

**ДНІПРОВСЬКИЙ 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:

### **Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-2-20  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Кириленко Костянтин Романович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2021

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

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

Кириленку Костянтину Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«17» листопада 2021 року № 3539

2. **Строк подання студентом роботи** 01.12.2021 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного стану та перспективи модернізації засобів малої механізації 2. Теоретичні дослідження умов стійкості руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом. 3. Експериментальні дослідження основного обробітку ґрунту мотоблоком з лемішно-полицевим плугом. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність впровадження. Висновки. Список використаних джерел.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Експериментальні дослідження 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вінніченко І.І., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 28.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 28.05.2021 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 09.07.2021 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 24.09.2021 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 15.10.2021 р.	Виконав
5	Економічний	до 05.11.2021 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 06.12.2021 р.	Виконав

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ ( прізвище та ініціали )



## РЕФЕРАТ

Кириленко К.Р. Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

**У першому розділі** представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

**У другому розділі** приведено теоретичні дослідження умов стійкості руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом.

**У третьому розділі** представлено методику та лабораторне оснащення, вибрано раціональні режими роботи мотоблока, проведено польові випробування дослідного зразка.

**У четвертому розділі** приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

**У п'ятому розділі** приведена економічна ефективність проекту модернізації

**Ключові слова:** мотоблок, плуг, леміш, поступальна швидкість руху, буксування, споживана потужність, варіатор.

Кириленко К.Р. Математична модель взаємодії лапи з середовищем / К.Р. Кириленко // Матеріали за XVII міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school – 2021, 17-25 November, 2021: Софія. «Бял ГРАД-БГ» - С. 57-61.



РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	68
4.1 Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві.....	68
4.2 Небезпечні та шкідливі фактори, які можуть вплинути на працівника.....	68
4.3 Санітарно-виробничі заходи в господарстві.....	69
4.4 Вимоги безпеки до робочого процесу при обробітку ґрунту...	70
4.5 Рекомендації виробництву.....	71
4.6 Вимоги до створення сільськогосподарської техніки.....	72
4.7 Рекомендації з охорони праці при роботі на машині.....	73
4.8 Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки.	74
4.9 Технологія розробки логіко-імітаційної моделі виробничих небезпек.....	75
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ	79
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ.....	89

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день при здійсненні господарської діяльності в особистих селянських та фермерських господарствах все більшого використання набувають енергетичні засоби малої механізації – мотоблоки, які агрегуються із широким номенклатурним рядом сільськогосподарського інвентаря, у тому числі інструментами для основного обробітку, зокрема лемішно-полицевими плугами. Водночас, з метою зниження їх вартості, виробники спрощують конструкцію машин, виключаючи багатоступінчасті коробки швидкостей, що значно обмежують вибір раціональних режимів роботи в залежності від конкретних умов експлуатації, що призводить до зниження його продуктивності та погіршення якості обробітку, а також збільшення витрат потужності на виконання технологічної операції. Тому дослідження, спрямовані на підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом, у тому числі за рахунок розширення експлуатаційних діапазонів та обґрунтування раціональних швидкісних режимів роботи в різних ґрунтових умовах, є актуальними та мають практичну цінність.

**Метою роботи** є підвищення продуктивності мотоблока з лемішно-полицевим плугом за рахунок вибору раціональних швидкісних режимів за критеріями стійкості руху та споживаної потужності.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- виконати теоретичні дослідження стійкості руху та визначити умови необхідні для його забезпечення;
- дослідити енергоємність процесу основного обробітку ґрунту та запропонувати аналітичні вирази для визначення енергетичних показників функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом;
- провести лабораторні дослідження та встановити регресійні залежності енергетичних характеристик взаємодії корпусу лемішно-полицевого плуга з ґрунтом та тягові показники мотоблока, в залежності від

твердості, швидкості руху та конструктивних параметрів;

- ґрунтуючись на результатах теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтувати раціональні швидкісні режими експлуатації мотоблока та запропонувати конструктивні рішення для їх забезпечення;

- виконати техніко-економічну оцінку впровадження розробки.

**Об'єкт досліджень** – умови та показники функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом.

**Предмет досліджень** – стійкість руху та швидкісні режими мотоблока з лемішно-полицевим плугом, їх взаємозв'язок з конструктивно-технологічними параметрами та механіко-технологічними властивостями оброблюваного ґрунту.

**Наукову новизну представляють** регресійні залежності енергетичних характеристик процесу основного обробітку ґрунту мотоблоком з лемішно-полицевим плугом в залежності від його твердості, швидкості руху та конструктивних параметрів агрегату.

**Теоретична та практична цінність роботи.** раціональні режими функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом; результати техніко-економічної оцінки впровадження розробки

**Методика досліджень.** Теоретичні дослідження виконані з використанням методів класичної механіки, моделювання, теорії планування експерименту, оптимізації, статистики та ін. Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторно-польових умовах на основі загальноприйнятої методики. Обробку та аналіз результатів виконували із використанням програмного забезпечення Excel, Компас 3D, MathCad.

**Особистий внесок здобувача:** аналіз досліджень та публікацій щодо стану питання підвищення ефективності використання мотоблоків для основного обробітку ґрунту; участь у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень щодо розробки та аналізу математичних моделей та обґрунтування режимів і параметрів експлуатаційних режимів; побудова та аналіз графічних залежностей.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ МАЛОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ**

### **1.1 Види, область використання та коротка характеристика засобів малої механізації (мотоблоків)**

Зниження трудомісткості і скорочення термінів обробки ґрунту, а отже, підвищення продуктивності особистих підсобних господарств, є важливими завданнями при вирощуванні сільськогосподарських культур. Розмір присадибних ділянок, їх місце розташування накладають обмеження в застосуванні тракторів великої потужності. У зв'язку з цим для проведення обробки ґрунту актуальним є застосування малогабаритної сільськогосподарської техніки класу 0,2 (міні-трактори), а також мотоблоків і мото-культиваторів.

Від способу передачі енергії від двигуна внутрішнього згоряння і типу робочих органів, можна визначити вид малогабаритної ґрунтообробної машини: мотоблок, мото-культиватор або міні-трактор (рис. 1.1).

Серед вище зазначених засобів малої механізації найбільш поширеним і широко застосовуваним є мотоблок. Мотоблок є універсальною багатофункціональною машиною, що включає в себе весь спектр виконуваних технологічних операцій проведених в домашньому господарстві: суцільний і міжрядний обробіток (оранка, боронування, підгортання) [20]. Крім цього, він використовується і для інших робіт, до числа яких відносяться: скошування трави, прибирання коренеплодів, чистка снігу, прибирання сміття, підмітання території, перевезення вантажів, перекачування води та ін. [20, 21, 26].

При цьому, в силу своїх конструктивних особливостей міні-трактори та мото-культиватори можуть виконувати лише певний перелік робіт.

Мотоблок складається з двигуна, трансмісії, ходової частини, а також фрезерних і змінних робочих органів.

Однією з найважливіших складових частин мотоблока є його двигун. При виробництві мотоблоків застосовуються бензинові, дизельні, рідше електричні двигуни.

