає підйом, розворот і стабілізацію знаряддя після кожного проходу. Такий підхід забезпечує безперервність технологічного процесу та повну відповідність агротехнічним вимогам незалежно від напрямку руху.

Реалізація цього циклу вимагає створення універсального модуля агрегування, який синхронізує рух робочих органів із координатним зміщенням ферми агромоста. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію цього процесу, зокрема на зменшення часу циклу,

підвищення надійності приводу та інтеграцію алгоритмів машинного зору для контролю точності виконання операцій.

1.4 Висновки

1. У результаті аналізу встановлено, що мостова технологія формувалася від перших широкопротітних машин XIX ст. до сучасних мехатронних платформ типу NEXAT, що поєднують принцип Controlled Traffic Farming із цифровими системами керування. Основною перевагою є мінімізація колійного ущільнення ґрунту, підвищення точності технологічних операцій та ефективності використання енергії.

2. Виявлено головні проблеми – недостатня уніфікація вузлів агрегування, потреба у високій точності синхронізації циклів роботи та необхідність інтеграції сенсорних систем для стабілізації знарядь. Вагомий внесок у розвиток мостових систем зробили українські наукові школи, що заклали фундамент для створення енергоавтономних, модульних агромоств. Надалі доцільно зосередити дослідження на вдосконаленні конструкції модуля агрегування й підвищенні точності його взаємодії з мехатронними системами управління.

1.5 Мета і завдання досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності мостової технології в точному землеробстві шляхом розробки універсального модуля для агрегування агромоства з робочими органами різного призначення, що забезпечує надійне, швидке та автоматизоване приєднання знарядь із мінімальними втратами часу і підвищеною точністю позиціонування.

Завдання кваліфікаційної роботи.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати такі основні завдання:

- Провести аналіз сучасного стану мостових машин і технологій агрегування у системах точного землеробства.
- Визначити основні конструктивні, технологічні та експлуатаційні недоліки існуючих систем навіски та зчеплення в мостових платформах.
- Розробити конструкцію універсального модуля агрегування, адаптованого до специфіки мостового руху та різних типів навісного обладнання.
- Виконати аналітичні та експериментальні дослідження основних елементів модуля.
- Розробити структурну схему мехатронної системи керування агрегуванням і визначити принцип її функціонування.
- Провести оцінку ефективності впровадження розробленого модуля у виробничих умовах мостового землеробства та визначити його економічну доцільність.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальні принципи побудови модуля агрегування

Розроблення модуля для агрегування агромота (рис. 2.1) базується на комплексному врахуванні конструктивних, технологічних та експлуатаційних особливостей мостових машин, які істотно відрізняються від традиційних тракторів загального призначення.

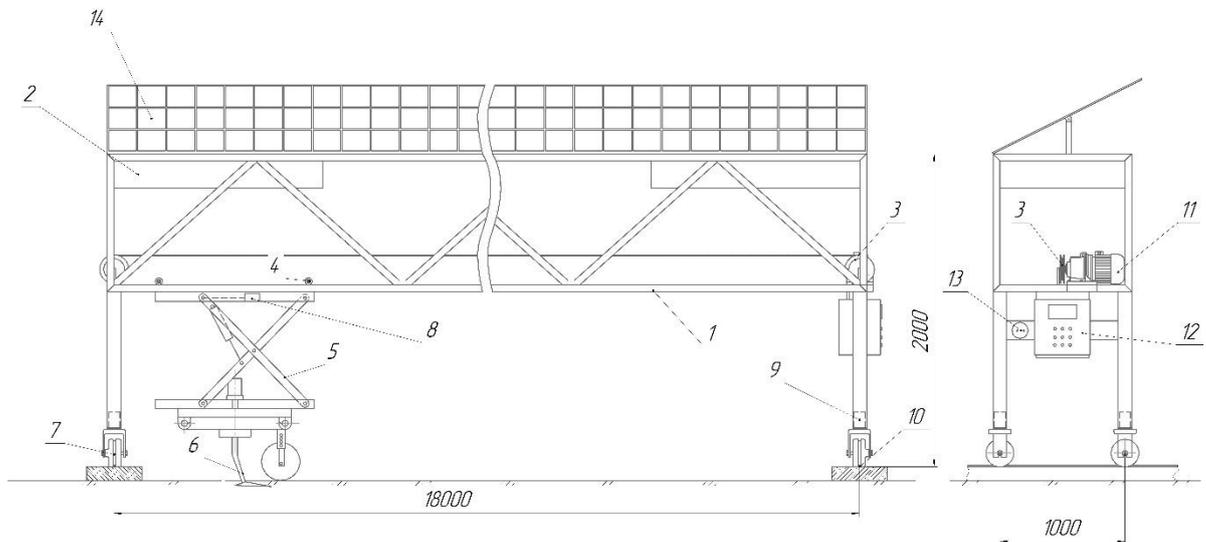


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд мостової машини «Агроміст»

1 – ферма агромота; 2 – блок акумуляторів; 3 – ланцюговий привід каретки; 4 – опорні ролики каретки; 5 – модуль агрегування; 6 – знаряддя (культиватор); 7 – опорні мотор-колеса; 8 – система позиціонування модуля; 9 – поворотний двигун; 10 – напрямні рейки; 11 – електропривід каретки; 12 – шафа керування з енергоблоком; 13 – комутаційний блок підключення зарядного пристрою; 14 – сонячні панелі

Якщо для триточкової навіски трактора характерні локалізовані точки підвіски та робота переважно в поздовжньому напрямі руху агрегату, то в мостовій технології навісний вузол модуль агрегування 5 повинен забезпечувати стійку роботу знаряддя 6 на значній ширині прогону, витримувати значні поперечні навантаження та гарантувати однакове положення

робочих органів по всій площині обробітку [4, 6]. Саме ці вимоги визначають як загальну компоновку, так і вибір кінематичної схеми механізму регулювання по висоті.

Ключовою якістю модуля є універсальність. Він має однаково ефективно працювати з міжрядними культиваторами, підживлювачами, сівалками різних типів, агрегатами для внесення мінеральних добрив і засобів захисту рослин. Для цього підйомна система повинна витримувати широкий діапазон мас навісного обладнання, забезпечувати регулювання висоти в межах, достатніх для роботи на різних фазах вегетації, та мати високу повторюваність положення. Універсальність досягається завдяки поєднанню жорсткої опорної рами, універсальної робочої платформи з адаптером під різні знаряддя та регулюючого механізму, який здатний працювати як у жорсткому, так і в «м'якому» (плаваючому) режимах.

З огляду на зазначені вимоги, одним із принципових конструктивних рішень стало застосування в конструкції модуля агрегування ножичного, або Х-подібного, підйомного механізму (рис. 2.2) в поєднанні з гідравлічним приводом. Ножичний механізм завдяки симетричній геометрії створює рівномірну опорну систему для платформи, забезпечує високий запас міцності та жорсткості при відносно малій власній масі, а також зручний для компонування в обмеженому просторі каретки агромоста. Гідропривод, своєю чергою, дає змогу реалізувати різні алгоритми роботи: піднімання, опускання, плаваючий режим, фіксоване положення та нейтраль, а за потреби – інтегрувати ці режими в електронну систему керування агромостом [2; 9].

Специфіка мостової технології зумовлює додаткові вимоги до модуля агрегування. Агромоост переміщується по сталих коліях на високих опорах, тоді як навісне обладнання розташовується в центральній частині прогону, що може сягати 18 м і більше. Унаслідок цього значно зростають пролітна довжина вузла, крутильні навантаження на раму та рівень поперечних коливань, спричинених нерівностями поверхні поля [7].

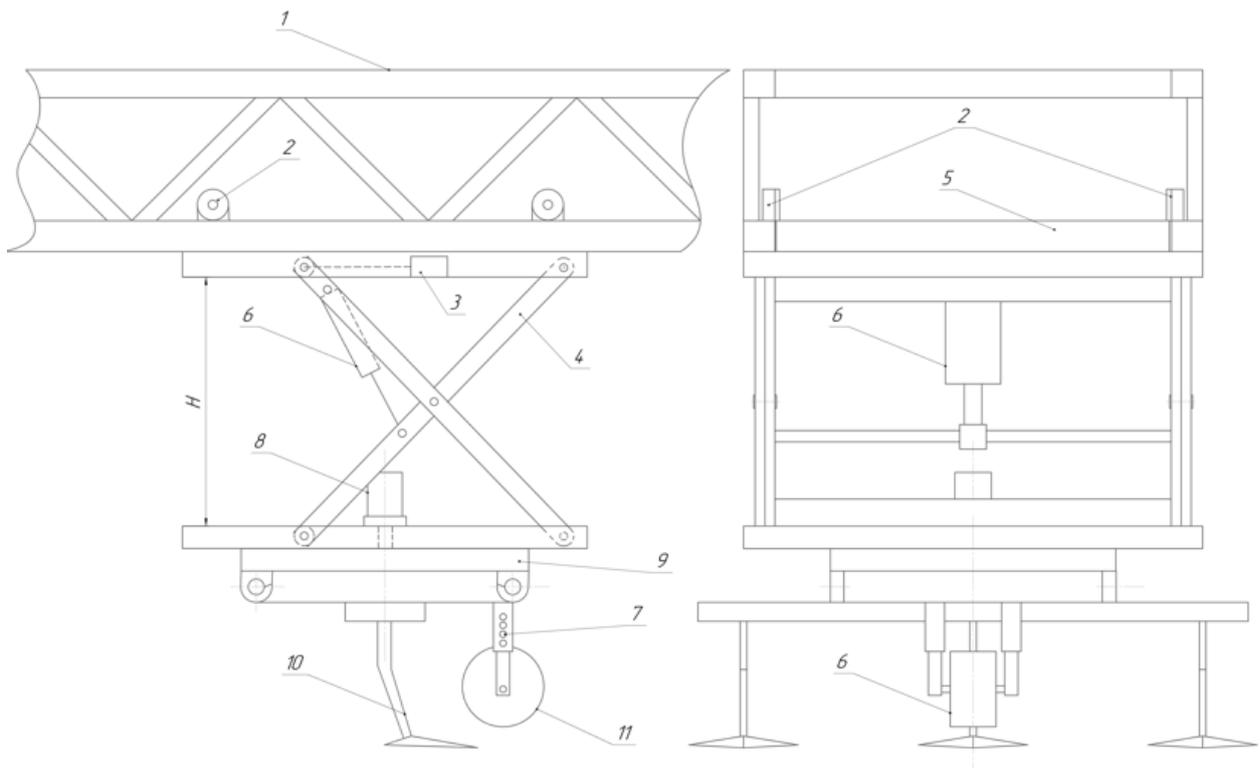


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема модуля агрегування для агромоста
 1 – ферма агромоста; 2 – опорні ролики каретки; 3 – модуль контролю положення платформи по висоті; 4 – X подібний підйомний механізм; 5 – каретка; 6 – гідроциліндр; 7 – механізм регулювання глибини обробітку чи посіву; 8 – гідромотор; 9 – поворотна платформа; 10 – знаряддя; 11 – опорне колесо

Завдяки опорному колесові 11 відбувається копіювання поверхні ґрунту, що дозволяє витримувати значення глибини з невеликим відхиленням. За умови використання модуля в автоматичному режимі підтримання необхідної глибини обробітку посіву чи висоти оприскування опорні колеса не використовуються, тому всі вертикальні й поперечні зусилля передаються через опорну раму, шарніри ножичного механізму 4 та гідроциліндр 6. Це робить правильний вибір кінематичної схеми критично важливим як з точки зору міцності, так і з точки зору точності дотримання глибини обробітку та висоти розташування робочих елементів машин (оприскувачі, розкидачі).

У таких умовах ножичний підйомник проявляє низку істотних переваг. Завдяки симетричному розташуванню важелів підйом платформи відбувається

рівномірно по всій ширині, що запобігає перекосам навіть за нерівномірного розподілу маси знаряддя. Це особливо важливо для міжрядних культиваторів та інших агрегатів, чутливих до незначних змін положення відносно рядків культур: перекіс секцій може призвести до пошкодження рослин або порушення схеми обробітку, тоді як ножичний механізм утримує платформу в центрі навіть за дії поперечних сил.

Вертикальна жорсткість такої системи визначається геометричною стабільністю хрестових важелів. На відміну від схем, де несучу здатність забезпечують переважно окремі елементи або гідроциліндр, ножична система працює як просторовий ферменний контур. Унаслідок цього платформа менше прогинається під навантаженням, краще протидіє динамічним ударам від робочих органів і дозволяє точніше підтримувати задану глибину обробітку. Навіть у нижній зоні ходу, коли важелі значною мірою «розкриті», жорсткість залишається достатньою для роботи з навісним обладнанням масою 150–350 кг і більше, що відповідає масі більшості міжрядних і посівних агрегатів.

Суттєвою перевагою ножичного механізму є компактність. У транспортному положенні важелі складаються майже паралельно одна до одної, завдяки чому загальна висота вузла зменшується до мінімуму. Для мостової машини, де простір у зоні каретки обмежений габаритами несучої ферми, це є вирішальним фактором: встановлення традиційної триточкової навіски або телескопічної щогли потребувало б значних змін у конструкції агромота, тоді як ножичний механізм легко «вписується» у наявний простір. Крім того, він забезпечує широкий діапазон регулювання по висоті – від нижніх положень, коли знаряддя має контактувати з поверхнею ґрунту або працювати на мінімальній глибині, до верхніх транспортних позицій, необхідних під час розворотів, переїздів та обслуговування. Такий діапазон регулювання дозволяє використовувати модуль на різних етапах технологічного процесу – від ранньовесняного боронування чи розпушування міжрядь до висотного внесення рідких добрив або обробки культур у фазі активного росту. Це фактично

розширює функціональність агромоста, роблячи його універсальною платформою для багатьох видів сільськогосподарських операцій.

Важливо, що незалежно від висоти підйому ножичний механізм зберігає центр співвісності платформи, тобто не зміщує її вбік або назад, як це часто трапляється у системах із одностороннім підхопленням. Для мостової машини, де точність позиціонування знаряддя в горизонтальній площині критично важлива, така властивість є суттєвою перевагою. Саме завдяки цьому забезпечується повторюваність обробітку та рівномірність впливу робочих органів на ґрунт і рослини.

Не менше значення має і те, що ножичний підйомник добре переносить поперечні та крутильні навантаження, які з'являються під час руху агромоста над поверхнею поля зі змінним мікрорельєфом. Оскільки робочі органи знаходяться на значній висоті і далеко від власних опор, навіть незначні коливання рами можуть спричинити суттєві зміни положення агрегату. Проте Х-подібна схема, працюючи як жорстка просторова ферма, ефективно демпфує такі коливання, забезпечуючи стабільність положення платформи навіть у складних польових умовах.

Ще однією важливою перевагою є простота обслуговування та ремонтпридатність. Усі шарнірні вузли ножичного механізму доступні для огляду, змащування та регулювання. Гідроциліндр розташований так, що його можна демонтувати без розбирання всього підйомника. Завдяки мінімальній кількості зварних швів і раціонально розміщеним підсилюючим елементам конструкція вирізняється підвищеним ресурсом та стійкістю до втомного руйнування. Це важливо для мостових систем, які працюють тривалий час у циклічних режимах та піддаються значній кількості коливань і ударних навантажень.

Однак ключова перевага ножичного підйомника повністю розкривається лише у поєднанні з гідравлічним приводом (рис. 2.2), що дозволяє реалізувати широкий спектр алгоритмів керування. Гідравліка забезпечує плавний і водночас

потужний підйом, можливість точного дозування швидкості руху, фіксацію платформи у визначеному положенні, а також режим «floating», коли модуль копіює рельєф або забезпечує м'яке притискання робочих органів до ґрунту. Це суттєво розширює технологічні можливості агромота, дозволяючи адаптувати його до умов конкретного поля та специфіки культури.