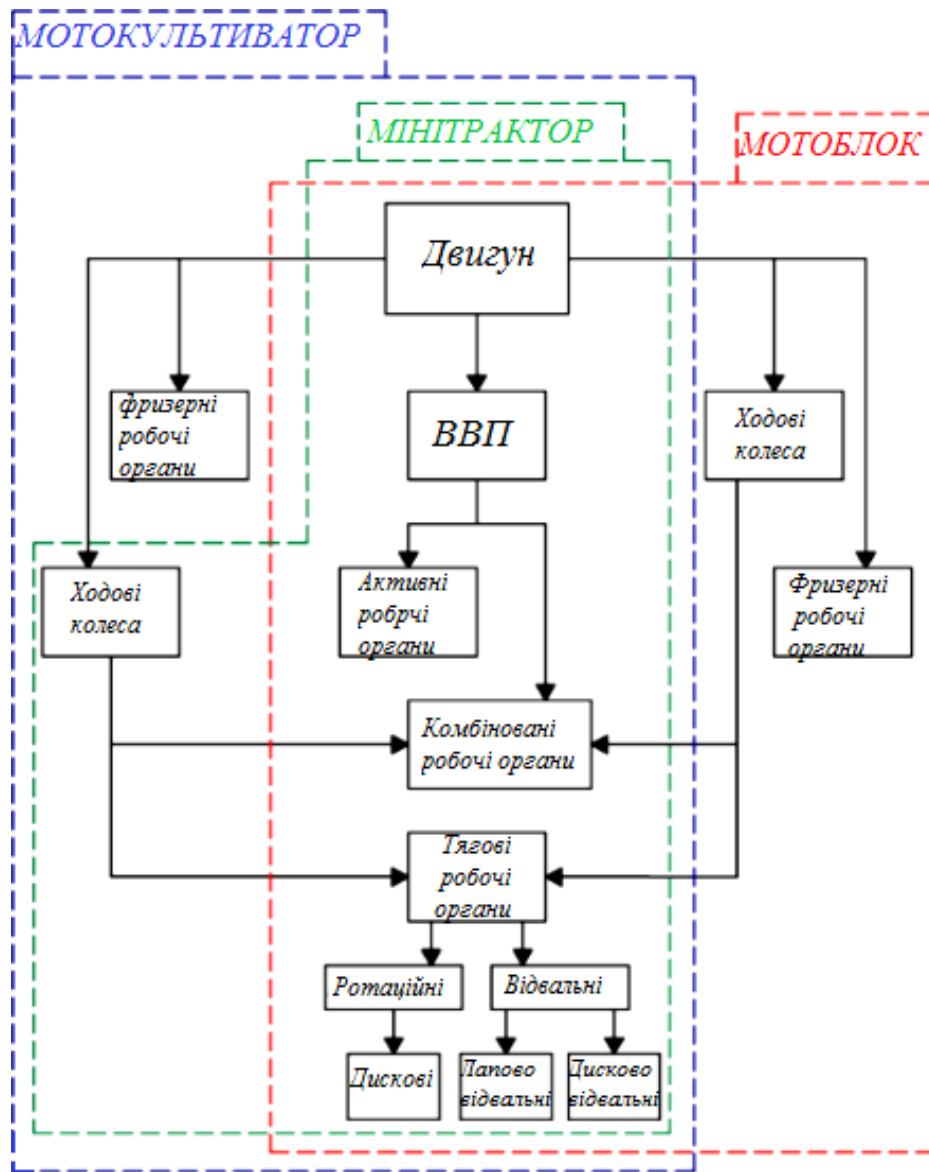


Рисунок 1.1 – Структурна схема засобів малої механізації при комплектуванні різними типами робочих органів

Згідно ГОСТ 28523-90 конструкції мотоблоків поділяються на легкі - до 4 кВт, середні - від 4 до 9 кВт і важкі – понад 9 кВт [56]. Легкі мотоблоки зазвичай комплектуються фрезами. Мотоблоки середнього і важкого класу мають змінні ходові колеса і комплектуються тяговими і причіпними робочими органами.

Сучасні модифікації мотоблоків оснащуються широким спектром різних типів трансмісій, в число яких входять зубчасті, зубчато-черв'ячні, пасово-зубчато-ланцюгові, застосування яких залежить від класу мотоблока.

Пасово-зубчато-ланцюгова передача є найбільш поширеним і широко використовуваним типом передач при виробництві мотоблоків. В процесі роботи двигун мотоблока за допомогою клинопасової передачі, обертає тихохідний (вхідний) вал зубчастого редуктора, що є в більшості випадків коробкою передач.

Пасова передача при цьому, несе в собі функції зчеплення з можливістю реверсивного руху, а один з струмків ведучого шківа передачі одночасно може бути механізмом відбору потужності. Зубчаста передача, представлена одноступінчастим або багатоступеневим редуктором, застосовується в конструкціях мотоблока для передачі руху від пасової передачі до ланцюгової. Ланцюгова передача, в свою чергу, дозволяє найбільш надійно і в повній мірі передати крутний момент на рушії мотоблока, при цьому конструкція ланцюгової передачі, найчастіше представленої ланцюговим редуктором, дозволяє збільшити агротехнічний просвіт.

Сьогодні існують кілька класифікацій засобів малої механізації. [23, 34, 35, 36, 36]. В праці [24], виходячи з умов спрямованих на підвищення продуктивності праці, було отримано класифікацію засобів малої механізації базуючись на наступних трьох факторах:

- використовується схема взаємодії оператора з машиною і машини з об'єктом обробки або транспортування;
- загальна конструктивна схема машини, пов'язана з її призначенням;
- пристосованість до виконання тих чи інших технологічних операцій у складі машинно-тракторного агрегату.

Відповідно до цієї класифікації за способом взаємодії оператора з машиною малогабаритні ґрунтообробні машини діляться на: пішохідні, їздові і пішохідно-їздові.

Пропонована в джерелі [7] класифікація виділяє 4 види засобів малої механізації, систематизованих за типом управління: їздові, пішохідні, переносні і стаціонарні. До їздових засобів малої механізації відносяться трактори; до пішохідних - мотоблоки, мото культиватори, керовані оператором в пішому порядку; до переносних відносять ручної, утримуваній на руках, неоплачених ременях ґрунтообробний агрегат, а також спирається на опорні катки або санчата (наприклад мотокози).

Також важливим класифікаційною критерієм є розмір оброблюваної поверхні і маса мотоблока (рис. 1.2). Залежно від площі ділянки підбирається мотоблок з певною потужністю двигуна (табл. 1.1).



Рисунок 1.2 – Конструкції мотоблоків в залежності від маси. а - легкі; б - середні; в - важкі.

При цьому необхідно враховувати, що недолік потужності мотоблока при роботі може привести до великих навантажень на елементи конструкції і як наслідок швидкого, передчасного виходу з ладу мотоблока.

Крім цього, чимало важливим фактором при виборі мотоблока є і тип оброблюваної ґрунту. Для легких і середніх ґрунтів оптимально підходить конструкції легких і середніх мотоблоків, маса яких не перевищує 100 кілограмів, а потужність двигуна знаходиться в діапазоні від 3,5 до 9 кВт. На важких, глинистих ґрунтах оранка ґрунту проходить в більш важких умовах, тому потрібне застосування важких мотоблоків з потужністю двигуна вище 9кВт.

Таблиця 1.1 – Умовна класифікація мотоблоків

Площа ділянки	Потужність двигуна, кВт	Глибина обробки, см	Вага, кг	Клас мотоблока
до 15 соток	3,5 – 4,0	до 20	до 70 кг	легкий
до 30 соток	4,0 – 5,0	до 20	до 100 кг	середній
до 60 соток	5,0 – 7,0	до 30	до 100 кг	
1-2 гектара	7,0 – 9,0	до 30	до 100 кг	
2-4 гектара	9,0 і більше	до 30	більше 100 кг	тяжкий
більше 4 гектар	не ефективно			

Також одним з визначальних класифікаційним ознакою, на якому базуються всі існуючі класифікації засобів малої механізації, є роль оператора в їх управлінні.

В результаті проведеного аналізу, було виявлено, що вищевказані класифікаційні ознаки актуальні для всіх відомих самохідних ґрунтово-обробних машин будь це мото-культиватор, міні-трактор або мотоблок і лежать в основі існуючих класифікацій, запропонованих рядом авторів [16, 18, 26].

Аналіз конструкцій і технічних характеристик мотоблоків показує, що як вітчизняні, так і зарубіжні машини розділені на дві групи за принципом переміщення, а саме за рахунок ходових коліс і за рахунок реакцій сил різання ґрунту робочими органами. Як джерело енергії використовуються в основному ДВЗ, рідше електродвигуни.

Крім цього, застосовуються в конструкціях мотоблоків трансмісії мають обмежену кількість передач, обумовлене спрощенням конструкції машини, зниженням трудомісткості її виготовлення і вартості.

Даний факт негативним чином позначається на функціональних можливостях мотоблока. В процесі проведення сільськогосподарських операцій, мотоблоки комплектуються великою кількістю різних типів змінних адаптерів (табл. 1.3), привід яких здійснюється двома основними способами: відпривідних коліс і використанням валу відбору потужності (ВВП). За способом використання енергії змінні адаптери поділяються на 3 основні типи: активні, комбіновані і тягові робочі насадки (органи) [45]. Всі ці органи є опціями і не входять в базову комплектацію мотоблока.

Таблиця 1.2 – Характеристики змінних адаптерів для мотоблоків.

Вид приводу	Тип змінного адаптера	Вид змінного адаптера
Вал відбору потужності (ВВП)	активні змінні адаптери	Помпа, подрібнювач деревних відходів
	комбіновані змінні адаптери	роторна косарка, сегментно-пальцева косарка, щітка, культиваторна фреза, зворушувач сіна
Привідні колеса		Картоплесаджалка, картоплекопач, механічна сівалка зернова
	тягові змінні адаптери	Окучник, дисковий окучник, плуг, оборотний плуг, Візок для перевезення вантажів, Лопата-полиця Борона зубчаста, (дискова) граблі

Активні змінні адаптери застосовуються в тих випадках, коли мотоблок використовується стаціонарно, в якості джерела енергії. Тягові змінні адаптери агрегатуються при установці їх на мотоблок спільно з провідними колесами. Залежно від виду виконуваних робіт застосовуються пневматичні

та металеві колеса. Робота комбінованих змінних адаптерів здійснюється шляхом спільного впливу на них двох видів приводу: ВВП і ведучих коліс.

Застосування різних видів приводів необхідно для правильного функціонування насадок і обумовлено їх конструкцією. Конструкції існуючого навісного обладнання на мотоблок представлені на (рис. 1.3, 1.4).



Рисунок 1.3 – Змінні адаптери з приводом від валу відбору потужності:  
а - роторний (сніговідкидачі); б - роторна косарка; в - сегментно-пальцева косарка; г - щітка; д - помпа; е - насадка-культиваторна фреза.

Існуючі моделі змінних адаптерів, що встановлюються на мотоблоки, спрямовані на виконання різного роду технологічних операцій, серед яких особливе місце займає обробка ґрунту. Пов'язано з тим, що найбільша частка енергії, що витрачається у виробництві сільськогосподарської продукції припадає на обробку ґрунту. Від якості та своєчасності її проведення безпосередньо залежить врожайність вирощуваних культур.



Рисунок 1.4 – Змінні адаптери, що агрегатуються з привідними колесами:  
 а - окучник (подвійний окучник); б - дисковий окучник; в - плуг; г - оборотний плуг; д - картоплесаджалка; е - картофелевикапиватель пасивний; ж - картоплекопач механічна; з - візок для транспортування вантажів і - сівалка зернова; к - лопата- полиця; л - борона зубчаста; м - граблі.

## 1.2 Класифікація способів обробітку ґрунту

Обробка ґрунту в першу чергу має на увазі під собою механічний вплив на неї робочих органів ґрунтообробних машин. Під їх дією в ґрунті виникають фізичні процеси, спрямовані на: руйнування структури і зміна її властивостей; регулювання швидкості протікання біологічних процесів і підтримки прийняттого рівня санітарного стану ґрунту, що визначається ступенем чистоти ґрунту від бур'янів, хвороботворних шкідників, а також токсичних речовин [33, 39].

Від глибини обробки і виконуваних операцій існують основна, глибока,

поверхнева і дрібний обробіток ґрунту [20, 55] (рис. 1.5)

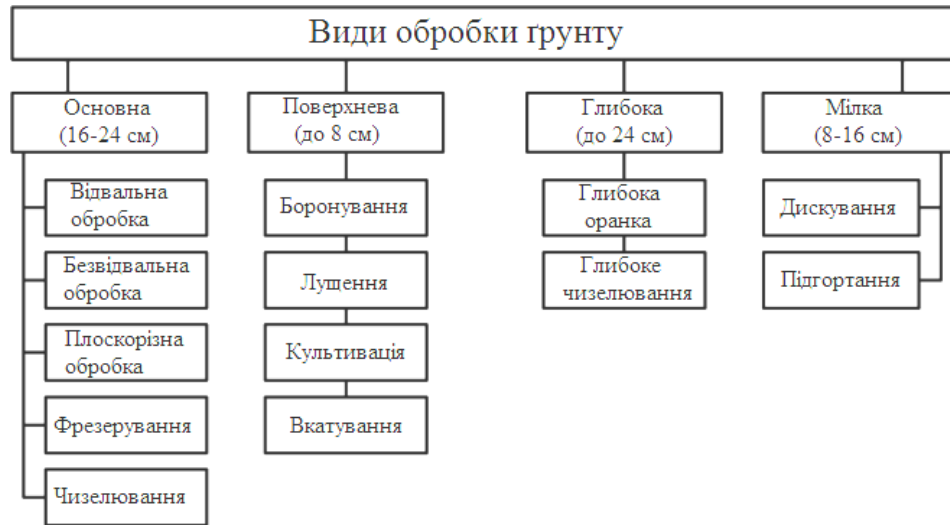


Рисунок 1.5 – Види обробки ґрунту

### 1.3. Аналіз конструктивних особливостей плугів мотоблоків

При проведенні оранки ґрунту мотоблоком застосовують плуги [20, 21, 24], одним з важливих критеріїв при підборі яких, є модель мотоблока. Для кожного виду мотоблока, наприклад Нева, Каскад, МТЗ і т.д. використовується відповідний вид робочого органу. Важливим моментом при установці плуга є вибір зчіпки, яка кріпиться до рами мотоблока [50].

Існують 2 основних види зчіпок для мотоблоків: універсальна (рисунок 1.6 а) і стандартна (рисунок 1.6 б) зчіпки.

Перевагами універсальної зчіпки перед стандартною, є багатофункціональність конструкції, в результаті чого за допомогою однієї цієї зчіпки до мотоблока може кріпити весь спектр навісного та причіпного обладнання: плуг, картоплекопач і ін. Крім цього, застосування універсальної зчіпки дозволяє здійснювати більш точні регулювання плуга для проведення оранки ґрунту. У свою чергу застосування простої (стандартної) зчіпки обмежена виконанням лише однієї операції, і призначена для роботи тільки одним певним видом змінного агрегату, наприклад, тільки з плугом.



Рисунок 1.6 – Види зчіпок мотоблоків: а – універсальна зчіпка; б – стандартна зчіпка

Для обробки важких ґрунтів доречно застосовувати посилену зчіпку, має високу надійність і міцність матеріалу з якої вона виготовлена. Така зчіпка, як правило, встановлюється на важкі мотоблоки і дозволяє орному агрегату виконувати оранку ґрунту на максимальну допустиму глибину.

Залежно від виду зчіпки вибирається тип плуга. В даний час існують і широко застосовуються сучасні та ефективні конструкції плугів, які поділяються на чотири основні типи [28]: лемішно-полицеві однокорпусні (рис. 1.7а); лемішно-полицеві оборотні (реверсивні) (рис. 1.7б); роторні (рис. 1.7 в); дискові (рис. 1.7г).

Лемішно-полицеві однокорпусні плуги мають в своїй конструкції леміш, полицю, закріплені на рамі і стійці корпусу та застосовуються для обробки легких і середніх за складом ґрунтів. При оранці ґрунту таким плугом пласт ґрунту перевертається лемішем тільки в одну сторону [22].

Лемішно-полицеві оборотні або реверсивні плуги призначені для застосування на набагато твердіших ґрунтах, після обробки якого, він стає більш розсипчастим. До того ж, ріст бур'янів, після оранки практично не відбувається.

Роторний плуг для мотоблока в своєму складі має кілька ножів, розташованих на одній осі і мають вигнуту форму. В процесі роботи вісь, на якій встановлені ножі, обертається, перевертаючи ґрунт [21]. Роторний плуг здатний обробляти ґрунт на глибину 25-30 см при прикладанні мінімальних зусиль. Відмінною особливістю конструкції роторного плуга є те, що

пересування по оброблюваній ділянці, можливо, здійснювати не тільки в прямому напрямку, а й по різних траєкторіях.



Рисунок 1.7 – Існуючі конструкції плугів до мотоблоків. а - однокорпусний лемішно-полицевий плуг; б - оборотний лемішно-полицевий плуг; в - роторний плуг; г - дисковий плуг.