З урахуванням специфіки роботи підйомно-поворотного механізму агромота доцільно застосувати гідросистему з відкритою циркуляцією робочої рідини [11, 12], у якій усі елементи приводу безпосередньо з'єднані з гідробаком Б (рис. 2.3). Така схема є простою за конструкцією, надійною в експлуатації та повністю відповідає вимогам до керування ножичним механізмом і поворотним вузлом.

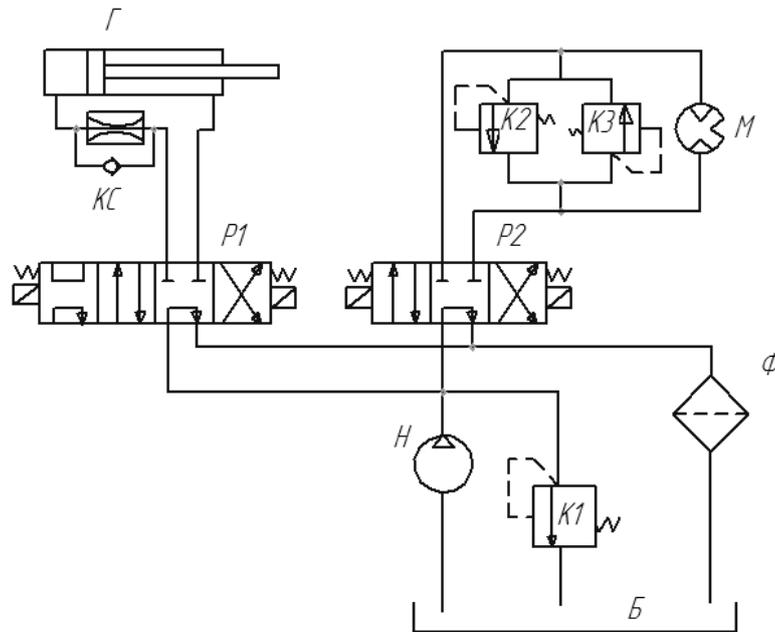


Рисунок 2.3 – Схема гідравлічного приводу модуля агрегування

До основних елементів відкритої гідросистеми входять: об'ємний шестеренний гідронасос Н, який створює необхідний тиск у магістралі, поршневий гідроциліндр двосторонньої дії Г, що забезпечує підйом і опускання платформи, електрогідравлічний чотирьохпозиційний розподільник Р1, який використовується для керування гідроциліндром; електрогідравлічний трипозиційний розподільник Р2, призначений для керування поворотним

гідромотором, поворотний гідромотор М, що забезпечує обертання робочого обладнання, засоби захисту К1 – К3 та фільтрації робочої рідини Ф.

Застосування чотирьохпозиційного електрогідророзподільника дає змогу реалізувати всі необхідні режими роботи гідроциліндра:

- піднімання платформеного модуля;
- опускання робочого знаряддя;
- нейтральне положення, коли рідина заблокована, а механізм утримує фіксовану висоту;
- плаваючий режим, що забезпечує копіювання рельєфу ґрунту та зменшує навантаження на раму.

Трипозиційний електрогідророзподільник, який керує поворотним гідромотором, забезпечує обертання вліво, фіксацію (зупинку) валу, обертання вправо.

У нейтральному положенні обох розподільників перекриваються напірна та зливна гідролінії. Така схема вимагає додаткового захисту магістралей від можливого різкого підвищення тиску під час інерційного гальмування гідродвигуна. Саме тому в системі передбачено встановлення запобіжних клапанів, які обмежують максимальний тиск і запобігають перевантаженню гідросистеми.

Для захисту гідронасоса від роботи в режимі перевантаження передбачено окремий запобіжний клапан К1, який налаштовується на тиск трохи більший, ніж тиск спрацювання допоміжних захисних клапанів. Завдяки цьому гідросистема зберігає працездатність навіть у разі нештатних ситуацій, таких як раптова зупинка гідродвигуна або заклинювання механізму.

Плавне керування швидкістю руху гідроциліндра під час підйому та опускання платформи забезпечується дросельним (сповільнювальним) клапаном КС, що мінімізує ривки та підвищує точність позиціонування. Якість робочої рідини підтримується фільтром тонкого очищення, який затримує механічні домішки та продовжує ресурс основних агрегатів.

У поєднанні з датчиками положення, датчиками навантаження на гідролінію та електронним блоком керування каретки гідравлічний привод може працювати в режимах автоматичного або напівавтоматичного позиціонування. Така мехатронна інтеграція (рис.2.4)[13, 14] відкриває можливість створення складніших алгоритмів наприклад, підтримання сталої висоти відносно поверхні ґрунту, стабілізації платформи під час руху нерівностями або адаптивного регулювання глибини залежно від щільності ґрунту.

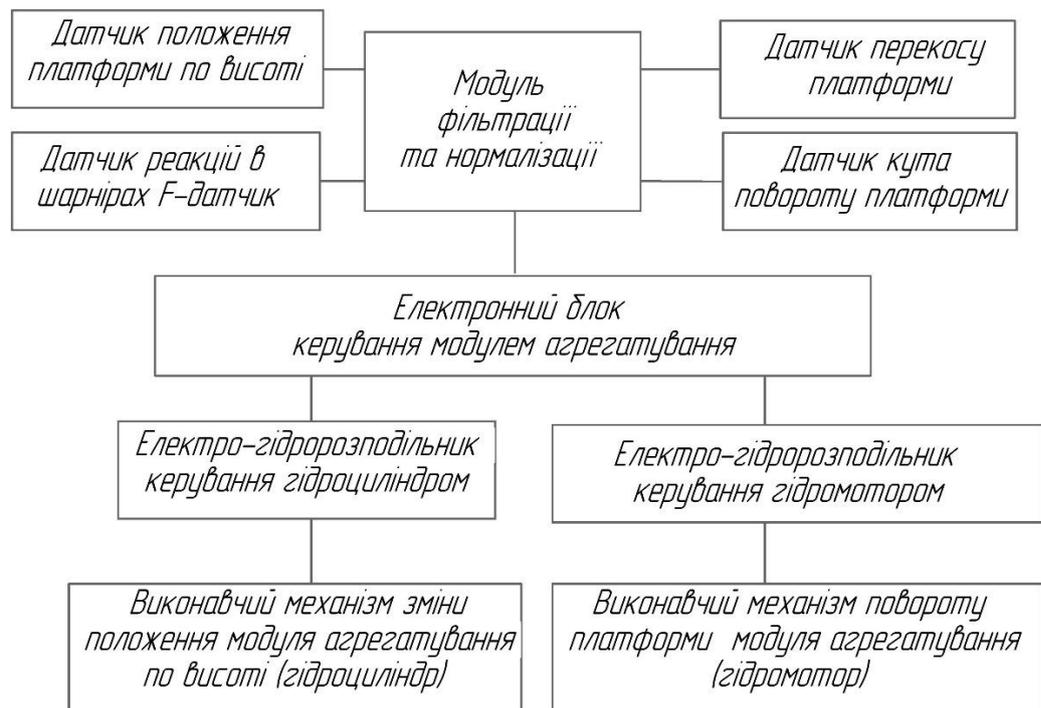


Рисунок 2.4 – Структурна схема мехатронної системи керування модулем агрегування

У перспективі це дозволяє сформувати повноцінний інтелектуальний модуль агрегування, який працює у складі загальної системи точного землеробства агромота.

У підсумку ножичний механізм у поєднанні з гідравлічним приводом повністю відповідає специфіці мостової технології – складній геометрії, великим прольотам, високим поперечним навантаженням і потребі у точному підтриманні висоти робочих органів. Такий комплекс конструктивно забезпечує універсальність, міцність і точність, що робить його одним із найоптимальніших рішень для сучасних агромотових машин.

2.2 Теоретичні дослідження кінематики механізму піднімання модуля агрегування

Кінематичний аналіз модуля агрегування з підйомним механізмом ножичного типу є необхідною складовою для визначення робочих параметрів, вибору гідроциліндра, забезпечення точності регулювання висоти та коректної інтеграції із системою керування агромота. Модуль агрегування з механізмом підйому у даній конструкції розглядається як плоска важільна система, що складається з двох однакових шарнірно з'єднаних важелів, які утворюють Х-подібну структуру (рис. 2.5) [15-17].

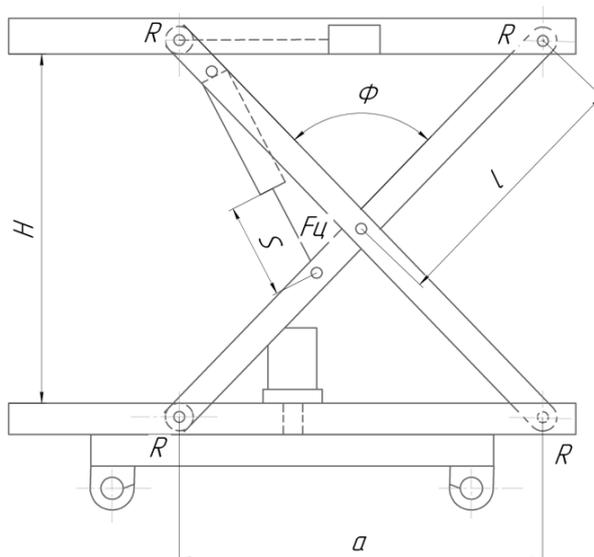


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема модуля агрегування

Основними параметрами, що впливають на кінематику підйому, є:

- l – довжина важелів ножичного механізму;
- a – відстань між точками кріплення важелів до верхньої та нижньої рам;
- φ – кут розкриття ножичного механізму;
- H – вертикальна висота підйому платформи;
- S – хід гідроциліндра;
- R – реакції у шарнірах;
- $F_{ц}$ – сила на штоку гідроциліндра.

Висота платформи у класичній схемі ножичного механізму визначається залежністю:

$$H = 2l \sin \varphi, \text{ м} \quad (2.1)$$

Довжину бази (відстань між шарнірами) визначимо за рівнянням:

$$a = 2l \cos \varphi, \text{ м} \quad (2.2)$$

Ці рівняння формують базу для подальшого кінематичного аналізу так як описують зміну висоти підйому і довжини бази при зміні кута розкриття φ .

Згідно з прийнятими граничними значеннями висота $H_{min}=0,25$ м, $H_{max}=0,8$ м визначимо граничні значення відповідно кутів φ :

$$\sin \varphi_{min} = \frac{H_{min}}{2l} = \frac{0,25}{0,90} = 0,278, \quad \varphi_{min} = 16^\circ \quad (2.3)$$

$$\sin \varphi_{max} = \frac{H_{max}}{2l} = \frac{0,80}{0,90} = 0,889, \quad \varphi_{max} \approx 62^\circ.$$

Отже, ножичний механізм працює в діапазоні кутів $\varphi=16\dots62^\circ$. У цьому інтервалі відбувається переміщення знаряддя на модулі агрегування від верхнього транспортного положення до нижнього робочого або навпаки.

Використавши рівняння 2.2 визначимо горизонтальну відстань між опорними шарнірами важелів у крайніх положеннях:

$$a_{max} = 2 \cdot 0,45 \cos 16^\circ = 0,88 \text{ м},$$

$$a_{min} = 2 \cdot 0,45 \cos 62^\circ = 0,41 \text{ м}.$$

Тобто в процесі підйому-опускання база механізму змінюється в межах $a=0,41\dots0,88$ м, що узгоджується з довжиною каретки агромоста $L_k=0,9$ м.

За результатами теоретичних досліджень (додаток Б) отримано залежність висоти H від кута φ розкриття ножичного механізму (рис. 2.6).

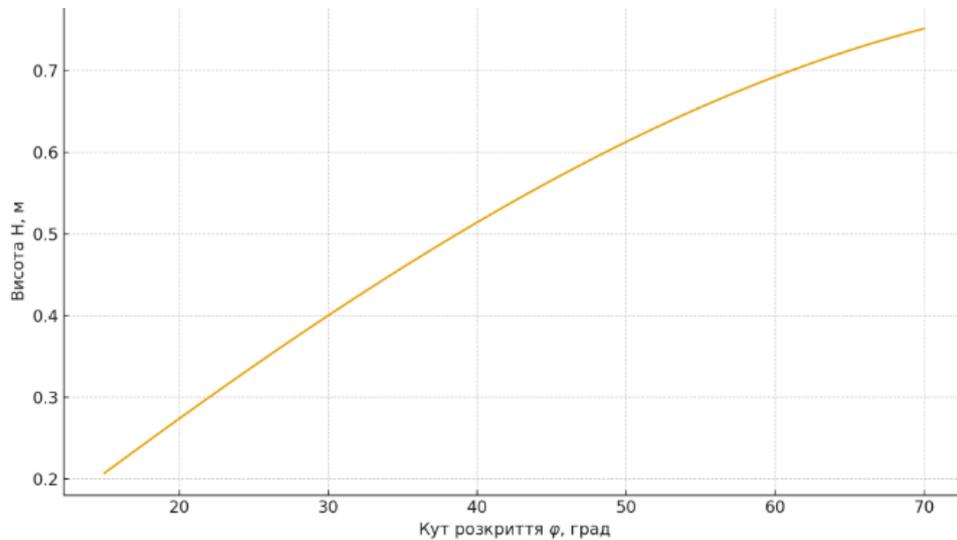


Рисунок 2.6 – Залежність $H(\varphi)$ ножичного механізму

Як видно залежність має нелінійний характер зміни висоти: у зоні малих кутів підйом відносно повільний, у середній зоні ($30\text{--}45^\circ$) – найбільш інтенсивний, а ближче до верхньої межі – знову сповільнюється.

На наступному етапі теоретичних досліджень визначимо силову взаємодію важелів модуля агрегування та гідроприводу. Для цього приймемо наступні вихідні дані: маса змінного знаряддя $m_{зн}=50\dots150$ кг, маса модуля агрегування $m_m=25$ кг, маса каретки агромоста: $m_k=10$ кг.

Загальна маса:

$$m_{\Sigma} = m_{зн} + m_m + m_k = 85 \dots 185 \text{ кг} \quad (2.4)$$

Тоді сумарне вертикальне навантаження на модуль агрегування визначимо за рівнянням:

$$Q = m_{\Sigma} \cdot g = (85 \dots 185) \cdot 9,81 = (0,834 \dots 1,815) \cdot 10^3 \text{ Н.} \quad (2.5)$$

У подальших розрахунках як розрахункове приймаємо:

$$Q_{min} = 0,83 \text{ кН}, \quad Q_{max} = 1,82 \text{ кН}.$$

Реакції у шарнірах ножичного механізму модуля агрегування

Розглянемо половину механізму (одну гілку ножиць) тоді рівняння рівноваги за вертикаллю отримає вигляд:

$$2R \sin \varphi = \frac{Q}{2}, \quad (2.6)$$

звідки реакція в центральному шарнірі кожної гілки:

$$R = \frac{Q}{4 \sin \varphi} \quad (2.7)$$

Вертикальна складова реакції:

$$R_y = R \sin \varphi = \frac{Q}{4} \quad (2.8)$$

горизонтальна:

$$R_x = R \cos \varphi = \frac{Q}{4 \tan \varphi}. \quad (2.9)$$

Отже, вертикальні реакції не залежать від кута розкриття, а горизонтальні різко збільшуються при зменшенні φ , тобто у верхньому, найбільш складеному положенні механізму. Це пояснює підвищені вимоги до жорсткості й точності виготовлення шарнірів та опорних вузлів.