У конструкції дискового плуга мотоблока є сферичні диски, які підрізають ґрунт. Його доцільно застосовувати ранньою весною при обробці важкого і сильно зволоженого ґрунту.

З усіх вище представлених типів плугів найбільш ефективним є оборотний плуг. Однак через високу вартість його і агрегування з ним тільки зчіпки (рис. 1.8), застосування оборотного плуга вкрай рідко.

У зв'язку з високою ціною оборотного плуга широкого поширення набула конструкція лемішного-полицевого однокорпусного плуга.



Рисунок 1.8 – Зчіпка, що агрегуються з оборотним плугом

При цьому в такому плугові з існуючих типів плужних корпусів (культурний, пів-оборотний, роторний, безполицевий, комбінований, дисковий) як правило, застосовується стандартний тип полиці.

Перед початком проведення оранки і після завершення комплектування орного агрегату мотоблок-зчіпка-плуг, необхідно провести ряд регулювань, які включають в себе налаштування глибини оранки, виставлення кута нахилу польової дошки, щодо носка плуга і регулювання кута нахилу полиці. При цьому слід врахувати, що регулювання плуга мотоблока необхідно проводити в два етапи, що залежать від способу руху агрегату по оброблюваній ділянці в борозні [27].

Перший етап полягає в налагодженні плуга для проведення роботи, спрямованої на нарізання прямої просапної борозни, що визначають окремі частини плуга. Глибина просапної борозни встановлюється на половину глибини оранки ґрунту (8-10 см). Від правильності і прямолінійності її нарізки залежить якість подальшої обробки ґрунту. Кількість просапних борозен не обмежується однією, воно залежить від розміру ділянки і способу руху мотоблока з плугом.

Регулювання плуга [60] на задану глибину оранки здійснюють за допомогою двох колодок. Висота колодок залежить від глибини оранки, яка визначається агротехнічними вимогами до обробки ґрунту. Вибравши підставки що підходять, необхідно поставити їх на рівну поверхню ґрунту на відстані один від одного рівним ширині колії між привідними колесами, після чого встановлюємо на них мотоблок. Плуг повинен торкатися поверхні ґрунту всім краєм леміша, а польова дошка всією довжиною, після чого необхідно приєднати його до зчіпки. Стійка корпусу плуга повинна бути паралельна внутрішньому торцю ведучого колеса і суворо перпендикулярна поверхні ґрунту.

При регулюванні кута нахилу польовий дошки важливо витримувати висоту підйому п'яти польових дошок щодо носка плуга, відстань при цьому немає перевищувати 30 мм. При порушенні даної умови плуг під час роботи

буде зариватися в ґрунт, що призведе до погіршення якості оранки, зростання тягового зусилля мотоблока, збільшення навантаження на двигун і оператора.

Другий етап полягає в регулюванні плуга спрямоване безпосередньо на проведення основного процесу оранки. Установка глибини обробітку ґрунту проводиться шляхом підставки під ліве привідне колесо мотоблока, колодки. Після цього нам необхідно змінити кут нахилу полиці, так щоб корпус плуга, як і в разі налаштування на нарізування просапної борозни, розташовувався перпендикулярно поверхні ґрунту. При проведенні оранки мотоблоком стійка плуга повинна бути у вертикальному положенні з огляду на що, праве колесо мотоблока йде по нижній частині борозни. Щоб виконати цю умову, в зчепленні плуга передбачені дугоподібні регулювальні пази для нахилу плугового корпусу вправо або вліво. У цьому полягає основний принцип регулювання нахилу полиці плуга.

Виробники конструкцій мотоблоків, зокрема Білорус - 08Н, -09Н, для зниження підвищеного буксування при проведенні оранки, рекомендують зменшити ширину захвату корпусу плуга, для цього необхідно повернути корпус плуга на 1-2 см в сторону зораного поля. Однак це є грубим порушенням агротехнічних вимог до проведення оранки, порушується стійкість руху мотоблока по оброблюваній ділянці, що призводить до додаткових навантажень на мотоблок і оператора [56].

Чимало важливим фактором при роботі з мотоблоком, є вибір способу руху по оброблюваній ділянці. Існує ряд класифікаційних ознак [1, 4] які в повній мірі відображають механізм його руху.

Стосовно до мотоблоків з лемішно-полицевими плугами найефективнішим і прийнятним видом руху є оранка звалювання. Вона являє собою швидкий правоповоротний рух, при якому обробку ґрунту починають з середини лунки [11].

Перший прохід агрегату спрямований на нарізання просапної борозни. Агрегат, після завершення першого проходу, на холостому ході повертають направо і проходять другу просапну борозну паралельно першій. Пласти

грунту, в цьому випадку, при вивалюванні одної, до другої утворюють гребінь. Далі агрегат повертає тільки в праву сторону, а оранка вважається закінченою, коли на краях ділянки утворюються по одній борозні.

Таким чином, при правильному комплектуванні орного агрегату в складі мотоблок-зчіпка-плуг і виборі оптимального способу руху, оранка ґрунту проходить без порушень агротехнічних вимог, висунутих до неї, ґрунт при обертанні перекриває край попередньої борозни, а плуг не закопується в ґрунт носком лемішу.

Правильне регулювання кожного з складових елементів орного агрегату дозволяє рух мотоблока без ривків, двигун працює в оптимальному режимі, а зусилля на рукоятках управління знаходиться в встановлених рамках, при яких ступінь втоми оператора мінімальна.

Однак, однією з головних цілей, що стоять при проведенні технологічної операції є її проведення з мінімальними витратами енергоресурсів і одночасним поліпшенням якості її виконання. Для досягнення цього необхідно підвищувати ефективність використовуваного парку сільськогосподарської техніки, зокрема малогабаритних ґрунтообробних агрегатів, відповідно до існуючих технічними і технологічними регламентами [45].

#### **1.4 Напрямки підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом**

Тягово-зчіпні властивості мотоблока з ґрунтом характеризують здатність його ведучих коліс забезпечити необхідну величину сили тяги  $F_{TP}$ , яка може бути збільшена шляхом застосування різних способів до числа яких, доцільно буде віднести: експлуатаційні, конструктивно-експлуатаційні та конструктивні [54].

Експлуатаційні способи поліпшення тягово-зчіпних властивостей мотоблока в більшій мірі залежать від: підтримки ходової частини в справному технічному стані, включаючи правильне і своєчасне технічне

обслуговування і ремонтні роботи; правильного вибору напрямку руху; вирівнювання оброблюваних ділянок; видалення рослинних залишків; проведення польових операцій при необхідних значеннях вологості ґрунту [54].

До конструктивно-експлуатаційних способів відносять такі способи поліпшення зчіпних властивостей мотоблока, які закладені в його конструкцію, але використовуються лише в тих випадках, коли базова конструкція агрегату в повній мірі не виконує покладених на неї функцій. Таке трапляється в залежності від зміни умов експлуатації. Серед даних способів поліпшення зчіпних властивостей найбільш популярними є: використання різних навантажувачів, здвоювання коліс; використання гусеничного ходу і ін.

Конструктивні способи тісно пов'язані з мають своє постійне значення, незмінними конструктивними параметрами мотоблока, а саме: його маса, тип і параметри ходової частини, місце положення координат центру мас, габаритні розміри зчіпки і типу робочого органу і т.д. Важливим елементом ґрунтообробних агрегатів є їх робочі органи, що визначають їх ефективне функціонування та вибір конкретних режимів роботи, а також сприяють забезпеченню агротехнічних вимог при виконанні певних технологічних операцій.

Підвищенням ефективності роботи ґрунтообробних агрегатів шляхом розробок нових і вдосконалення наявних конструкцій їх робочих органів, займалося багато науковців [11, 33, 34, 57]. У роботах [11, 57] розглянуті питання ущільнення ґрунту тягово-приводними ґрунтообробними машинами, шляхом розробки нових конструкцій розпушувачів та способів їх застосування.