Зусилля на штоку гідроциліндра при симетричному кріпленні

Гідроциліндр розташований між двома важелями й через поперечину однаково навантажує праву та ліву гілки. Загальне зусилля $F_{ц}$ ділиться навпіл:

$$F_{пів} = \frac{F_{ц}}{2}, \text{ Н} \quad (2.10)$$

Для однієї гілки запишемо рівняння моментів відносно центрального шарніра:

$$F_{\text{пів}} l_{\text{ц}} = R l \cos \varphi, \quad (2.11)$$

де $l_{\text{ц}}$ – плече прикладання сили гідроциліндра. Підставляючи $F_{\text{пів}} = F_{\text{ц}}/2$ отримаємо:

$$\frac{F_{\text{ц}}}{2} l_{\text{ц}} = R l \cos \varphi \Rightarrow F_{\text{ц}} = \frac{2 R l \cos \varphi}{l_{\text{ц}}} \quad (2.12)$$

З урахуванням виразу для R:

$$F_{\text{ц}} = \frac{Q l}{2 l_{\text{ц}}} \cot \varphi. \quad (2.13)$$

Приймаючи конструктивне плече гідроциліндра

$l_{\text{ц}} = 0,25$ м та $l = 0,45$ м, при максимальному навантаженні, $Q_{\text{max}} = 1,82$ кН одержуємо:

при $\varphi_{\text{min}} = 16^\circ$ (верхнє положення, $H = 0,25$ м);

$$F_{\text{цmax}} = \frac{Q_{\text{max}} l}{2 l_{\text{ц}}} \cot 16^\circ = 5,65 \text{ кН},$$

при $\varphi = 35^\circ$ (середня робоча зона, $H = 0,52$ м):

$$F_{\text{ц}} = 2,33 \text{ кН},$$

при $\varphi_{\text{max}} = 62^\circ$ (нижнє положення $H = 0,80$ м):

$$F_{\text{цmin}} = 0,84 \text{ кН}.$$

На кожен важіль через поперечину діє половина цього зусилля: $F_{\text{в}} = F_{\text{ц}}/2 = 0,42 \dots 2,8$ кН у всьому робочому діапазоні. Характер зміни зусилля гідроциліндра від кута розкриття та висоти H представлено відповідно на рисунку 2.7 та 2.8 за розрахунковими даними наведеними в додатку В.

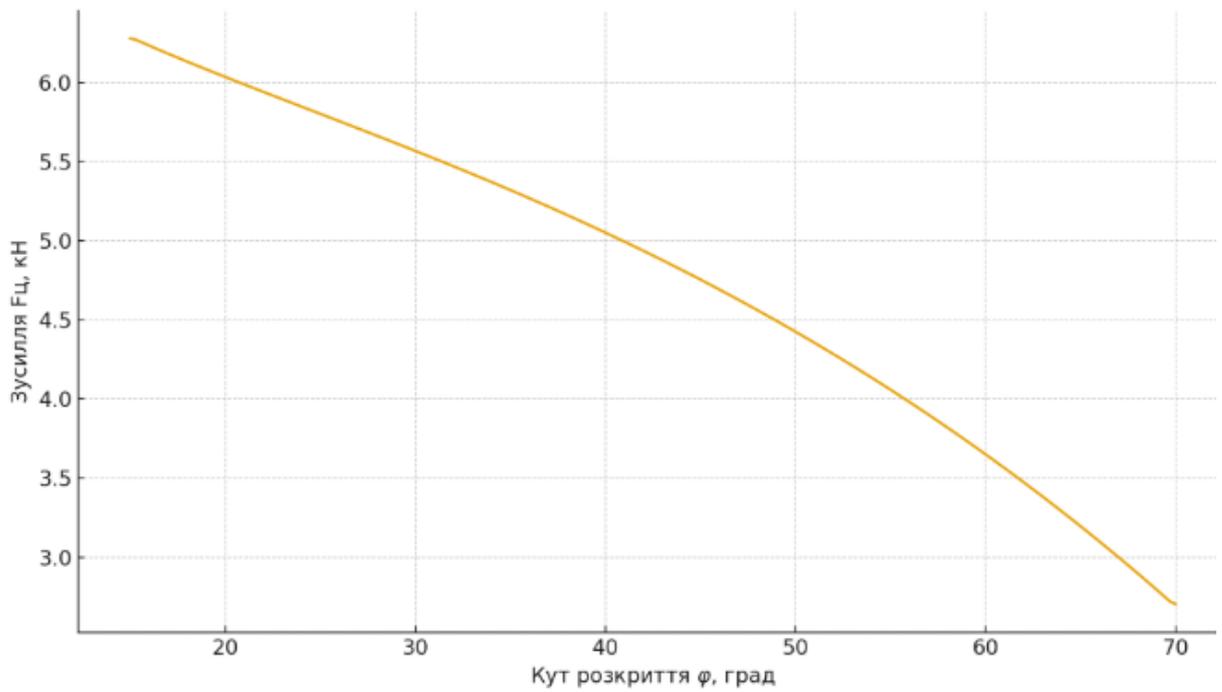


Рисунок 2.7 – Залежність сили гідроциліндра $F_{ц}(\phi)$

Крива має спадний характер найбільші значення в зоні верхнього положення, далі зусилля швидко зменшується в середній області й виходить на рівень менше 1 кН у нижньому положенні.

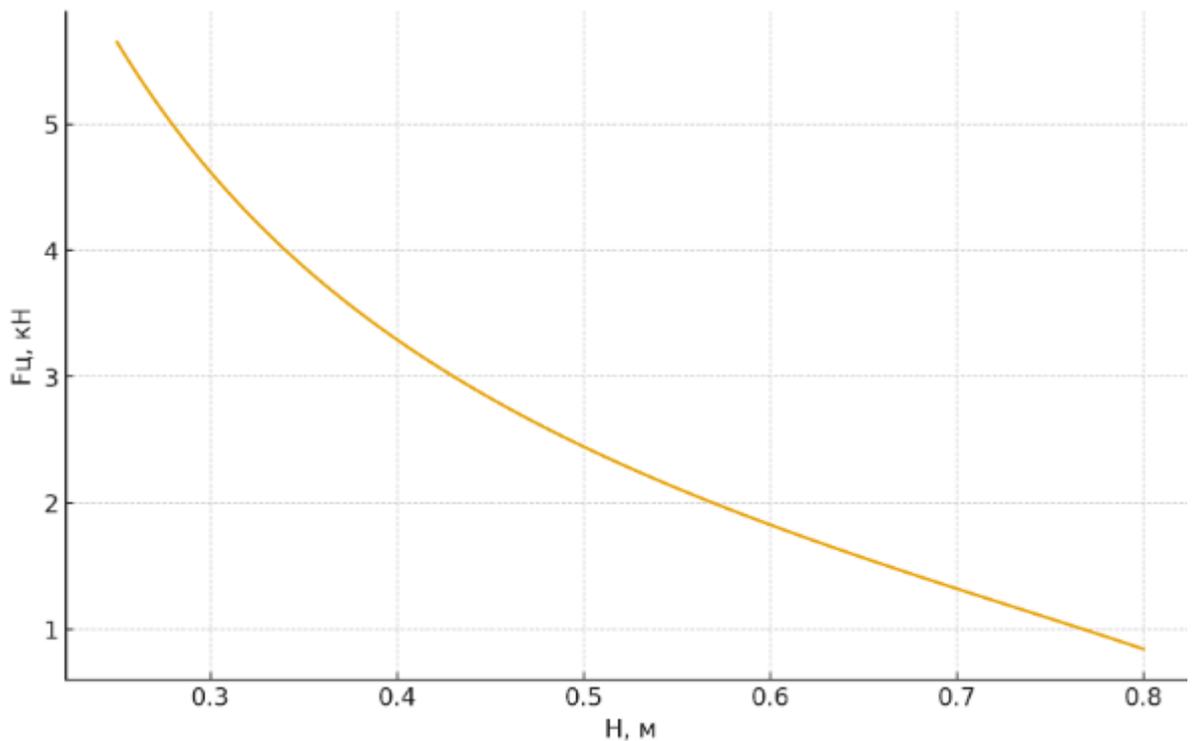


Рисунок 2.8 – Залежність сили гідроциліндра $F_{ц}(H)$

По мірі опускання платформи й збільшення висоти між рамами до $H=0,80$ м кут розкриття ножиць зростає, і необхідна сила гідроциліндра зменшується до приблизно 0,84 кН. Такий характер залежності є типовим для ножичних механізмів і підтверджує доцільність обмеження роботи в зоні надто малих висот, де навантаження на привід і шарніри є максимальними і внашому випадку сягає 5,6 кН.

Хід гідроциліндра. Хід штока гідроциліндра визначається зміною відстані між його шарнірами при переході від φ_{\min} до φ_{\max} :

$$S = L_{\text{ц}}(\varphi_{\max}) - L_{\text{ц}}(\varphi_{\min}), \quad (2.13)$$

де $L_{\text{ц}}(\varphi)$ – поточна довжина між осями кріплення гідроциліндра. Для прийнятої схеми та розташування шарнірів орієнтовні розрахунки показують, що в межах підйому $H=0,25 \dots 0,80$ м хід штока становить $S=0,18 \dots 0,20$ м.

Таким чином, можливо застосувати стандартний гідроциліндр із ходом 200 мм. На рисунку 2.9 наведено залежність $S(\varphi)$ отриману за результатами теоретичних досліджень (додатку В).

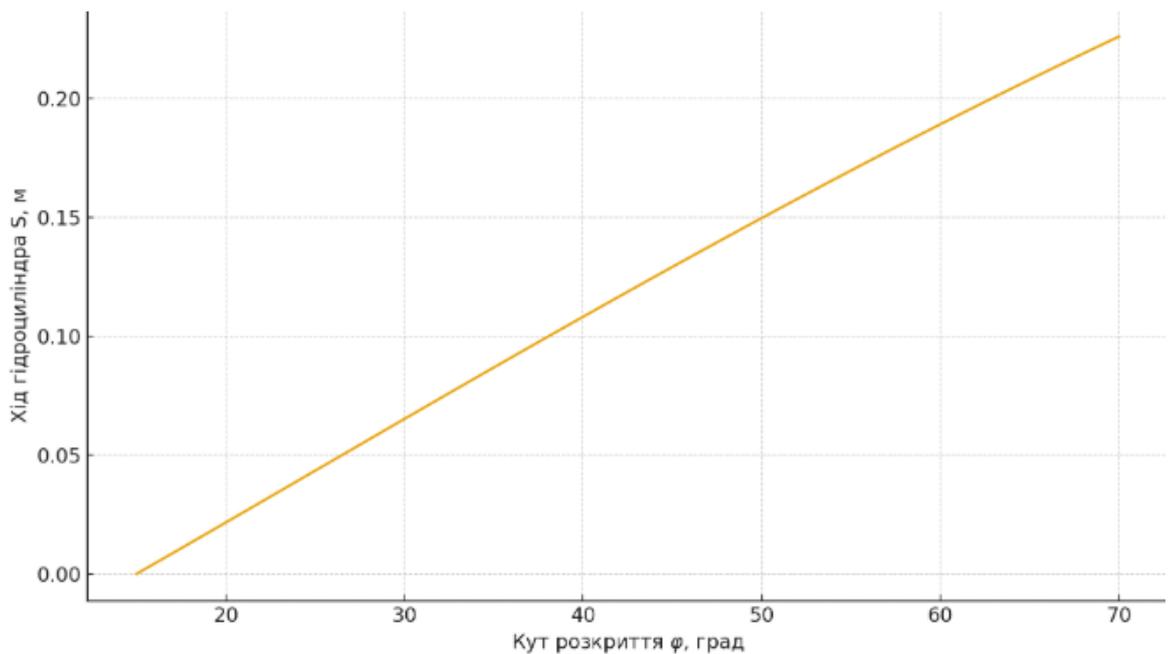


Рисунок 2.9 – Залежність ходу гідроциліндра $S(\varphi)$

Проведений кінематичний аналіз підтверджує, що обраний ножичний підйомний механізм модуля агрегування із довжиною важелів $l = 0,45$ м (загальна довжина важеля $0,9$ м) повністю забезпечує необхідний діапазон зміни висоти платформи $H = 0,25 \dots 0,80$ м, що відповідає умовам роботи агрегатованого знаряддя – від максимально піднятого транспортного положення до робочого заглиблення.

Отримана зміна бази механізму $a = 0,41 \dots 0,88$ м залишається сумісною з геометрією каретки агромоста, не потребує збільшення габаритів і дозволяє інтегрувати механізм у конструкцію без змін несучої ферми.

За умови маси знаряддя до 150 кг та сумарного навантаження $Q = 0,83 \dots 1,82$ кН максимальне зусилля на штоку гідроциліндра становить $F_{\psi} = 0,84 \dots 5,65$ кН, що дає можливість застосування стандартного гідроциліндра ЦГ-32×100.14 [18] з тиском $10\text{--}12$ МПа і діаметром поршня 32 мм без необхідності у спеціальних або посиленних силових елементах.

Симетричне під'єднання гідроциліндра через поперечину до обох важелів забезпечує рівномірний розподіл навантажень, зменшення перекосів і підвищує плавність руху платформи, що є критичним для точного розташування робочих органів у польових умовах.

Отримані функціональні залежності $H(\varphi)$, $F_{\psi}(\varphi)$ та $S(\varphi)$ формують основу для подальших етапів проектування – розрахунку міцності елементів, добору перерізів, розробки алгоритмів автоматичного керування та інтеграції модуля агрегування в загальну мехатронну систему агромоста.

2.3 Теоретичні дослідження кінематики механізму повороту платформи модуля для агрегування знарядь

Механізм повороту платформи є одним із ключових елементів модуля для агрегування знарядь на мостовій машині, оскільки забезпечує зміну орієнтації робочих органів знарядь відносно напрямку руху агромоста. Така можливість

необхідна для розвороту знаряддя на розворотних смугах, при переході машини на нові міжряддя або рядки в залежності від технологічної операції.

У запропонованій конструкції поворот платформи здійснюється за допомогою поворотного гідромотора актюатора (рис. 2.4), здатного реалізувати поворот на 180° з фіксацією у крайніх положеннях. Актюатор передає обертальний момент на приєднувальну платформу через вал, забезпечуючи точність та повторюваність положення.

Механізм складається з таких основних елементів як поворотний гідромотор 1, поворотна опора (опорно-поворотний підшипник) 2, що сприймає радіальні й осьові навантаження, платформа агрегування, жорстко з'єднана з вихідним валом актюатора, система фіксації та датчики положення 3, які забезпечують контроль кута повороту, обмежувачі ходу 4, що визначають межі повороту 0° та 180° .

Основні кінематичні параметри механізму. Опис руху платформи модуля здійснюємо за наступними параметрами:

θ – кут повороту платформи, град;

θ_{max} – максимальний кут повороту, град;

ω – кутова швидкість повороту, рад/с;

ε – кутове прискорення рад/с²;

M_{gp} – момент опору від маси знаряддя та тертя, Нм;

$M_{акт}$ – обертальний момент гідромотора, Нм.

Оскільки поворот здійснюється навколо вертикальної осі, кінематичний аналіз проводиться як аналіз плоского обертального руху твердого тіла [19, 20], що значно спрощує математичний опис, але зберігає можливість оцінити навантаження на вузли.

Положення платформи в часі визначається кутовою координатою:

$$\theta = \theta(t), \quad (2.14)$$

де θ – кут повороту, град.;

t – час повороту, с.

Завданням є забезпечення повороту на $\theta_{max} = 180^\circ = \pi \cdot \text{рад}$ за заданий інтервал часу. Для роботи навісного обладнання масою до 150 кг приймається плавний режим, що виключає різкі імпульсні навантаження, а тривалість повороту становить $t_{заг}=8$ с.