Дослідження [33] спрямовані знизження енергетичних витрат при проведенні основного обробітку ґрунту, шляхом розробки ротаційного плуга, забезпеченого робочими органами з еліптичними лопатями. Вчений-інженер [34] займався питанням підвищення ефективності роботи плуга із змінними

параметрами шляхом оптимізації системи стабілізації його поперечної стійкості. В результаті їм було встановлено, що перерозподіл бічної складової від дії ґрунту на плуг веде до зниження питомого опору, а збільшення ширини захоплення плуга, призводить до зростання його продуктивності.

В роботі [43] розроблені методики адаптації плуга для відвальної оранки. В ній запропоновані два варіанти роботи ґрунтообробного агрегату: з постійною шириною захвату і різною швидкістю і із змінною шириною захвату і постійною швидкістю.

Проте дослідження [54, 58, 60] можуть бути застосовані тільки для ґрунтообробних агрегатів, до складу яких входять машинно-тракторні агрегати, тяговий клас яких перевищує 0,6.

На ефективність функціонування мотоблока при роботі з тяговими робочими органами, зокрема з лемішно-полицевим плугом, істотно впливають його тягово-зчіпні властивості [32, 37], які в свою чергу залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей ґрунту, конструктивних параметрів мотоблока і лемішно-полицевого плуга, а також їх масових характеристик, розмірів і типів рушіїв, значення робочої швидкості.

Дослідження, пов'язані з підвищенням тягово-зчіпних властивостей ведучих коліс (рушіїв) машинно-тракторних агрегатів, відображені в роботах [34, 55].

В науковій праці [3] виокремлено три групи тягово-зчіпних властивостей ведучих коліс: 1) збільшення ваги на зчепленні; 2) збільшення площі контакту колеса з ґрунтом; 3) збільшення зчеплення колеса з ґрунтом (застосування додаткових пристроїв проти ковзання).

Найкращим способом підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних рушіїв є застосування пристроїв проти ковзання, що мають різні класифікаційні ознаки, серед яких основними є: форма робочої поверхні зачепа, спосіб висування зачепа, джерело енергії приводу, кріплення до ведучого колеса і ін.

На основі вище викладеного, представлені огляд та коротка характеристика існуючих способів ефективної роботи мотоблока з тяговими робочими органами (рис 1.9). Наведені способи спрямовані на зниження значення коефіцієнта буксування ведучих коліс з ґрунтом, що істотно впливає на стійкість роботи мотоблока, веде до збільшення продуктивності агрегату, не порушуючи агротехнічних вимог, висунутих до оранки.

На роботу мотоблока з лемішно-полицевим плугом значний вплив буде здійснювати тип плуга та його корпусу, основні конструкції яких представлені в попередніх підрозділах.

Блокування диференціала істотно впливає на тягово-зчіпні властивості мотоблока з ґрунтом. У більшості конструкцій сучасних мотоблоків блокування ведучих коліс постійна. При цьому поряд з постійною блокуванням коліс, існують конструкції мотоблоків, в яких управління блокуванням диференціалу здійснюється в ручному режимі. Це дуже зручно при виконанні операцій пов'язаних з перевезенням вантажів.

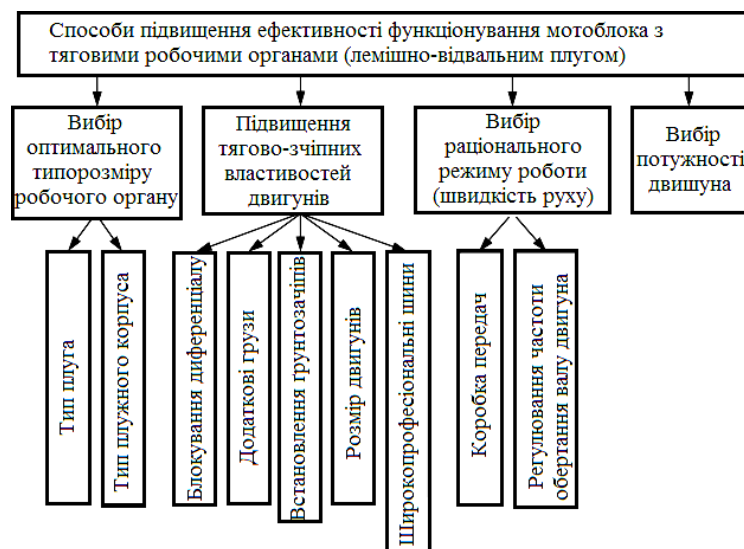


Рисунок 1.9 – Способи підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом

Застосування додаткових вантажів (баласту) впливає на масу мотоблока. Існують різні варіанти установки додаткових вантажів, найбільш поширеними з яких є їх навішування на привідні колеса і раму мотоблока (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Схема навішування додаткових вантажів на мотоблок

Як баласт, найчастіше, використовують чавунні вантажі або ємності, які заповнюються рідиною [22].

Встановлення додаткових вантажів в сумі з ґрунтозачіпками, збільшує силу зчеплення ведучих коліс з ґрунтом (рис. 1.11). Однак при цьому, слід зазначити негативні сторони при їх навішуванні на мотоблок. Так, при збільшенні тягових зусиль і підвищення швидкості руху мотоблока вантаж сприяє наростанню втрат на кочення і зменшення коефіцієнта корисної дії (ККД).



Рисунок 1.11 – Конструкції ведучих коліс (ґрунтозачіпок) мотоблока

Зі збільшенням конструктивних розмірів ведучих коліс (ґрунтозачепів) [7] поліпшуються їх функціональні властивості, однак, істотно зростає вартість рушія, його габарити і ускладнюється керованість мотоблока.

Застосування широко профільних шин [19] в конструкції мотоблока, оснащеного лемішно-полицевим плугом, дозволяє: знизити питомий тиск на ґрунт, що в свою чергу призводить до зменшення ступеня її ущільнення по сліду мотоблока; підвищити його прохідність при підвищеній вологості; поліпшити його тягово-енергетичних властивості, а також дозволяє найбільш

ефективно використовувати його на ділянках, що мають слабку несучу здатність, з одночасними незначними втратами на буксування.

Одним з найбільш поширених способом підвищення ефективності мотоблока з лемішно-полицевим плугом, є застосування коробки передач [15]. В даний час майже всі конструкції мотоблоків оснащені ними.

Високий ККД і простота конструкції є суттєвими позитивними сторонами коробок передач. Однак коробки передач сучасних мотоблоків мають обмежену кількість робочих передач (як правило, дві або три). При цьому агрегування мотоблока з плугом, згідно з інструкціями по їх експлуатації [16, 17, 18], рекомендується проводити тільки на нижчому – першій передачі, що негативно позначається на виборі оптимальних режимів роботи його функціонування, визначаються ґрунтовими умовами.

Крім вище зазначених способів підвищення ефективності функціонування існує ряд перспективних способів, які знайшли себе в мотоблокобудуванні. Одним з таких способів є застосування рушія мотоблока на гусеничному ході (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Мотоблок на гусеничному ході



Рисунок 1.13 – Мотоблок Caiman Vario 60S TWK+

Існують мотоблоки з гусеницями в якості основного виду рушія і так звані сніго-ходні приставки, що встановлюються замість провідних коліс [18]. Головною перевагою даного типу рушія є низьке значення коефіцієнта буксування, що в свою чергу безпосередньо впливає на тягово-зчіпні властивості мотоблока. Однак, існуючі конструкції не позбавлені недоліків, до числа яких слід віднести виконання вузького спектра операцій

спрямованих в основному на прибирання снігу в зимовий період, а також складність і дорожнеча при виробництві та обслуговуванні. Також, існують конструкції мотоблоків, зокрема Caiman Varig 60S TWK +, (рис. 1.13) в яких швидкість руху при роботі, регулюється за рахунок зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Однак даний спосіб негативно позначається на експлуатаційних властивостях циліндро-поршневої групи. Це пов'язано зі зниженням тиску в системі змащення двигунів, а значить з погіршенням гідродинамічного режиму роботи деталей. Крім цього, збільшується навантаження на трансмісію, коробку швидкостей і приводний редуктор ведучих коліс.