Розподіл руху здійснюється за триетапною кінематичною схемою: розгін $t_1=2$ с; рівномірний рух $t_2=4$ с, гальмування $t_3=2$ с.

Загальна тривалість циклу t повороту платформи:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 2 + 4 + 2 = 8 \text{ с} \quad (2.15)$$

Оскільки поворот виконується під навантаженням (маса платформи, знаряддя та інерційні сили), важливо забезпечити достатній момент актуатора:

$$M_{акт} \geq M_{гр} + J\varepsilon(t) \quad (2.16)$$

Момент, необхідний для розвороту платформи $M_{акт.}$

$M_{гр}$ – момент від тертя та вагового навантаження, Нм.

Момент опору $M_{гр}$ визначається з урахуванням:

- маси знаряддя $m_{зн}=150$ кг (макс.);
- маси модуля з платформою $m_{м}=25$ кг;
- радіуса масових сил від осі повороту $r \approx 0,20 \dots 0,65$ м;
- коефіцієнта тертя підшипника $f=0,03 \dots 0,06$;
- динамічного компонента (інерція при розгоні/гальмуванні).

Тоді:

$$M_{гр} = (m_{зн} + m_{м}) \cdot g \cdot r \cdot f, \text{ Нм} \quad (2.17)$$

Сумарна маса на платформі:

$$m_{\Sigma} = m_{зн} + m_{м} = 150 + 25 = 175 \text{ кг} \quad (2.18)$$

Тоді:

$$M_{гр} = (150 + 25) \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,05 = 51,5 \text{ Нм}$$

Поворот платформи розглядається як рух твердого тіла навколо вертикальної осі. Для навісного агрегату шириною захвату до 2 м реалістичний радіус розташування центра мас від осі повороту приймаємо $r=0,6$ м.

Момент інерції платформи із закріпленим знаряддям [21]:

$$J = m_{\Sigma} \cdot r^2 = 175 \cdot 0,6^2 = 63 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.19)$$

Зміна кута повороту описується рівнянням:

$$\theta(t) = \frac{1}{2} \varepsilon t^2, \quad t \leq 2 \text{ с}, \quad (2.20)$$

де ε – кутове прискорення рад/с².

Із умови виходу на максимальну швидкість у кінці розгону:

$$\varepsilon = \frac{\omega_{max}}{t_1}. \quad (2.21)$$

Оскільки

$$\omega_{max} = \frac{\pi - \frac{1}{2} \varepsilon t_1^2 - \frac{1}{2} \varepsilon t_2^2}{t_2}, \quad (2.22)$$

одержуємо:

$$\varepsilon = 0,262 \text{ рад/с}^2, \quad \omega_{max} = 0,524 \text{ рад/с}.$$

Кутова швидкість під час руху [22, 23]:

$$\omega(t) = \begin{cases} \varepsilon t, & 0 \leq t \leq t_1, \\ \omega_{max}, & t_1 < t < t_1 + t_2, \\ \omega_{max} - \varepsilon(t - t_1 - t_2), & t_1 + t_2 \leq t \leq 8. \end{cases} \quad (2.23)$$

За результатами проведених теоретичних досліджень (додаток Г) побудуємо залежності кута повороту та кутової швидкості від часу (рис.2.10 та рис. 2.11).

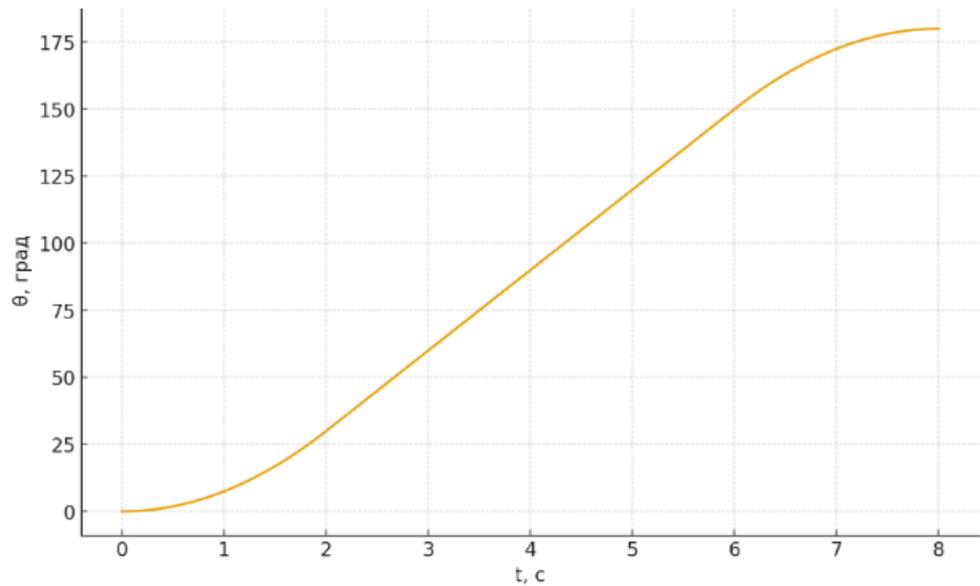


Рисунок 2.10 – Залежність кута повороту $\theta(t)$

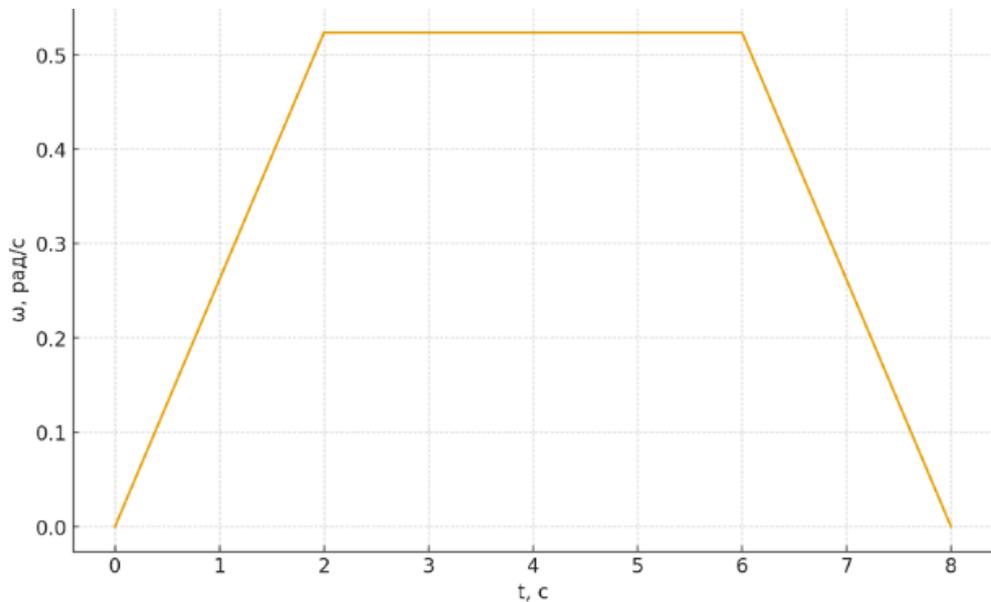


Рисунок 2.11 – Залежність кутової швидкості $\omega(t)$

Аналіз залежностей $\theta(t)$ та $\omega(t)$ показує, що поворот платформи на 180° відбувається плавно і без ударних навантажень. Кутова характеристика $\theta(t)$ має рівномірний характер, що забезпечує стабільний рух і точне досягнення кінцевого положення. Графік $\omega(t)$ підтверджує поступовий розгін та зупинку, що мінімізує інерційні коливання знаряддя.

Максимальна кутова швидкість не перевищує допустимих значень, а форма кривих свідчить про правильний вибір параметрів гідромотора та

кінематичної схеми. Отже, розраховані залежності забезпечують безпечний, керований і точний поворот платформи в межах заданого часу.

Розрахунок моменту, необхідного для повороту

Загальний момент, який повинен створити гідромотор:

$$M(t) = J\varepsilon(t) + M_{гр}, \quad (2.24)$$

Тоді при розгоні:

$$M_{max} = 63 \cdot 0,262 + 51,5 = 68 \text{ Нм},$$

при рівномірному русі:

$$M = 51,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при гальмуванні:

$$M_{г} = 63 \cdot 0,262 \cdot (-1) + 51,5 = 35 \text{ Нм}.$$

За результатами теоретичних досліджень (додаток Г) побудовано залежність $M(t)$ (рис. 2.12)

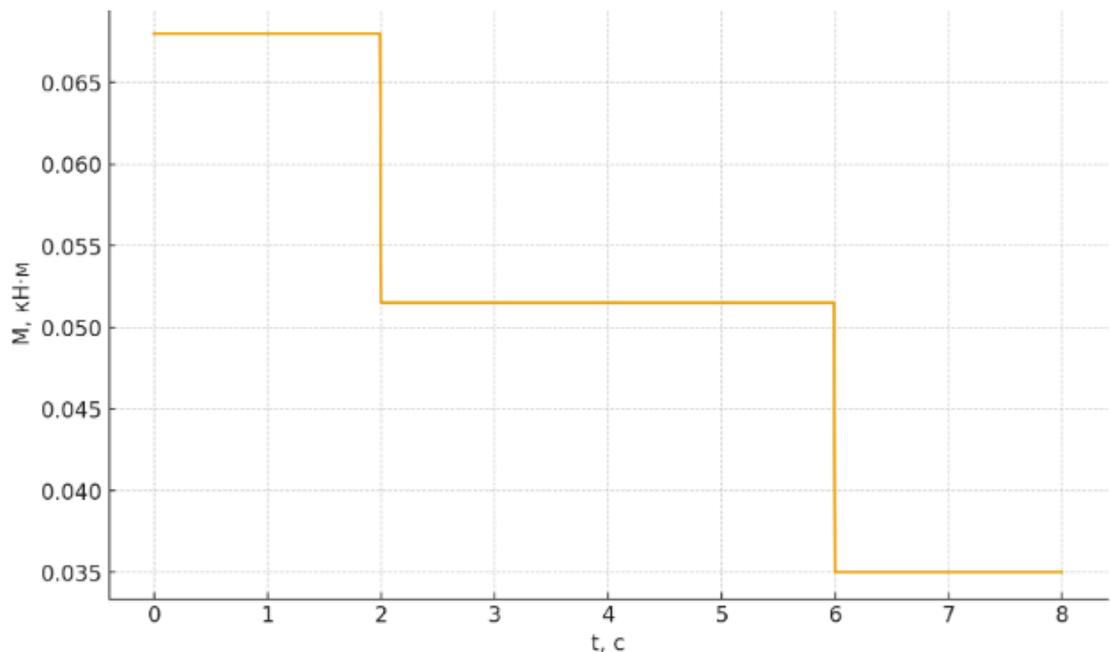


Рисунок 2.12 – Залежність моменту на валу гідродвигуна $M(t)$

Отже, вибраний гідромотор повинен мати номінальний момент не нижче 70 Н·м, що відповідає компактним серійним поворотним гідродвигунам. За розрахованим максимальним моментом обираємо поворотний гідравлічний актуатор типу E1 [24] фірми *Eckart* (Німеччина) зі стандартним кутом повороту 180 °. Актуатор розрахований на робочий тиск до 10 МПа, а його номінальний момент становить не менше 74 Н·м, що при підвищенні тиску до 12 МПа забезпечує момент близько 90 Н·м. Таким чином, вибраний гідродвигун забезпечує необхідні кінематичні та силові параметри механізму повороту платформи модуля агрегування.

2.4 Теоретичні дослідження стійкості та жорсткості механізмів модуля агрегування

Забезпечення стійкості та достатньої жорсткості платформи модуля агрегування є ключовою умовою надійної роботи знаряддя на мостовій машині. Конструкція повинна гарантувати точне збереження положення робочих органів за змінних навантажень, динамічних впливів та поперечних коливань, що виникають під час руху агромоста по нерівній поверхні. Особливо це актуально з огляду на те, що модуль має значні габарити, працює без власних опорних коліс і повністю передає навантаження через систему важелів, шарнірів та гідропривод.

Для оцінки стійкості враховано такі параметри:

Маса знаряддя $m_{zn}=150$ кг (макс.).

Маса модуля з платформою $m_m=25$ кг.

Маса каретки – $m_k = 10$ кг.

Діапазон висоти по вертикалі – $H = 0,25 \dots 0,80$ м.

Довжина важелів ножичного механізму – $l = 0,45$ м.

Кут розкриття: $\varphi=16\dots 62^\circ$.

Макс. крутний момент при повороті платформи – $M_{max} = 68$ Нм.

База ножичного механізму – $a=0,41\dots0,88$ м.

Сумарне навантаження визначимо за формулою:

$$Q_{\Sigma} = (m_{zn} + m_m + m_k)g = (150 + 25 + 10) \cdot 9,81 = 1,82 \text{ кН} \quad (2.25)$$

Отримані параметри створюють необхідну основу для аналізу поведінки конструкції при статичних і динамічних навантаженнях.

Оцінка вертикальної жорсткості ножичного механізму

Жорсткість ножичного механізму визначається геометричною конфігурацією (кут φ), жорсткістю важелів, жорсткістю шарнірів, деформацією гідроциліндра під навантаженням.

Вертикальна жорсткість системи зростає при збільшенні кута φ . Для малих кутів ($\varphi \approx 16^\circ$) важелі знаходяться майже горизонтально, що збільшує прогин і чутливість до навантаження. У робочій зоні ($\varphi = 30\dots50^\circ$) механізм набуває максимальної просторової стійкості.

Оцінимо деформацію механізму під дією вертикального навантаження:

Визначення максимального прогину важеля ножичного механізму.

Максимальний прогин важеля визначимо за класичною методикою розрахунку згинальних деформацій прямолінійних балок згідно з опором матеріалів. Важіль ножичного механізму розглядаємо як балку, навантажену поперечною силою, закріпленою у шарнірах на кінцях.

Для оцінки прогину застосовано формулу для балки, навантаженої посередині [20, 21]:

$$f_l = \frac{F \cdot L^3}{48EI} \quad (2.26)$$

де $F=1,82$ кН– поперечна сила на важелі;

$L=0,45$ м довжина одного важеля;

$E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па– модуль пружності сталі;

I – момент інерції профільної труби $40 \times 20 \times 3$ мм.

Розрахунок моменту інерції перерізу. Для прямокутної тонкостінної труби:

$$I = \frac{(bh^3 - (b-2t)(h-2t)^3)}{12} = 1,89 \cdot 10^{-8}, \text{ м}^4 \quad (2.27)$$

де $b=40$ мм $h=20$ мм – зовнішні розміри;

$t=3$ мм – товщина стінки.

Тоді значення прогину становитиме:

$$f_l = \frac{1,82 \cdot 10^3 \cdot 0,45^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,89 \cdot 10^{-8}} = 0,00087 \text{ м} \quad f_l \approx 0,87 \text{ мм}$$

Отже, профільна труба $40 \times 20 \times 3$ мм забезпечує достатню жорсткість, а отриманий прогин не впливає на роботу підйомного механізму та не призводить до втрати точності позиціонування платформи.

Деформація гідроциліндра. Гідроциліндр двосторонньої дії, $D = 32$ мм.

Подовження штока під навантаженням:

$$\Delta S = \frac{F}{EA} = 0,1 \text{ мм.} \quad (2.28)$$

Це менше 1% від робочого ходу і не впливає на точність регулювання.

Сумарна вертикальна деформація

$$\Delta H_{\Sigma} = f_l + \Delta S = 0,87 + 0,1 = 0,97 \text{ мм.} \quad (2.29)$$

Отже система забезпечує стабільність положення знаряддя з похибкою не більше 1 мм, що відповідає вимогам точного землеробства.

Оцінка стійкості до поперечних навантажень

Під час руху агромоста робоча частина знаряддя зазнає поперечних впливів саме вібрації рами, коливання знаряддя при взаємодії з ґрунтом, крутильні навантаження при повороті платформи.

Максимальний момент, який може впливати на конструкцію [23]:

$$M_{max} = Q_{\Sigma} \cdot r = 1,82 \cdot 0,6 = 1,09 \text{ кН}, \quad (2.30)$$

де r – плече дії поперечної сили, $r = 0,6$ м.

Згідно проведеного кінематичного аналізу реакції в шарнірах модуля агрегування для робочого інтервалу в межах $\varphi=30\dots50^\circ$ становить $R=1,19\dots1,82$ кН. Ці значення вписуються в несучу здатність стандартних підшипникових шарнірів $\varnothing 16\text{--}20$ мм.

Просторова стійкість платформи. Жорстка опорна рама каретки поглинає частину крутильних навантажень. Ножичний механізм працює як ферменна система, де центральна поперечина з'єднує важелі симетрично, гідроциліндр забезпечує стабілізацію положення а напрямні ролики виключають бокове зміщення. У результаті перекіс платформи не перевищує $1\text{--}1,5^\circ$, максимальне бокове зміщення в нижньому положенні не більше $3\text{--}4$ мм, небезпеки складання механізму під боковим навантаженням немає завдяки мінімальному куту $\varphi = 16^\circ$ та жорсткому фіксуванню рам.

Розрахунки показали, що конструкція модуля агрегування має достатню жорсткість. Сумарні вертикальні деформації не перевищують 1 мм, що забезпечує стабільну роботу знаряддя в усьому діапазоні висот. Ножичний механізм працює як жорстка ферма, добре протидіючи згину та перекосу, а реакції в шарнірах залишаються в межах допустимих значень для стандартних елементів.

Симетричне встановлення гідроциліндра та наявність напрямних роликів забезпечують поперечну стійкість платформи. Найбільш ефективний режим роботи механізму спостерігається при кутах $\varphi = 30 \dots 50^\circ$, де забезпечується оптимальне співвідношення жорсткості та плавності ходу. Отже, модуль агрегування є достатньо стійким і надійним для роботи зі знаряддями масою до 150 кг.

2.5 Висновок

Теоретичними дослідженнями доведено, що вибір ножичного підйомного механізму з гідравлічним приводом є оптимальним для модуля агрегування агромоста: він забезпечує потрібний діапазон зміни висоти платформи, поворот на 180° та універсальність приєднання різних знарядь. Кінематичні розрахунки підтвердили, що зусилля на гідроциліндрі та момент на валу актуатора знаходяться в межах, які можуть бути реалізовані стандартними гідроагрегатами, а сумарні деформації конструкції не перевищують величин, критичних для точності обробітку. Доведено, що платформа має достатню жорсткість і просторову стійкість при роботі зі знаряддями масою до 150 кг, а впровадження мехатронної системи керування створює можливості для автоматичного й адаптивного позиціонування робочих органів у системі точного землеробства.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Мета та завдання експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є підтвердження працездатності та ефективності конструктивних рішень модуля агрегування агромоста, а також перевірка відповідності фактичних параметрів руху і навантаження результатам теоретичних розрахунків. Експерименти спрямовані на оцінку роботи ножичного підйомного механізму, поворотної платформи та елементів мехатронної системи керування у реальних умовах навантаження.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі основні завдання:

1. Перевірка працездатності ножичного підйомного механізму під дією різних знарядь. Необхідно оцінити роботу підйомної системи під навантаженням від 50 до 150 кг, визначити, чи зберігається геометрична стабільність механізму, чи немає перекосів платформи та чи забезпечується заданий діапазон висот підйому. Вимірювання фактичних зусиль на штоку гідроциліндра та їх порівняння з теоретичними залежностями.

2. Дослідження плавності підйому та опускання платформи. Аналіз швидкості руху платформи в різних режимах (підйом, опускання, плаваючий режим) дає змогу оцінити узгодженість роботи гідроциліндра та ножичного механізму, визначити наявність ривків, вібрацій або затримок, що можуть впливати на точність позиціонування робочих органів.

3. Визначення точності відтворення висоти платформи в системі автоматичного та ручного керування. За допомогою датчиків положення оцінюється точність повторення встановленої висоти, стабільність утримання заданого рівня під навантаженням, а також вплив пружних деформацій та люфтів на якість регулювання.

Реалізація зазначених завдань дозволить комплексно оцінити функціональність модуля агрегування, підтвердити правильність

математичного моделювання та виявити напрямки для оптимізації конструкції й системи керування.

3.2 Експериментальний зразок агромоста з розробленим модулем для агрегування знарядь

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідний прототип агромоста (рис. 3.1), з модулем агрегування 4 оснащеним ножичним підйомним механізмом та поворотною платформою для агрегування змінних сільськогосподарських знарядь 2. Модуль надійно закріплено на привідній каретці 7. Конструкцію модуля детально розглянуто у попередньому розділі, а експериментальний зразок побудовано з урахуванням реальних умов роботи мостової машини.

Агроміст 8 переміщується по двох паралельних рейкових коліях довжиною 100 м і шириною 6 м, змонтованих на бетонних опорах, що забезпечують жорсткість і незмінність ширини прогону. Живлення тягових мотор-колів, гідравлічного приводу ножичного механізму та електронних систем каретки здійснюється від літєвої акумуляторної батареї 1 потужністю 6 кВт, що встановлена на правій стійці ферми. Така компоновка забезпечує автономну роботу під час усіх експериментальних циклів. Завдяки сонячним панелям 6 відбувається часткове до 50 % заряджання батареї в процесі виконання технологічних операцій машиною, що підвищує ефективність його експлуатації.

Керування переміщенням агромоста та роботою підйомно-поворотного механізму модуля здійснюється через електронний блок управління, змонтований у захищеній шафі на лівій опорній стійці. У складі системи передбачено окремі контролери для приводу ножичного підйомника, поворотного актуатора, а також блок фіксації висоти та кутового положення платформи.

Модуль агрегування розміщується на центральній каретці 7, що рухається під фермою агромота подібно до візка баштового крана. Завдяки цьому забезпечується можливість агрегування різних робочих органів – міжрядних культиваторів, сівалок, підживлювачів чи обладнання для внесення добрив – у будь-якій частині прогону. Ножичний підйомний механізм та гідроциліндр встановлено таким чином, щоб забезпечити необхідний діапазон зміни висоти платформи з знаряддям та точність її позиціонування в діапазоні 0 до 65 см.



Рисунок 3.1 – Експериментальний зразок агромота з модулем для агрегування знарядь

Опорна платформа (рама модуля) виконана у вигляді зварної конструкції з профільних труб $60 \times 40 \times 3$ мм, що забезпечує достатню жорсткість і слугує базою для кріплення підйомного механізму, платформи для агрегування з актуатором повороту навісних знарядь. На рамі платформи передбачені уніфіковані отвори для різних типів знарядь. Опорна платформа з платформою для агрегування поєднані ножичним підйомним механізмом, який складається з двох пар хрестових важелів довжиною $l = 0,45$ м кожен. Важелі виготовлені з профільної труби $40 \times 20 \times 3$ мм. Шарнірні вузли механізму виконані на болтах М16 зі встановленням бронзових втулок для зменшення люфтів. Гідроциліндр підйому двосторонньої дії типу ЦГ-32 \times 100, який забезпечує хід 100 мм та максимальне зусилля близько 6 кН при робочому тиску до 12 МПа. Гідроциліндр встановлений симетрично між важелями та з'єднаний з ними через поперечину, що гарантує рівномірний розподіл сил.

Поворотний механізм платформи реалізований на основі компактного поворотного гідроактуатора з кутом повороту 180° . Поворотна плита встановлена на опорно-поворотному підшипнику, який сприймає радіальні та осьові навантаження. На валу актуатора встановлено інкрементальний датчик для вимірювання кута θ повороту платформи.

Гідравлічна система відкритого типу принцип дії та складові якої детально розписано в попередньому розділі. Гідролінії виведені так, щоб можна було встановити манометри та датчики тиску для реєстрації зусилля F_u .

Мехатронна система керування забезпечує надійне підтримання основних алгоритмів роботи модуля з зняттям. Програмне забезпечення забезпечує ручний, напівавтоматичний та автоматичний режими.

Експериментальний зразок дозволяє відтворити реальні умови роботи навісного обладнання: вплив вагового навантаження, характер динамічних коливань, зміну висоти платформи, а також оцінити плавність ходу та відповідність фактичних зусиль гідроприводу теоретичним розрахункам. Основні параметри установки наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри модуля агрегування

Параметр	Значення
Максимальна маса зняття, кг	150
Діапазон висот, м	0,25...0,80
Довжина важелів, м	0,45
Хід гідроциліндра, мм	100
Максимальне зусилля F_u , кН	6
Кут повороту платформи, град.	180
Максимальний момент актуатора, Н·м	≥ 70
Потужність гідросистеми	1,1 кВт
Тип системи керування	мехатронна, сенсорна

3.3 Методика та результати силових та позиційних досліджень модуля агрегування

Експериментальна частина спрямована на комплексну перевірку роботи механізмів розробленого модуля агрегування під дією навісних знарядь різної маси. Головною метою було встановити, наскільки реальні навантаження та поведінка механізмів відповідають теоретичним розрахункам, а також оцінити фактичну жорсткість конструкції, рівномірність ходу та стабільність платформи в усьому робочому діапазоні висот. Дослідження виконувалися з використанням реєстраційно-вимірювального комплексу з датчиками розміщеними на елементах механізмів модуля агрегування (рис. 3.2) за загально прийнятими методиками [27, 28].

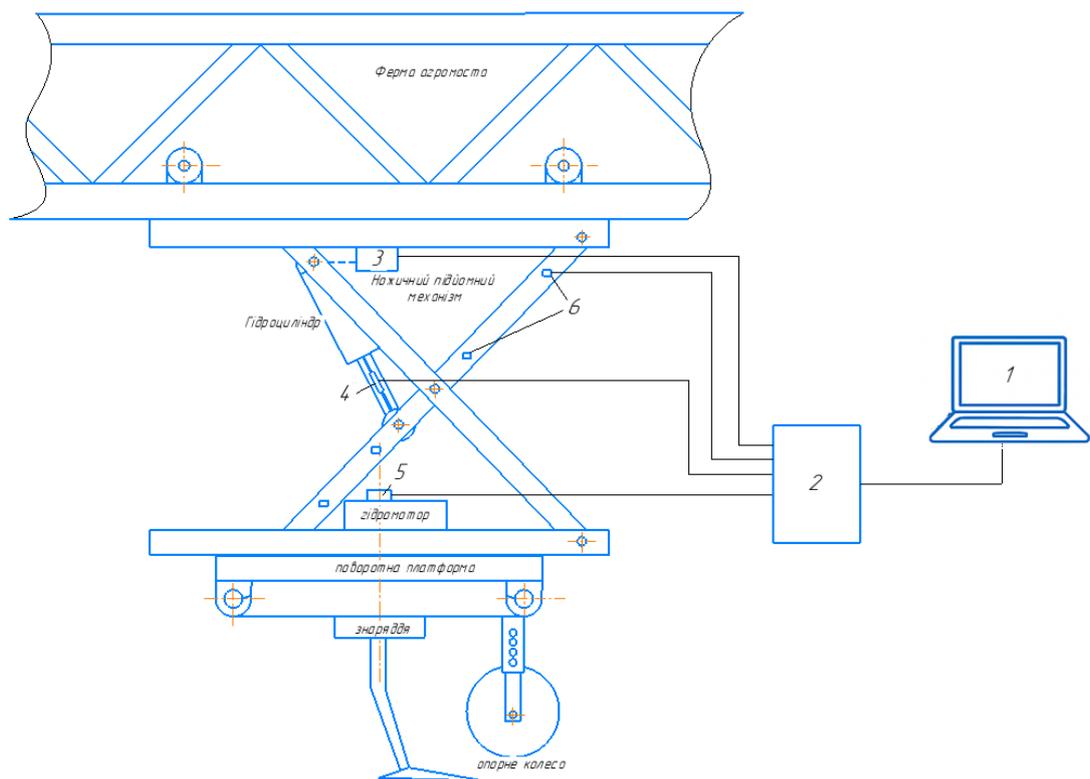


Рисунок 3.2 – Реєстраційно вимірювальний комплекс

1 – ЕОМ (ноутбук); 2 – аналогово-цифровий модуль; 3 – датчик тиску; 4 – лінійний датчик ходу штока гідроциліндра; 5 – датчик кутового зміщення поворотної платформи; 6 – тензо-датчики деформації конструкції

Для моделювання роботи механізму з різними типами сільськогосподарських агрегатів на платформу модуля агрегування встановлювалися вантажі масою:

50 кг – еквівалент легких просапних знарядь, овочеві сівалки

100 кг – середні робочі органи та комбіновані агрегати;

150 кг – максимальна розрахункова маса, що відповідає вазі картоплесадильних машин, культиваторів підживлювачів, розкидачів мінеральних добрив, оприскувачів.

Це дозволило оцінити поведінку механізму в усьому діапазоні експлуатаційних навантажень.

Порядок проведення досліджень

Кожен експеримент складався з кількох етапів. Базове налаштування коли модуль агрегування фіксувався на каретці агромоста. Підйомний механізм за допомогою гідроприводу переводили в положення по висоті відносно каретки $H = 0,25$ м, що відповідає транспортному або верхньому положенню знаряддя.

На наступному етапі відбувалося опускання знаряддя до контакту робочих органів з ґрунтом. Висота відносно каретки орієнтовно $H \approx 0,80$ м з одночасною реєстрацією зміни кута φ (робочий режим з переходом в плаваючий).

Реєстрація основних кінематичних та силових параметрів у процесі руху платформи в повному діапазоні висот проводилась поетапна. Вимірювання виконувалися на контрольних точках, розташованих через кожні 10 см зміни висоти. Такий підхід дозволив отримати детальну та репрезентативну характеристику роботи механізму.

Вимірювання фактичного ходу гідроциліндра

Для визначення реальної зміни довжини гідроциліндра використовували лінійний потенціометричний датчик переміщення Gefran PY2-100 (точність $\pm 0,5$ мм), закріплений між шарнірами гідроциліндра. Датчик фіксував дійсний хід штока у кожній контрольній точці підйому та передавав інформацію на реєстраційно-вимірювальний комплекс. Платформу переміщували з нижнього

положення до верхнього. На кожній висоті ($H = 0,25; 0,35; 0,45, 0,55, 0,65, 0,75, 0,80$ м) та відповідно куті ($\varphi = 16^\circ, 22^\circ, 28^\circ, 34^\circ, 41^\circ, 50^\circ, 62^\circ$) реєстрували покази ходу S (результати наведено в додатку Г). За результатами досліджень отримано лінійну залежність (рис. 3.2) висоти зміни положення модуля агрегування з знаряддям.