У зв'язку з цим актуальним стає питання підвищення ефективності функціонування мотоблока шляхом підбору потужності двигуна [43]. Даний спосіб досить широко застосовується як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками мотоблоків, наприклад мотоблоки сімейства «Нева» (ВАТ «Червоний Жовтень-НЕВА», Росія) і «Caiman» (Франція). Тут слід враховувати, щоб рекомендований діапазон вибору крутного моменту, згідно тяговій характеристиці двигуна, був максимальний. Ця проблема вирішується шляхом установки на мотоблок двигуна більшої потужності. При самотньою потужності двигуна, як показує практика, необхідно вибирати двигун з великим робочим об'ємом циліндра. Однак даний спосіб збільшує номенклатуру мотоблоків, призначених для застосування в певних умовах. Крім цього, залишається не вирішеним питання ефективного їх використання в умовах відмінних від умов рекомендованих заводом виробником.

Практичне застосування вище зазначених способів, підвищують продуктивність мотоблока при роботі з лемішно-полицевим плугом і дають великий ефект не тільки при застосуванні їх окремо, але і збільшують ефективність роботи при їх суміщенні. Так установка вантажів-обважнювачів в сумі з ґрунтозачіпками істотно впливає на тягово-зчіпні властивості мотоблока з ґрунтом, що в свою чергу позитивно впливає на ефективність використання мотоблока при проведенні різного роду технологічних

операцій сільськогосподарського призначення.

Таким чином, всі існуючі способи підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом є актуальними і широко використовуваними.

Однак, зазначені недоліки способів підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом, потребують вирішення. При цьому необхідно вишукувати конструкції, які дозволяють забезпечити ефективне її функціонування з одночасним збереженням необхідного ресурсу двигуна. Тому одним з перспективних способів є спосіб, в основі якого лежить регулювання поступальної швидкості руху [50].

При цьому застосування даного способу має враховувати забезпечення умов стійкого руху мотоблока в агрегаті з плугом, його статичної стійкості, з урахуванням агротехнічних вимог, що пред'являються до оранки ґрунту.

## **РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СТІЙКОСТІ РУХУ МОТОБЛОКА З ЛЕМІШНО-ПОЛИЦЕВИМ ПЛУГОМ**

### **2.1 Стійкість руху при відсутності буксування ведучих коліс**

У дослідженнях стійкості руху засобів малої механізації, проведених авторами [11, 25] в першу чергу, акцентовано увагу, на питанні встановлення умови стійкості поступального руху в поздовжньо-вертикальній площині, основним критерієм якого є відсутність буксування ведучих коліс. При цьому, як показує практичне застосування засобів малої механізації, зокрема мотоблоків, агрегатів з плугами, стійкість їх руху в поздовжньо-горизонтальній площині, яка визначається бічним ковзанням і стійкість руху при нахилі (перекидання), грають другорядну роль, порушення цих видів стійкості, практично не настає.

Пов'язано це з тим, що в першу чергу порушується умова стійкості руху мотоблока в поздовжньо -вертикальній площині за критерієм відсутності буксування, що супроводжується при цьому інтенсивним зростанням коефіцієнта буксування  $\delta$ .

Застосування результатів [57] в області забезпечення стійкості руху малогабаритної сільськогосподарської техніки за критерієм відсутності буксування ведучих коліс щодо ґрунту, дозволяють сформулювати загальний підхід до вирішення питань стійкості руху засобів малої механізації, в тому числі при їх агрегуванні з лемішно-відвальними плугами, з урахуванням технологічних режимів роботи і ґрунтових умов.

Переміщення малогабаритних ґрунтообробних машин при виконанні технологічних операцій, здійснюється за рахунок сил зчеплення ведучих коліс з ґрунтом. При цьому витрачається потужність двигуна на подолання сил, діючих на елементи їх конструкцій і агрегуються з ними робочі органи.

В процесі роботи мотоблока, сили (рис. 2.1), що діють на ведучі колеса і лемішно-відвальний плуг, викликають, зазначені в роботі [62], можливі

рухи.

Серед цих сил найбільш значущими та важливими є: сила тяжіння мотоблока  $F_g$ , прикладена в центрі мас машини; крутний ведучий момент  $M_{\text{Вед}}$ , в результаті дії якого в місці контакту колеса з ґрунтом з'являється дотична сила тяги  $F_{TK}$ , спрямована на подолання сил опору при перекочуванні ведучих коліс  $F_{CK}$  і на подолання сил опору діючих на лемішно-відвальний плуг  $R_x, R_y, R_z$ , а також сил тертя польової дошки  $F_{\text{ПД}}$  і п'ятки  $F_{\text{П}}$  об стінку і дно борозни, відповідно [58].

Для управління мотоблоком механізатор впливає на робочі органи з зусиллям  $F_P$  [61], при цьому під час проведення сільськогосподарських операцій, зокрема оранки ґрунту, значення сили  $F_P$  приймається рівною нулю. Крім усього іншого, в результаті аналізу стійкості руху мотоблока вважаємо, що поверхня ґрунту рівна і горизонтальна.

Аналіз стійкості руху мотоблока з лемішно-відвальних плугом проведемо з урахуванням перебування його в борозні, в поздовжньо-вертикальній площині  $xOz$ , поздовжньо-горизонтальній площині  $xOy$  і поздовжньо-вертикальній площині  $xOz$ .

З огляду на особливості функціонування, головною умовою для забезпечення стійкості руху мотоблока з лемішно-відвальним плугом в борозні, є відсутність буксування ведучих коліс щодо ґрунту [59].

Відповідно до рисунка 2.1, а також представленого в роботі [60] аналізі тягового балансу мотоблока, складемо рівняння сил, щоб визначити стійкість руху мотоблока:

$$F_{TK\Sigma} - F_{CK\Sigma} - R_x - F_{\text{П}} - F_{\text{ПД}} \geq 0, \quad (2.1)$$

де  $F_{TK\Sigma}$  – сумарна сила тяги на ведучих колесах, Н;  $F_{CK\Sigma}$  – сила опору при перекочуванні коліс, Н;  $R_x$  – сила опору на плугові, діюча в поздовжній площині, Н;  $F_{\text{П}}$  – сила тертя опорної п'ятки об дно борозни, Н;  $F_{\text{ПД}}$  – сила тертя польової дошки об стінку борозни, Н.

Силу тяги  $F_{TK\Sigma}$ , що діє на ведучих колесах мотоблока, з високою ступенем точності, визначають згідно з рекомендаціями [59] за формулою:

$$F_{TK\Sigma} = F_{TK1} + F_{TK2}, \quad (2.2)$$

де  $F_{TK1}, F_{TK2}$  – сили тяги на кожному з ведучих коліс.

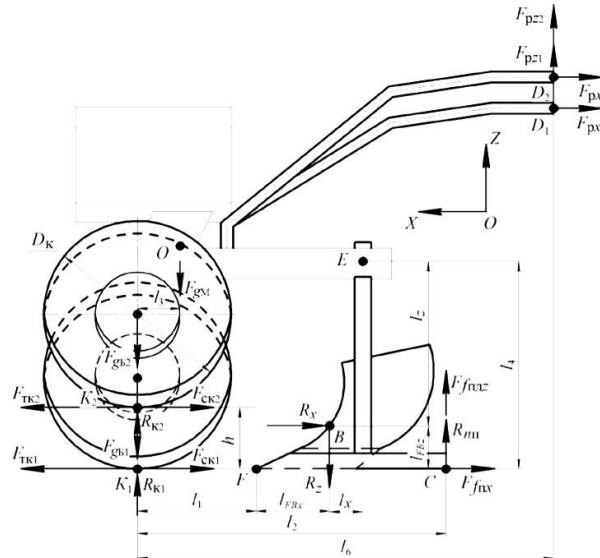


Рисунок 2.1 – Силві чинники, які діють на мотоблок з лемішно-відвальним плугом в поздовжньо-вертикальній площині

Значення  $F_{TK1}, F_{TK2}$  визначають залежностями:

$$F_{TK1} = k_c R_{K1}; \quad (2.3)$$

$$F_{TK2} = k_c R_{K2}; \quad (2.4)$$

де  $k_c$  – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з ґрунтом;  $R_{K1}, R_{K2}$  – реакції на кожному з ведучих коліс мотоблока.