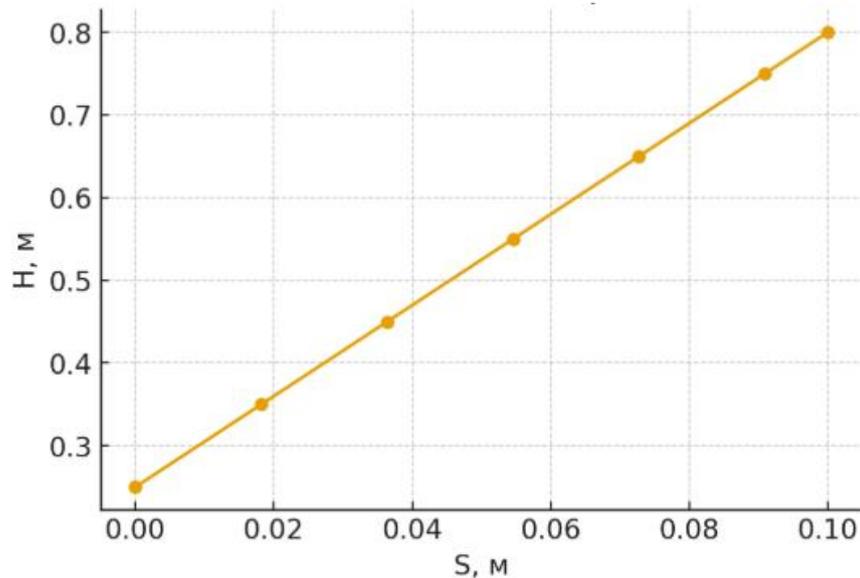


Рисунок 3.3 Залежність зміни висоти платформи модуля H від ходу штока гідроциліндра S

Вимірювання навантаження на штокові гідроциліндра.

Для визначення навантаження на штоку гідроциліндра встановлено тензо датчик тиску HDA 4400 з межею вимірювання 0–25 МПа, клас точності 0,5.

Вимірювання виконувались у сталому положенні платформи згідно контрольних точок фіксації положення висоти H та кута φ . Дані з датчика тиску записувалися реєстраційно-вимірювальним комплексом і за рівнянням 3.1 перераховувалися для визначення зусилля на штокові гідроциліндра:

$$F_{\text{екс}} = P_{\text{екс}} \cdot A, \quad (3.1)$$

де A – площа поршня циліндра (для $D = 32$ мм $A = 8,04 \cdot 10^{-4}$ м²);

$P_{\text{екс}}$ – експериментальні значення тиску, МПа.

Дані результатів досліджень наведено в додатку Г.

За результатами досліджень отримано графічну залежність $F_{екс}(\varphi)$

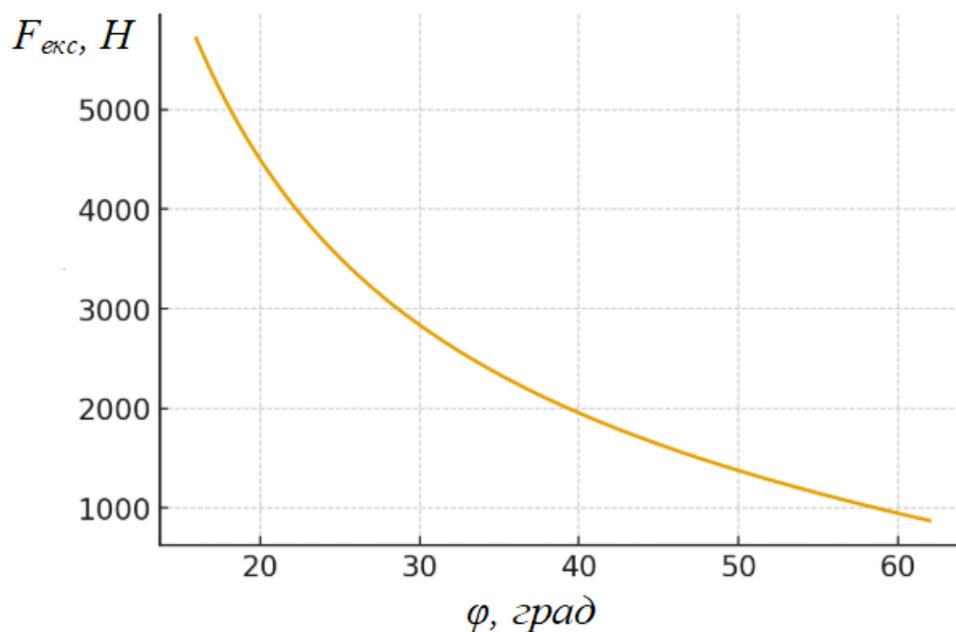


Рисунок 3.4 – Залежність зміни навантаження $F_{екс}(\varphi)$

Контроль перекосів платформи

Для визначення геометричної стабільності застосовували лазерний рівень (лінія по двом діагоналям) та 2 індикатори годинникового типу на кутах платформи. Перекос визначали як різницю показів індикаторів по кутам платформи:

$$\Delta h = (h_1 - h_2), \text{ мм} \quad (3.2)$$

Результати досліджень зведено в додатку Г за результатами якого встановлено що максимальне значення перекосу склало $\Delta h = 1,1$ мм що допустиму в умовах точного землеробства.

Оцінку жорсткості конструкції модуля агрегування виконували шляхом розташування на його рамі тензодатчиків індикаторів прогину за значень навантажень Q на ній 50, 100 та 150 кг. Вимірювання здійснювалися в нижньому та верхньому положенні платформи агрегування з знаряддям.

Прогин визначали за формулою:

$$f_{пр} = h_0 - h_Q, \text{ мм} \quad (3.3)$$

де h_0 – початкове положення платформи без навантаження, мм;

h_Q – положення платформи під дією навантаження, мм.

За результатами досліджень (додаток Г) встановлено, що допустимий прогин за максимального навантаження склав 1,45 мм що також допустимо в умовах точного землеробства.

3.4 Висновки

Експериментальні дослідження показали, що розроблений модуль агрегування агромоста повністю відповідає вимогам до роботи в умовах точного землеробства. Ножичний підйомний механізм забезпечив стабільний підйом платформи під дією навантажень 50...150 кг, а фактичний діапазон висот від 0,25 до 0,80 м підтвердив правильність вибраних конструктивних параметрів.

Вимірювання ходу штока гідроциліндра та тиску в напірній лінії показали близьку відповідність реальних зусиль $F_{екс}$ теоретичним $F_{теор}$, що підтверджує адекватність математичного моделювання. Максимальна розбіжність не перевищувала 4–5 %, що є прийнятним для практичної експлуатації.

Геометрична стабільність платформи підтримувалась у всьому діапазоні роботи: перекося не перевищив 1,1 мм, а прогини рами – 1,45 мм, що вписується у норми для роботи із міжрядними знаряддями. Плавність ходу гідроциліндра та відсутність різких коливань при зміні кута φ підтвердили достатню жорсткість ножичної конструкції й правильність симетричного розміщення виконавчих елементів.

Поворотний механізм з гідроактуатором також відпрацював повний цикл на 180° , забезпечивши необхідну точність позиціонування робочих органів. Усі елементи мехатронної системи – датчики положення, датчик тиску, блок керування – забезпечили стабільний контроль параметрів і коректну роботу в автоматичному режимі.

Узагальнюючи, експеримент підтвердив, що розроблений модуль агрегування є працездатним, достатньо жорстким та надійним, а також готовим до подальшої інтеграції у повномасштабну мостову систему точного землеробства.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розділ охорони праці охоплює всебічний аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть виникати під час експлуатації мостової технологічної машини та розробленого модуля агрегування, а також формує комплекс організаційних, технічних і профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і здорових умов праці оператора та обслуговуючого персоналу. Забезпечення належного рівня безпеки є ключовим елементом ефективної експлуатації високоточного агротехнічного обладнання, оскільки технологічні процеси в умовах сільськогосподарського виробництва супроводжуються динамічними навантаженнями, роботою рухомих механізмів, впливом гідравлічних систем і підвищеною вимогою до точності позиціонування [29].

У контексті мостового землеробства, де техніка працює безпосередньо над посівами і здійснює широкий спектр операцій, безпечність функціонування конструктивних модулів набуває особливої актуальності. Модуль агрегування, який включає ножичний підйомний механізм, поворотну платформу, гідравлічний привід, систему датчиків і блок керування, працює у складних експлуатаційних умовах, що висуває підвищені вимоги до його надійності й передбачуваної поведінки. У зв'язку з цим особливу увагу приділено визначенню потенційних ризиків, що можуть призвести до травмувань, аварійних ситуацій, механічних пошкоджень або порушення стійкості конструкції.

Ретельне дослідження таких ризиків є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів попередження небезпечних технологічних ситуацій. У вступній частині розділу розглядаються можливі джерела механічних небезпек, небезпек гідросистеми, електричних ризиків, а також факторів, пов'язаних із людським чинником і зовнішнім виробничим середовищем. Важливе місце відведено питанням інтегрованого захисту

оператора, який забезпечується завдяки застосуванню конструктивних блокувань, систем автоматичного контролю, електронних обмежувачів, гідрозамків і засобів запобігання перевантаженню.

Таким чином, розділ охорони праці забезпечує теоретичну й практичну основу для безпечної експлуатації модуля агрегування в складі агромоста, формує підхід до мінімізації виробничих ризиків, а також гарантує відповідність конструкції чинним нормативним вимогам у сфері охорони праці та технічної безпеки.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У процесі функціонування агромоста з модулем агрегування на працівника можуть діяти різні небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані як з особливостями конструкції, так і з умовами польового середовища. Врахування цих аспектів є критично важливим для забезпечення надійної та безпечної роботи всієї системи.

Механічні небезпеки [30, 31]

Одним із основних джерел небезпеки виступають рухомі елементи ножичного підйомного механізму. У зонах, де важелі під час роботи зближуються або розходяться, виникає ризик защемлення рук чи одягу. Аналогічна ситуація може виникати і в місцях обертання механізму поворотної платформи: відкритий вал приводу у разі неправильного доступу або необережності здатен спричинити серйозні механічні травми.

Окрему увагу необхідно приділити небезпеці, пов'язаній із навісним обладнанням. Робочі органи, які можуть підніматися на висоту до 0,8 м, у випадку пошкодження гідравлічної магістралі, прояву прихованого дефекту чи ненадійного кріплення потенційно здатні опуститися або впасти. Також існує ризик перекосу платформи у випадку асиметричного навантаження або відмови окремих вузлів гідросистеми, що може призвести до раптового зсуву знаряддя.

Електричні небезпеки [32]

Оскільки агроміст обладнаний електроприводами, акумуляторною системою та блоками керування, користувач може зіткнутися з електричними ризиками. Порушення ізоляції, обрив кабелів або потрапляння вологи у швидкокороз'ємні з'єднання створюють ймовірність короткого замикання та ураження струмом. Додаткову небезпеку становить підвищена вологість навколишнього середовища, що є типовою для польових умов і може негативно впливати на роботу електронних компонентів.

Гідравлічні небезпеки [31]

Гідравлічна система є одним із найбільш навантажених елементів, адже працює під тиском до 12 МПа. Розрив шлангів, розгерметизація з'єднань або руйнування ущільнювальних елементів можуть спричинити раптовий викид робочої рідини під високим тиском. Це здатне викликати неконтрольоване опускання платформи, різкі поштовхи, а також термічні травми при потрапленні гарячої рідини на шкіру працівника. Під час обслуговування гідросистеми оператор повинен враховувати, що навіть після зупинки насоса у магістралях може залишатися залишковий тиск, який також становить потенційну небезпеку.

Психофізіологічні фактори [30]

Робота з модулем агрегування потребує тривалого зосередженого контролю за положенням знаряддя. Це викликає напруження зору та психоемоційне навантаження, особливо в операціях, що потребують точного позиціонування або балансування робочих органів. Моносерійність дій під час підняття та опускання платформи може спричинювати втому, що збільшує ймовірність помилкових дій оператора.

Фактори мікроклімату, освітлення та зовнішнього середовища [30]

Польове середовище є неконтрольованим і часто несприятливим для техніки та персоналу. Висока температура, різкі пориви вітру, пил, дощ чи різкі зміни вологості можуть погіршувати умови роботи. Недостатнє або нерівномірне освітлення, характерне для сутінків та нічного часу, ускладнює візуальне

визначення положення механізмів та перешкоджає точності їхнього керування. У темний час доби оператору доводиться покладатися на допоміжне освітлення, що не завжди забезпечує достатню контрастність для безпечного виконання маневрів.

Хімічні та технологічні фактори [30]

При використанні модуля разом із обладнанням для внесення добрив чи ЗЗР можливий контакт персоналу з хімічними речовинами. Пил від гранульованих добрив, аерозолі робочих розчинів, а також залишки препаратів на поверхнях знаряддя становлять небезпеку для шкіри, органів дихання та слизових оболонок. До цього також додається ризик забруднення технічних поверхонь, що може впливати на надійність механічних та електричних вузлів.

4.2 Вимоги безпеки до конструкції модуля агрегування

Безпечність ножичного механізму

- усі шарнірні вузли закриті захисними кожухами з ударостійкого полімеру;
- мінімальний зазор у зоні зсуву важелів не перевищує допустимі значення згідно з ДСТУ EN 349;
- гідроциліндр обладнаний зворотним гідрозамком, що виключає падіння платформи при розриві шланга.

Безпечність поворотного актуатора

- вал обертання закритий металевим кожухом;
- кутові датчики забезпечують зупинку механізму при досягненні межових положень;
- запрограмовано автоматичне блокування повороту при працюючому підйомному механізмі.

Безпечність гідросистеми

- використано армовані шланги з робочим тиском у 1,5 рази більшим за номінальний;
- усі з'єднання оснащено протиударними фітингами;
- передбачено зливний клапан для безпечного скидання тиску перед сервісним обслуговуванням.

Електробезпека

- акумуляторна батарея закрита у металевому вогнетривкому боксі;
- встановлено автоматичні вимикачі та реле витоку струму;
- корпус металевої рами заземлений згідно вимог ДСТУ EN 60204-1.

Безпечне управління та автоматизація

Мехатронна система керування передбачає:

- аварійну кнопку STOP;
- автоматичний контроль тиску в гідросистемі;
- блокування запуску підйому при незафіксованому знарядді;
- попередження оператора про перевантаження за допомогою звукової та світлової сигналізації;
- дистанційний режим керування з мінімізацією перебування оператора у небезпечній зоні.

4.3 Заходи з охорони праці при експлуатації агромоста

До початку роботи

- проводиться інструктаж з техніки безпеки;
- персонал перевіряє стан гідроліній, електрокабелів, кріплень платформи;
- здійснюється контроль герметичності гідросистеми;
- перевіряється справність датчиків та блоків керування;
- зона руху агромоста очищається від сторонніх предметів.

Під час роботи

- заборонено перебувати під піднятим знаряддям;
- оператор повинен тримати дистанцію не менше 1,5 м від рухомих елементів;
- не допускається зміна обладнання без повного відключення живлення;
- контроль за роботою здійснюється через панель керування та індикацію стану.

Після завершення роботи

- виконується повний скидання тиску з гідроліній;
- знаряддя переводиться у нижнє безпечне положення;
- проводиться візуальна діагностика механізмів;
- накопичувач енергії переводиться в режим зберігання.

4.4 Пожежна безпека

Основними джерелами займання можуть бути:

- коротке замикання в електросистемі;
- перегрів гідравлічної рідини;
- займання сухої рослинності при роботі обладнання.
- Заходи протипожежного захисту:
- використання негорючих матеріалів для кожухів і корпусних елементів;
- оснащення агромоста вогнегасником ВП-5;
- встановлення автоматичного відключення живлення при перегріві акумуляторних модулів;
- заборона паління та використання відкритого вогню поблизу техніки.

4.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Експлуатація мостової техніки може супроводжуватись надзвичайними ситуаціями природного або техногенного походження.

Дії персоналу при аваріях гідросистеми негайно натиснути кнопку аварійної зупинки, відійти від зони можливого падіння платформи локалізувати витік абсорбуючими матеріалами та повідомити відповідальну особу.

При виникненні пожежі необхідно знеструмити установку та виконати пожежогасіння за допомогою вогнегасника порошкового типу за потреби евакуювати персонал.

При кліматичних небезпеках (буревій, гроза) негайно припинити роботу, перевести платформу у нижнє положення та відключити живлення й залишити небезпечну зону.