Силу опору перекочування  $F_{CK\Sigma}$  згідно з дослідженнями [60], визначимо за формулою:

$$F_{CK\Sigma} = F_{CK1} + F_{CK2}, \quad (2.5)$$

де  $F_{CK1}$  – сила опору перекочування ведучого колеса мотоблока, рухомого по борозні, Н; і  $F_{CK2}$  – сили опору перекочування провідного колеса мотоблока, що рухається по поверхні ґрунту, Н.

$$F_{CK1} = \mu_1 R_{K1} \quad (2.6)$$

$$F_{CK2} = \mu_2 R_{K2} \quad (2.7)$$

де  $\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнти опору коченню відповідного ведучого колеса.

Грунтуючись на дослідженнях [39], для визначення коефіцієнта  $\mu$  доцільно застосовувати формулу Грандвуане-Горячкіна, що має наступний вид:

$$\mu_1 = \sqrt[3]{\frac{R_{K1}}{qD_{K1}^2 b_{K1}}}; \quad (2.8)$$

$$\mu_2 = \sqrt[3]{\frac{R_{K1}}{qD_{K2}^2 b_{K2}}}; \quad (2.9)$$

де  $q$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м<sup>3</sup>;  $D_{K1}$ ,  $D_{K2}$  і  $b_{K1}$ ,  $b_{K2}$  – діаметри і ширина ободі колеса що контактує з ґрунтом, м.

Для знаходження  $R_{K1}$ , і  $R_{K2}$  складемо рівняння моментів  $\sum M_{K1} = 0$  і  $\sum M_{K2} = 0$  з урахуванням баласту, що припадають на кожне колесо (рис. 2.2).

$$\sum M_{K2} = 0; \quad (2.10)$$

$$F_{gMK}l_9 - R_{K1}(l_8 - l_9) + F_{gB1}(l_9 - l_{11}) - F_{gB2}(l_{10} - l_9) = 0$$

$$\sum M_{K1} = 0; \quad (2.11)$$

$$F_{gMK}l_9 - R_{K2}(l_8 - l_9) + F_{gB1}(l_{11} - l_8) - F_{gB2}(l_8 - l_{10}) = 0$$

Після виконання ряду перетворень отримаємо:

$$R_{K1} = \frac{F_{gMK}l_9 - F_{gB1}(l_9 - l_{11}) - F_{gB2}(l_{10} - l_9)}{l_8 - l_9} \quad (2.12)$$

$$R_{K2} = \frac{F_{gMK}l_9 - F_{gB1}(l_{11} - l_8) - F_{gB2}(l_8 - l_{10})}{l_8 - l_{10}} \quad (2.13)$$

де  $F_{gMK}$  – сила тяжіння мотоблока, яка припадає на провідні колеса, Н;  $F_{gB1}$  і  $F_{gB2}$  – сила тяжіння баластних вантажів, Н;  $l_8$  – відстань від точки прикладання реакції колеса розташованого в борозні (т.  $A_1$ ) до осі центру мас мотоблока (т.  $O$ );  $l_9$  – відстань від центру мас мотоблока (т.  $O$ ) до точки прикладання реакції колеса розташованого на поверхні ґрунту (т.  $A_2$ );  $l_{10}$  – відстань центру мас мотоблока (т.  $O$ ) до точки дії сили тяжіння баласту на поверхню ґрунту (т.  $G_2$ ),  $l_{11}$  – відстань від точки дії сили тяжкості баласту колеса, розташованого в борозні (т.  $G_1$ ) до осі центру мас мотоблока (т.  $O$ ).

Однак зазначені в формулах (2.12) і (2.13) геометричні параметри  $l_8$ ,  $l_9$ ,  $l_{10}$  і  $l_{11}$  досить важко визначити експериментальним шляхом, тому для спрощення подальших розрахунків, використовуємо схему, представлену на рис. 2.3.

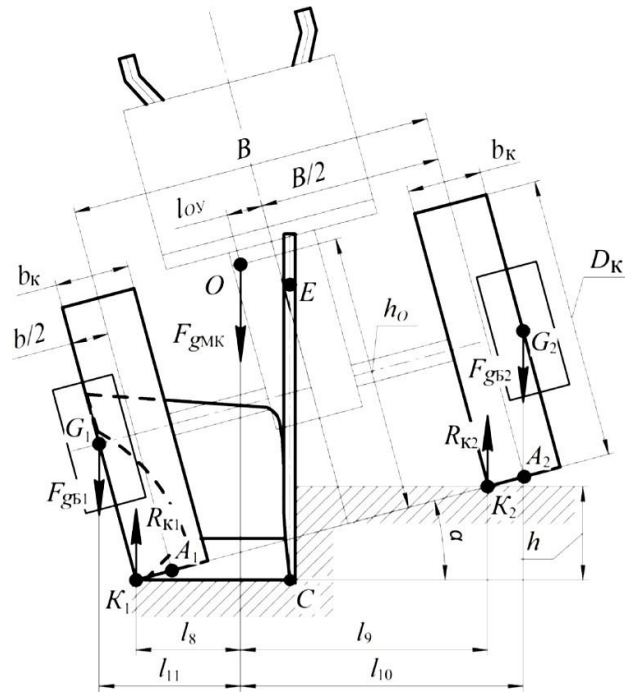


Рисунок 2.2 – Схема для визначення реакцій на ведучих колесах мотоблока борозні

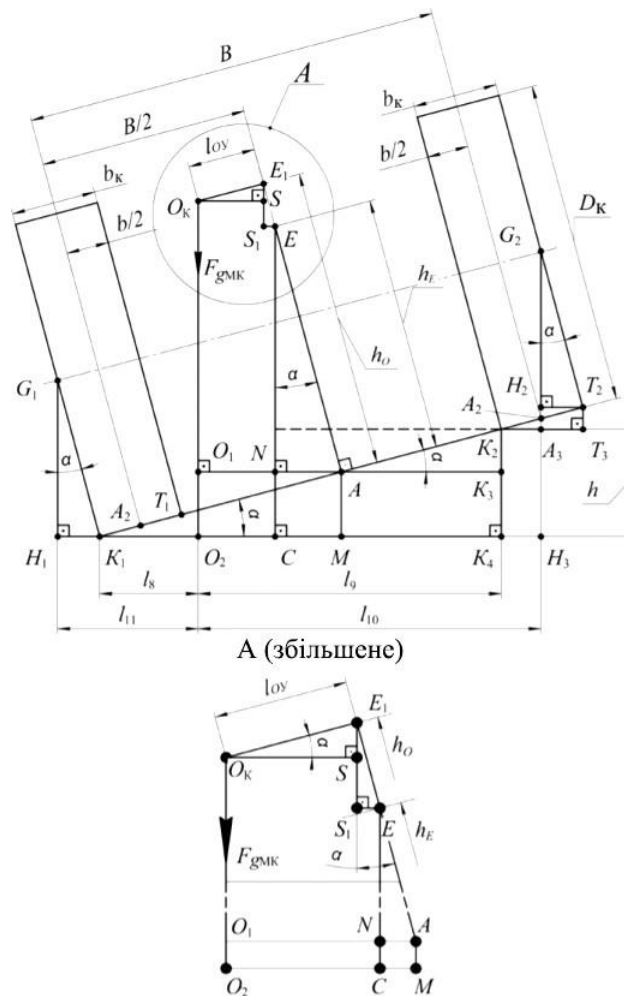


Рисунок 2.3 – Схема для визначення геометричних параметрів  $l_8$ ,  $l_9$ ,  $l_{10}$  і  $l_{11}$

Ввівши деякі позначення, визначимо залежності для розрахунку геометричних параметрів  $l_8, l_9, l_{10}$  і  $l_{11}$  мотоблока:

$$l_8 = K_1 O_2 = K_1 M - CM - CO_2, \quad (2.14)$$

$$l_9 = O_2 K_4 = MK_4 - CM + CO_2, \quad (2.15)$$

$$l_{10} = O_2 K_4 + K_4 H_3 = (MK_4 + CM + CO_2) + (K_2 T_3 - A_3 T_3) \quad (2.16)$$

$$l_{11} = O_2 K_1 + K_1 H_1 = (K_1 M - CM - CO_2) + K_1 H_1, \quad (2.17)$$

Для визначення відстані  $K_1 M$  розглянемо  $\Delta K_1 A M$ , з якого випливає,

що  $K_1 M = K_1 A \cdot \cos a$ . З урахуванням того  $K_1 A = \frac{B + b_K}{2}$  отримаємо:

$$K_1 A = \frac{B + b_K}{2} \cos a, \quad (2.18)$$

Для знаходження відрізка  $CM$  розглянемо  $\Delta A N E$ , з якого випливає, що  $AN = AE \cdot \sin \alpha$ . З огляду на що  $AN = CM$ , а  $AE = h_o$ , то отримаємо:

$$CM = h_o \sin \alpha \quad (2.19)$$

де  $h_o$  – висота положення центра ваги щодо опорної поверхні коліс, м.