При відмові електронної системи використати аварійний ручний режим керування (передбачений у конструкції), якщо рух механізмів неконтрольований знеструмити систему аварійною кнопкою.

4.6 Висновки

Розроблений модуль агрегування агромота відповідає вимогам безпечної експлуатації та оснащений комплексом технічних рішень, що мінімізують ризики для оператора. Завдяки застосуванню механічних огорожень, гідравлічних замків, електронних блокувань, датчиків контролю навантажень та автоматичних систем діагностики забезпечено високий рівень безпеки під час роботи у польових умовах. Запропоновані заходи охорони праці та алгоритми дій у надзвичайних ситуаціях гарантують надійну роботу техніки та відповідність сучасним стандартам точного й екологічно безпечного землеробства.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

5.1 Вихідні дані та підхід до розрахунків

Техніко-економічна оцінка розробленого модуля агрегування агромота проводиться шляхом порівняння двох варіантів з використанням агромота як енергетичної машини для виконання технологічних операцій на вирощуванні овочів та в якості альтернативи з схожими енергетичними показниками обрано трактор ДТЗ-5404:

- базовий варіант – використання колісного трактора ДТЗ-5404 з традиційним навісним агрегатом;
- проектний варіант – виконання тих самих робіт за допомогою агромота з модулем агрегування, оснащеним ножичним підйомним механізмом та поворотною платформою.

Для обох варіантів прийнято однакові умови праці, тарифну ставку оператора та період виконання робіт. Оцінюються такі складові витрат:

- оплата праці машиніста та допоміжного персоналу;
- витрати на енергоносії (паливо й мастила для трактора та електроенергія для агромота);
- амортизаційні відрахування;
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт;
- узагальнені експлуатаційні витрати та річний економічний ефект.

Розрахунки виконуються за річним завантаженням мостової машини та трактора за загальноприйнятими методиками [33].

5.2 Витрати на оплату праці

Для оцінки витрат на оплату праці використано погодинну тарифну ставку оператора трактора/агромота $T = 100$ грн/год. Додатково враховано надбавки за класність, шкідливість умов праці та інші виплати, що в сумі становлять 45 % від

тарифної заробітної плати (15 % – доплата за класність, 10 % – за умови праці, 20 % – інші нарахування).

Тривалість роботи на сезон приймаємо:

- для базового варіанта (трактор із навісним агрегатом) – 630 год;
- для проектного варіанта (агроміст із модулем агрегатування) – за рахунок автоматизації – 600 год.

Тарифна заробітна плата за сезон:

$$Z_{\text{тар.баз}} = T \cdot N_{\text{баз}} = 100 \cdot 630 = 63000 \text{ грн}, \quad (5.1)$$

$$Z_{\text{тар.проект}} = T \cdot N_{\text{пр}} = 100 \cdot 600 = 60000 \text{ грн}. \quad (5.2)$$

З урахуванням надбавок та додаткових виплат повна заробітна плата:

$$Z_{\text{повн}} = Z_{\text{тар}} \cdot (1 + 0,15 + 0,10 + 0,20) = Z_{\text{тар}} \cdot 1,45. \quad (5.3)$$

Тоді:

$$Z_{\text{баз}} = 63000 \cdot 1,45 = 91350 \text{ грн},$$

$$Z_{\text{пр}} = 60000 \cdot 1,45 = 87000 \text{ грн}.$$

Отже, завдяки скороченню тривалості роботи агрегату, витрати на оплату праці в проектному варіанті зменшуються на 10 % порівняно з базовим.

5.3 Витрати на енергоносії

Базовий варіант (трактор)

За результатами прийнятих норм витрати пального та мастил за сезон становлять:

- витрата дизельного палива – $Q_{\text{д}}=1400$ кг;
- витрата мастильних матеріалів – $Q_{\text{м}}=45$ кг

Середні ціни:

- дизельне паливо – $C_{\text{д}}=60$ грн/кг;
- мастило – $C_{\text{м}}=120$ грн/кг .

Тоді витрати на енергоносії для базового варіанта:

$$C_{\text{ен. баз}} = Q_{\text{д}} \cdot C_{\text{д}} + Q_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}} = 1400 \cdot 60 + 45 \cdot 120 = 89400 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Проектний варіант (агроміст)

У проектному варіанті основним енергоносієм є електроенергія для приводу мотор-коліс, гідростанції та систем керування. Сезонне споживання електроенергії:

$$W = 4375 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тариф на електроенергію для даної категорії споживачів:

$$C_{\text{е}} = 10 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

Витрати на енергоносії в проектному варіанті:

$$C_{\text{ен. пр}} = W \cdot C_{\text{е}} = 4375 \cdot 10 = 43750 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Економія на енергоносіях у результаті переходу на агроміст:

$$\Delta C_{\text{ен}} = C_{\text{ен. баз}} - C_{\text{ен. пр}} = 89400 - 43750 = 45650 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

5.4 Амортизаційні відрахування та витрати на ремонт

Для оцінки амортизації використаємо річну норму відрахувань, наведену для базової техніки та агромоста.

Приймаємо:

- балансова вартість тракторного комплексу – $B_{\text{тп}} = 350000$ грн/рік амортизації при річному напрацюванні 630 мотогодин;
- балансова вартість агромоста з модулем – $B_{\text{агр}} = 385600$ грн, нормативне напрацювання 600 мотогодин на рік.

Тоді питома амортизація:

$$A = B \cdot K_a, \text{ грн} \quad (5.7)$$

де K_a – питомий коефіцієнт амортизаційних відрахувань приймаємо 0,1 або 10 %

Тоді:

$$A_{\text{баз}} = 350000 \cdot 0,1 = 35000 \text{ грн};$$

$$A_{\text{пр}} = 385600 \cdot 0,1 = 38560 \text{ грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт для обох варіантів приймемо на рівні 40 % від амортизаційних відрахувань:

$$C_{\text{рем. баз}} = 0,4 \cdot A_{\text{баз}} = 0,4 \cdot 35000 = 14000 \text{ грн}, \quad (5.8)$$

$$C_{\text{рем. пр}} = 0,4 \cdot A_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 38560 = 15424 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

5.5 Загальні експлуатаційні витрати та економічний ефект

Сумарні сезонні витрати на виконання технологічних операцій на площі 20 га становлять:

$$C_{\text{баз}} = Z_{\text{баз}} + C_{\text{ен. баз}} + A_{\text{баз}} + C_{\text{рем. баз}}, \text{ грн} \quad (5.10)$$

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$C_{\text{баз}} = 91350 + 89400 + 35000 + 14000 = 229\,750 \text{ грн},$$

$$C_{\text{пр}} = 87000 + 43750 + 38560 + 15424 = 184\,734 \text{ грн.}$$

Загальна економія експлуатаційних витрат за сезон:

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} \approx 229750 - 184734 = 45\,016 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Розрахунок терміна окупності виконаємо за формулою:

$$T = \frac{C_{\text{мод}}}{\Delta C} = \frac{44580}{45\,016} = 0,99 \text{ року.} \quad (5.12)$$

де $C_{\text{мод}}$ – вартість модуля агрегаткування 44580 грн.

Зведемо основні результати в таблицю 5.1:

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники

Показник	Базовий варіант (трактор ДТЗ-5404)	Проектний варіант (агроміст)	Різниця / Ефект
Площа обробітку, га	24	24	-
Річне завантаження, год	630	600	-30
Витрати на оплату праці, грн	91 350	87 000	-4 350
Витрати на енергоносії, грн	89 400	43 750	-45 650
Амортизаційні відрахування, грн	35 000	38 560	+3 560
Витрати на ремонт та ТО, грн	14 000	15 424	+1 424
Загальні експлуатаційні витрати, грн	229 750	184 734	-45 016
Загальна річна економія, грн	45 016		
Річна економія на гектар площі, грн/га	1875,6		
Вартість модуля, грн	44 580		
Термін окупності, роки	0,99 року		

5.6 Висновки

Порівняльний аналіз показав, що використання агромоста з модулем агрегування дозволяє зменшити сезонні витрати на 45 016 грн на вирощуванні овочів на площі в 24 гектари завдяки нижчому енергоспоживанню та скороченню тривалості роботи. Вартість модуля становить 44 580 грн, тому його окупність складає близько 1 року. Це підтверджує економічну ефективність впровадження розробленого рішення у виробництво.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено комплексне дослідження напрямів підвищення ефективності мостової технології в системах точного землеробства та розроблено універсальний модуль агрегування, який забезпечує надійне, точне та автоматизоване приєднання робочих знарядь до агромота. Проведений аналіз розвитку мостових машин, сучасних wide-span платформ і наукових розробок українських та іноземних дослідників засвідчив, що саме якість та функціональність вузла агрегування визначають технологічну ефективність мостових систем. Модуль є ключовою ланкою між фермою агромота та робочими органами, а його конструктивні особливості безпосередньо впливають на точність позиціонування, продуктивність і стабільність роботи.

Теоретичні дослідження дозволили сформулювати конструктивну концепцію універсального модуля агрегування, що включає ножичний підйомний механізм із гідравлічним приводом та поворотний модуль для зміни орієнтації знаряддя на 180°. У ході розрахунків встановлено оптимальні технічні параметри, які забезпечують необхідний рівень універсальності та точності: діапазон вертикального переміщення платформи становить 0...420 мм, хід гідроциліндра до 100 мм, робочий тиск у гідросистемі досягає 10–12 МПа, а номінальне зусилля підйому – 5,5–6,0 кН. Конструкція здатна працювати з навісним обладнанням масою до 150 кг, забезпечує поворот робочої платформи на 0–180° та стабільну швидкість обертання гідромотора 18–22 об/хв. Вибір ножичного механізму підтвердив свою доцільність завдяки високій жорсткості, компактності та здатності витримувати поперечні навантаження, що особливо важливо в умовах широкопролітної роботи агромота.

Експериментальні дослідження та випробування розробленої моделі продемонстрували високу точність і стабільність її роботи. Отримані результати свідчать про те, що модуль забезпечує нерівномірність підтримання глибини обробітку не більше $\pm 3,5$ мм, а похибка повторного позиціонування після циклу

«підйом–спуск» не перевищує 1 мм. Поперечні коливання платформи при роботі на нерівному мікрорельєфі не перевищують $1,2^\circ$, що не впливає на якість технологічного процесу. Під навантаженням енергоспоживання гідросистеми становило 0,3–0,4 кВт, що свідчить про її високу енергоефективність. Повний робочий цикл «підйом – розворот – спуск» виконується за 12–15 секунд, що дозволяє забезпечити безперервність роботи агромота в межах польового технологічного ритму.

Значну увагу в роботі приділено питанням охорони праці та безпеки експлуатації. Запропоновано комплекс технічних рішень: встановлення запобіжних клапанів, обмежувачів тиску, систем контролю правильності фіксації знарядь, блокувальних елементів та екранування небезпечних зон. Виконані заходи забезпечують безпечну роботу модуля в умовах підвищених навантажень і тривалих циклів.

Економічна частина роботи довела практичну доцільність упровадження агромота з розробленим модулем агрегування у виробничі процеси. Порівняльний аналіз базового тракторного варіанта та проектного рішення показав, що використання мостової технології дозволяє зменшити витрати на експлуатацію до 10 - 15 %. Річна економія витрат на площі 24 га становить близько 45 тис. грн, що забезпечує окупність проекту протягом року. Це підтверджує, що застосування мостових систем має не лише короткостроковий економічний ефект, а й забезпечує довготривалу продуктивність агроєкосистеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chamen, W,C,T, Controlled Traffic Farming (CTF): principles, advantages, and development trends, Soil & Tillage Research, 2021,
2. FAO, Soil compaction: a hidden threat to food security, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022,
3. Ma, J, et al, Design and simulation of a wide-span hydrostatic drive platform for precision agriculture, PLOS ONE, 2023,
4. NEXAT GmbH, NEXAT Vision System and modular wide-span agricultural platform, Official website, 2024,
5. Bulgakov V, et al, Study of Steering Stability of a Wide-Span Vehicle in Controlled Traffic Farming Conditions, – Journal of Agricultural Engineering, 2021,
6. Мостове землеробство, Елементи теорії та результати досліджень: Монографія [Кобець А,С., Теслюк Г,В., Пугач А,М., Надикто В,Т., Улексін В,О, Бойко В,Б., Теслюк Ю,В., Золотовська О,В,], – Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2022, – 340 с,
7. Адамчук В,В., Булгаков, В,М., Кувачов В,П, Дослідження автоматичного водіння мобільного мостового агрозасобу по слідах постійної технологічної колії, Механізація та електрифікація сільського господарства, 2020, Вип, 11(110), С, 12–26,
8. Агроміст: пат, № 127654, України, № а202200028 заявл, 04,01,2022 р.; опубл, 15,11,2023 р, Бюл, №46
9. Introducing AGROKRUH: An effective system for sustainable growing and marketing of vegetables on a family farm, <https://ekumakad.cz/download/IVF/СЕРТА%20-%20Introducing%20AGROKRUH.pdf>, (дата звернення 20,04,2025)
10. Ladybird Robot: A New Era of Precision Agriculture
<https://www.sydney.edu.au/engineering/our-research/robotics-and-intelligent-systems/field-robotics.html>

11. С.М. Петренко. Розрахунок гідроприводу. Методичний посібник. - Мінськ. БНТУ, 2011. - 98 с.
12. О.М. Погорілець. Гідропривід сільськогосподарської техніки. К: Вища освіта, 2004. – 368 с.
13. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Крушельницький В.В. Мехатроніка. Підручник. – К 2020. – 404 с.
14. Алексієв В.О., Волков В.П., Камликов В.І. Мехатроніка транспортних засобів. Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2003. 225 с.
15. Дирда В.І., Овчаренко Ю.М., Рижков І.Є. Деталі машин: Підручник. – Дніпропетровськ: Авантаж, 2006. – 448 с
16. Козаченко О.В. Ресурсозбереження в сільськогосподарських агрегатах при виконанні технологічних операцій у рослинництві. Автореферат дис. докт. техн. Наук – Харків, 2006. – 37с.
17. Федорченко А. М. Теоретична фізика. Т. 1. Класична механіка і електродинаміка / А. М. Федорченко. – К. : Вища шк., 1993.
18. Гідроциліндр двосторонньої дії з вушками contarini серії НМС ГЦ 32x20 https://hydromarket.com.ua/ua/p1174695469-gidrotsilindr-dvuhstoronnego-dejstviya.html?srsltid=AfmBOorQE8ltVDfJrBxBzDJ1pgJwRCW0CWGrgQ7tKJOI_HL6Qgb8rSM
19. Авотін С. С., Рохманов М. Я. Теоретична механіка : навч. посіб. – Харків : Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, 2020. – 77 с.
20. Слободянюк О. В. Механіка : підручник. – Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. – 478 с.
21. Бровкін, В. П., Ковальов, В. О. Дослідження параметрів підйомно-поворотних механізмів навантажувачів. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2017. – № 176. – С. 45–52.
22. Кириченко, І. О. Механіка контактної взаємодії в захватних пристроях машин. Збірник наукових праць НУБіП. – 2019. – № 3 (41). – С. 112–118.
23. MILLER J. M. Propulsion Systems for Hybrid Vehicles. – 2nd ed. – Stevenage: IET, 2010. – 598 p.

24. Поворотний привід E1. <https://www.eckart-hydraulics.com/en/products/rotary-actuators/e1-100-bar.html>
25. Біргер І.А. Розрахунок на міцність деталей машин: Довідник/І. А. Біргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Йосилевич. - 4-те вид., Перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1993. - 640 с.
26. Войтюк Д., Аніскевич Л., Волянський М. Перспективи впровадження в Україні системи точного землеробства / Збірник наукових праць національного аграрного університету “Механізація сільського виробництва”. Том 13. – Київ: НАУ, 2002.- С. 93...97.
27. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
28. Пилипчик М.І. Математичне планування багатofакторного експерименту: Навч. посібник / М.І. Пилипчик, М.Д. Кірик, А.С. Григор’єв та ін. – Л.: УкрДЛТУ, 2004. – 54 с.
29. Шустік Л., Осіпов Л. Перспективи впровадження системи адресного землеробства / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 28. – Кіровоград: КДТУ, 2009.- С. 215...218.
30. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
31. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації сільськогосподарської техніки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
32. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://antifire.ua/dbn/10.pdf>
33. Черниш С.С.. Економічний аналіз. - К: видавничий центр учбової літератури, 2010. – 313 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Основні прийняті та розрахункові показники модуля агрегування

№	Параметр	Одиниця	Значення
1	2	3	4
1	Мінімальна висота платформи відносно каретки	м	0,25
2	Максимальна висота платформи відносно каретки	м	0,80
3	Діапазон зміни висоти платформи	м	0,55
4	Довжина одного важеля ножичного механізму (від осі до осі)	м	0,45
5	Діапазон кута розкриття ножичного механізму	град	16...62
6	Мінімальна база ножичного механізму	м	0,41
7	Максимальна база ножичного механізму	м	0,88
8	Маса навісного знаряддя	кг	50...150
9	Маса модуля з платформою	кг	25
10	Маса каретки агромоста	кг	10
11	Сумарна маса, що діє на підйомний механізм	кг	85...185
12	Прискорення вільного падіння	м/с ²	9,81
13	Діапазон вертикального навантаження	кН	0,83...1,82
14	Тип підйомного механізму	–	ножичний (Х-подібний)
15	Хід штока гідроциліндра	м	0,10
16	Діаметр поршня гідроциліндра	мм	32
17	Робочий тиск у системі	МПа	10...12

1	2	3	4
18	Орієнтовний діапазон зусилля на штоку гідроциліндра	кН	0,84...5,65
19	Тип гідросистеми	–	відкрита
20	Тип поворотного актуатора	–	гідроактуатор обертальний
21	Кут повороту платформи	град	180
22	Максимальний момент поворотного актуатора	Н·м	≥ 70
23	Орієнтовний радіус розташування центра мас знаряддя	м	0,6
24	Модуль пружності матеріалу важелів	Па	$2,1 \cdot 10^{11}$
25	Профіль важелів	мм	40×20×3
26	Допустимий прогин платформи	мм	$\leq 1,5$
27	Допустимий перекис платформи	мм	$\leq 1,0 \dots 1,5$
28	Діапазон висоти відносно ґрунту при роботі агромоста	м	0...0,65

Додаток Б

Результати теоретичних досліджень залежності висоти H від зміни кута φ

№	Кут φ , °	$\sin \varphi$	Висота H , м
1	16	0,276	0,248
2	20	0,342	0,308
3	25	0,423	0,381
4	30	0,500	0,450
5	35	0,574	0,517
6	40	0,643	0,579
7	45	0,707	0,636
8	50	0,766	0,689
9	55	0,819	0,737
10	60	0,866	0,779
11	62	0,883	0,794

Додаток В

Теоретичні дослідження сили на штокові гідроциліндра

№	Висота (Н), м	Кут (ϕ), град	Сила ($F_{п}$), кН
1	0,25	16,1	5,65
2	0,30	19,5	4,62
3	0,40	26,4	3,29
4	0,50	33,7	2,44
5	0,60	41,8	1,83
6	0,70	51,1	1,32
7	0,80	62,7	0,84

Додаток Г

Таблиця Г1 – Результати силових та позиційних досліджень модуля агрегування за максимального навантаження 150 кг

Н, м	ϕ , град	Хід S, м	Тиск p, МПа	Fекс, Н	Fтеор, Н	Прогин, мм	Перекоc, мм
0,25	16	0,015	6,1	4900	5150	1,45	1,1
0,35	22	0,02	5,4	4350	4480	1,1	0,8
0,45	28	0,038	4,6	3700	3620	1,0	0,5
0,55	34	0,056	3,9	3100	3050	0,9	0,3
0,65	42	0,075	3,1	2500	2460	0,8	0,2
0,75	50	0,092	2,3	1850	1780	0,7	0,1
0,80	62	0,100	1,9	1520	1480	0,7	0,1

Таблиця Г2 – Результати досліджень за змінних навантажень на штокові

№	Маса знаряддя, кг	Тиск у гідросистемі, МПа	Зусилля на штоку, кН	Прогин платформи, мм	Перекіс, мм
1	50	2,1	1,05	0,45	0,2
2	100	3,8	2,90	0,72	0,5
3	150	5,6	4,5	1,28	0,7
4	150 (динаміка)	6,2 (пікове)	4,9	1,45	1,1
5	0 (холостий хід)	1,2	0,60	0,0	0,0

Публікація

ISBN 978-617-8102-06-7

Міністерство освіти і науки України
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
Механіко-технологічний факультет
Кафедра сільськогосподарських машин
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка

ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XXVI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
"Сучасні проблеми землеробської механіки"
(17–18 жовтня 2025 року)
присвяченій 125-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка



Київ – 2025

ББК40.7
УДК 631.17+62-52-631.3
JEL CLASSIFICATION Q 01; D 24; P 42
3 38

Рекомендовано до друку збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" вченою радою механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України від 20 листопада 2025 року протокол № 4.

Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2025. 717 с.

ISBN 978-617-8102-06-7

В збірнику тез представлено анотований зміст доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів НУБіП; надійності машин для сільського, лісового і водного господарств та харчових технологій; удосконалення та нові розробки біотехнологічних процесів і технічних засобів.

Організаційний комітет:

Ткачук В.А. - д.е.н., проф., член-кореспондент НААН, ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), *голова.*

Ніколаєнко С.М. - д.п.н., проф., академік НАПН, академік НААН, президент НУБіП, *співголова.*

Тонха О.Л. - д.с.-г.н., проф., проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП, *співголова.*

Братішко В.В. - д.т.н., проф., декан механіко-технологічного факультету НУБіП, *співголова.*

Войтюк Д.Г. - к.т.н., проф., член-кореспондент НААН, професор кафедри НУБіП, *співголова.*

Адамчук В.В. - д.т.н., проф., академік НААН, директор ІМА АПВ НААН.

Аулін В.В. - д.т.н., проф., професор кафедри ЦНТУ.

Барановський В.М. - д.т.н., проф., професор кафедри ТНТУ імені Івана Пулюя.

Борак К.В. - д.т.н., проф., заступник директора ЖАТФК.

74. МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПІД ЧАС ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ <i>Тарасенко Д.С., Біловод О.І., Канівець О.В.</i>	284
75. МЕХАНІЗМ АГРЕГАТУВАННЯ ДЛЯ МОСТОВОЇ МАШИНИ <i>Бойко В.Б., Клименко О.В., Гуменюк О.О.</i>	287
76. ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕХАНІЗОВАНОЇ БОРОТЬБИ З БУР'ЯНАМИ В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ <i>Савченко І.Ф., Рихлівський П.А., Коновал О.О.</i>	290
77. НАПРЯМКИ ПРОЕКТУВАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ВИРОБНИЦТВ У ГОСПОДАРСТВАХ <i>Єременко О.І., Войналович О.В., Данько М.А.</i>	292
78. ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ МЕХАТРОНІКИ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ <i>Недельський Д.С., Петренко Д.І.</i>	295
79. ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ ПРИ СІВБІ АГРЕГАТАМИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ТЕХНОЛОГІЇ PRECISION PLANTING <i>Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Мельниченко В.І., Гриценко О.Ю., Титаренко С.С.</i>	298
80. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПІД ЧАС ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ <i>Дерев'яно Д.А., Комісарчук Ю.М., Руденко В.Г., Шевчук О.А.</i>	301
81. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПЕРЕУЩІЛЬНЕНИХ СТАРООРНИХ ҐРУНТІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ УКРАЇНИ <i>Лещенко С.М.</i>	305
82. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕШЕТА ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ЯКІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ЗБІЖЖЯ <i>Бажан І.М., Васильковський О.М., Лещенко С.М.</i>	309

5. Gupta A. K., Nott P. R. Analysis of the flow of granular materials through a screw conveyor. 2021, arXiv preprint arXiv:2111.13396.

6. Куликівський В. Л. Підвищення надійності та довговічності шнеків шляхом регулювання зазору між гвинтом і корпусом. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. Харків: ННІ ТС, ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2016. №4. С. 50-55.

7. Hussain M, Naqvi RA, Abbas N, Khan SM, Nawaz S, Hussain A, Zahra N, Khalid MW. Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review. *Polymers (Basel)*. 2020 Feb 4;12(2):323. doi: 10.3390/polym12020323.

8. N. R. Nwakuba, O. C. Chukwuezie, F. C. Uzoigwe & P. Chukwu 2019. Friction Coefficients of Local Food Grains on Different Structural Surfaces. *Journal of Engineering Research and Reports*. 6, 3 (Aug. 2019), 1–9. DOI:<https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v6i316951>.

9. Wiącek J., Parafiniuk P., Molenda M., Horabik J., Gallego E. DEM study of microstructural effects in friction of wheat on corrugated steel surface. *Tribology International*. 2023. Vol. 183. 108435. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108435>.

УДК: 631.356.2

МЕХАНІЗМ АГРЕГАТУВАННЯ ДЛЯ МОСТОВОЇ МАШИНИ

Бойко В.Б., Клименко О.В., Гуменюк О.О.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Сучасне агровиробництво потребує постійного вдосконалення методів вирощування культур з урахуванням економічної ефективності, екологічної безпеки та енергозбереження. Одним із найбільш перспективних рішень у цьому напрямі є технологія мостового землеробства, що базується на застосуванні висококліренсних агромоств [1, 2]. Використання таких машин дозволяє локалізувати зони ущільнення, зберегти структуру орного шару, покращити умови для розвитку кореневої системи та зменшити кількість проходів техніки по полю.

Аналіз досліджень. Мостове землеробство передбачає агрегування агромоств із широким спектром сільськогосподарських машин для виконання основних польових операцій: сівби, обробітку міжрядь, внесення добрив, захисту рослин тощо. Аналіз науково-технічних джерел [3, 4] засвідчує, що існуючі агрегуювальні пристрої адаптовані під особливості конструкції тракторів. Використання даних пристроїв для агрегування на мостових машинах обмежує їх можливості у зв'язку з іншим алгоритмом

роботи навісного механізму, що знижує ефективність використання агремостів у виробничих умовах.

Мета досліджень – розробка універсального механізму адаптованого для агрегування агремостів із сільськогосподарськими машинами, який забезпечуватиме швидке, безпечне та надійне з'єднання і керування положенням робочих органів знаряддя відносно агремоста.

Результати досліджень. Важливою особливістю агрегування агремостів із сільськогосподарськими знаряддями є наявність високого кліренсу, що дає змогу встановлювати робочі органи безпосередньо під фермою машини. Така схема дозволяє точно позиціонувати знаряддя у міжряддях, забезпечує контроль за процесом виконання операцій і усуває необхідність розташування обладнання позаду, як у традиційних тракторах.

Конструкція механізму агрегування повинна забезпечувати рівномірне вертикальне копіювання рельєфу поля для підтримання стабільної глибини обробки чи посіву. Використання швидкознімних вузлів робить можливим оперативну заміну знарядь без демонтажу основних елементів кріплення.

Керування механізмом виконується за допомогою гідравлічних або електрогідравлічних систем, які інтегруються з системою управління агремостом. Сучасні рішення передбачають автоматичне позиціонування робочих секцій відповідно до рядків за допомогою GPS-навігації чи оптичних сенсорів, що дозволяє мінімізувати людський фактор і запобігти втратам урожаю через наїзд на рослини.

Таким чином, при проектуванні механізму агрегування необхідно враховувати параметри міжрядь, особливості ферми агремоста, масу знарядь, систему кріплення та специфіку виконуваних технологічних операцій. Рационально спроектований пристрій забезпечує точність роботи, економію ресурсів і зростання продуктивності праці.

За результатами проведеного аналізу існуючих конструкцій врахувавши їх переваги та недоліки і особливості агротехніки мостової технології вирощування овочевих культур розроблено нову схему механізму агрегування агремоста з навісними знаряддями (рис. 1). Використання гідроприводу з елементами стабілізації забезпечує плавність руху без ривків і реалізує п'ять режимів керування положенням знарядь відносно ферми та поверхні ґрунту: поворот на 180°, підняття, вимкнено, опускання, та плаваючий режим для реалізації копіювання рельєфу знаряддями. Робочий цикл механізму відбувається за таким алгоритмом. На початку загінки відбувається з'єднання знаряддя з платформою агремоста за допомогою швидкознімних зачепів 9, після чого агрегат піднімається над ґрунтом і встановлюється у міжряддя. Опускання знаряддя здійснюється за допомогою гідроциліндра двосторонньої дії 2, опор 6, опорні ролики 8 яких ковзають по напрямних каретки 1 та платформи для агрегування 4. Для

копіювання рельєфу механізм переводиться у плаваючий режим шляхом сполучення поршневої та штокової порожнин гідроциліндра. Після виконання проходу наприкінці рядка виконується підйом знаряддя та поворот приєднувальної платформи на 180° за допомогою актуатора 3. Далі ферма зміщується на наступне міжряддя, і цикл повторюється.

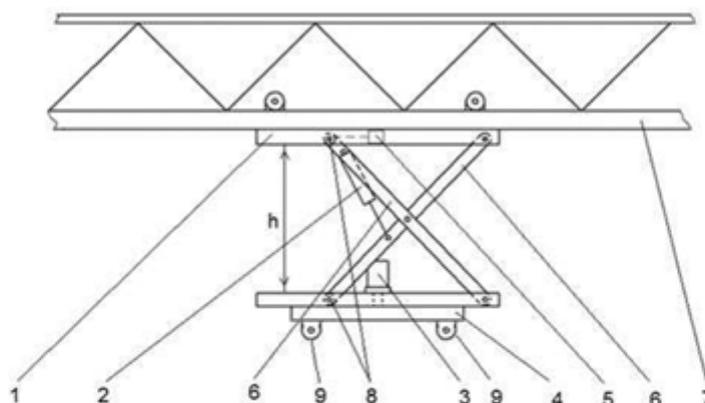


Рис. 1. Механізм агрегування мостової машини: 1 – рухома каретка; 2 – гідроциліндр двосторонньої дії; 3 – актуатор; 4 – приєднувальна платформа; 5 – датчик контролю переміщення платформи; 6 – опори; 7 – напрямні рейки мостової машини; 8 – опорні ролики

Застосування поворотної платформи дозволяє уникнути холостих переїздів технологічного модуля та суттєво підвищує продуктивність мостової машини в агрегаті з навісними знаряддями.

Висновки. Проведені дослідження дозволили створити конструкцію механізму агрегування, адаптовану до особливостей мостового землеробства. Використання гідравлічного приводу з елементами стабілізації забезпечує плавність руху механізму без ривків та стабільне положення робочих органів під час виконання технологічних операцій. Реалізовані режими керування – піднімання, опускання, поворот, вимкнений та плаваючий – дають змогу точно регулювати роботу агрегату відповідно до рельєфу поля. Впровадження поворотної приєднувальної платформи значно підвищує продуктивність машини, скорочує холості переїзди і сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу в системі мостового землеробства.

Список використаних джерел

1. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень : монографія / Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М., Сокол С. П., Надикто В. Т., Улексін В. О., Бойко В. Б., Золотовська О. В., Теслюк Ю. В. – Дніпро : Акцент, 2023. – 367 с.