Значення  $h_o$  визначається в ході перебування центру мас мотоблока, шляхом його зважування. Для знаходження відстані  $CO_2$  розглянемо  $\Delta O_K S E_1$  та  $\Delta E_1 S_1 E$ , з яких визначимо, що  $CO_2 = O_K S + S_1 E$ . Із  $\Delta O_K S E_1$  видно, що  $O_K S = l_{OY}$ , відповідно:

$$O_K S = l_{OY} \cos a \quad (2.20)$$

де  $l_{OY}$  – відстань від центру мас (т.  $O$ ) до центральної осі мотоблока (т.  $A$ ), м.

Величину  $S_1 E$  визначимо з  $\Delta E_1 S_1 E$ , де  $S_1 E = E_1 E \sin a$ . Враховуючи що,  $E_1 E = h_o - h_E$ , отримаємо:

$$S_1 E = (h_o - h_E) \sin a \quad (2.21)$$

де  $h_E$  – висота положення точки на плузі мотоблока, навколо якої відбувається поворот мотоблока (т.  $E$ ) щодо опорної поверхні коліс, м.

Отримані лінійні розміри  $l_8, l_9, l_{10}$  та  $l_{11}$  мотоблока з лемішно-полицевим плугом пов'язують між собою характерні для нього конструктивні параметри і особливості режимів його функціонування [62].

Тоді з урахуванням співвідношень і проведених перетворень, рівняння приймуть вигляд:

$$R_{K1} = \frac{F_{gMK} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right] + F_{gB1} \left[ B \cos a + \frac{D_K}{2} \right] - F_{gB2} \left[ B \cos a + \frac{D_K}{2} \right] a}{B \cos a}; \quad (2.31)$$

$$R_{K2} = \frac{F_{gMK} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right] + F_{gB1} \left[ B \cos a + \frac{D_K}{2} \right] - F_{gB2} \left[ B \cos a + \frac{D_K}{2} \right] a}{B \cos a}; \quad (2.32)$$

З огляду що в попередньому випадку, що для певної конструкції ґрунтообробного агрегату за умови сталого режиму роботи в залежностях

(2.31) і (2.32) відношення  $\frac{\left( \frac{B-b_K}{2} l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a}{B \cos a}$ ,  $\frac{B \cos a + \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}$ ,  $\frac{b_K \cos a - \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}$ ,  $\frac{\left( \frac{B+b_K}{2} l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a}{B \cos a}$ ,  $\frac{\frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}$ , та  $\frac{(B+b_K) \cos a - \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}$  можна

вважати постійними величинами, то введемо наступне позначення:

$$K_3 = \frac{B \cos a + \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}; \quad (2.33)$$

$$K_4 = \frac{b_K \cos a - \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}; \quad (2.34)$$

$$K_5 = \frac{\left( \frac{B+b_K}{2} l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a}{B \cos a}; \quad (2.35)$$

$$K_6 = \frac{\frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}; \quad (2.36)$$

$$K_7 = \frac{(B+b_K) \cos a - \frac{D_K}{2} \sin a}{B \cos a}. \quad (2.37)$$

З огляду на, що  $F_{gMK} = K_1 F_{gM}$  після підстановки коефіцієнтів (2.18), (2.33), (2.34), (2.35), (2.36), (2.37) і (2.38), в формули (2.12) і (2.13), вони отримають остаточний вигляд:

$$R_{K1} = K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}; \quad (2.38)$$

$$R_{K5} = K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB2}; \quad (2.39)$$

В результаті підстановки умов (2.18), (2.19), (2.39), а також підстановки значення коефіцієнта об'ємного зминання  $q = (0,044p + 0,0038)10^9 (H / m^3)$  [61], після скоєння ряду перетворень, формули (2.16) і (2.17) приймуть вид:

$$F_{CK1} = \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}}; \quad (2.40)$$

$$F_{CK2} = \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}}; \quad (2.41)$$

Таким чином, рівняння (2.15), що включає в себе формули (2.39) і (2.40) прийме остаточний вигляд:

$$F_{CK\Sigma} = \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}}; \quad (2.42)$$

При визначенні сили тертя п'яти  $Ff\Pi$  об дно борозни доцільно використовувати формулу:

$$Ff\Pi = fR_{n\Pi}, \quad (2.43)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя;  $R_{n\Pi}$  - нормальна сила реакції ґрунту на п'ятку плуга, Н.

Визначимо  $R_{n\Pi}$ , для чого складемо рівняння рівноваги з урахуванням, що зусилля робочого на рукоятках мотоблока  $F_{P1z} = F_{P2z} = 0$ ,  $F_{P1x} = F_{P2x} = 0$  і, відповідно,  $F_{Pz\Sigma} = F_{P1z} + F_{P2z} = 0$ ,  $F_{Px\Sigma} = F_{P1x} + F_{P2x} = 0$ , а також  $F_{f\Pi z} = 0$  (див. рис. 2.4):

$$\sum M_{K1} = 0; \quad R_{n\Pi} l_2 - R_z (l_1 + l_{FBx}) - R_x l_{FBz} - F_{gM} l_3 - F_{CK2} h + F_{TK2} h = 0 \quad (2.44)$$

звідки отримуємо:

$$R_{nII} = \frac{F_{gM}l_3 + R_z(l_1 + l_{FBx}) + R_x l_{FBZ} + F_{CK2}h - F_{TK2}h}{l_2}, \quad (2.45)$$

де  $l_{FBx}$  і  $l_{FBz}$  - відстані від точки докладання зусиль  $R_x$  і  $R_z$ , відповідно, діючих на корпус лемішно-відвального плуга з боку ґрунту (т. В), до носка плуга мотоблока (т. F), м; Значення  $R_x$  і  $R_z$  визначаються в ході проведення просторового динамометрування плугового корпусу [25, 39].

Шляхом підстановки формули (2.122) в (2.62) отримаємо:

$$F_{II} = f \left[ \frac{F_{gM}l_3 + R_z(l_1 + l_{FBx}) + R_x l_{FBZ} + F_{CK2}h - F_{TK2}h}{l_2} \right] \quad (2.46)$$

З огляду на те, що в попередньому випадку, для певної конструкції ґрунтообробного агрегату за умови сталого режиму роботи в залежності

(2.47) залежності  $\frac{l_3}{l_2}, \frac{l_1 + l_{FBz}}{l_2}, \frac{l_{FBz}}{l_2}$  та  $\frac{h}{l_2}$  можна вважати постійними величинами,

то введемо такі позначення і приймемо:

$$K_8 = \frac{l_3}{l_2}; \quad (2.47)$$

$$K_9 = \frac{l_1 + l_{FBz}}{l_2}; \quad (2.48)$$

$$K_{10} = \frac{l_{FBz}}{l_2}; \quad (2.49)$$

$$K_{11} = \frac{h}{l_2}. \quad (2.50)$$

Тоді з урахуванням (2.14), (2.42), (2.48), (2.49), (2.50) і (2.51), і ряду перетворень, залежність (2.47) набуде вигляду:

$$F_{II} = f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2} \right] - \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} - K_6 F_{gB1} + K_7 F_{gB2}]}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}}$$

Силу тертя польової дошки  $F_{II}$  об стінку борозни знаходимо аналогічним способом, що і силу тертя п'яти  $F_{II}$  об дно борозни:

$$F_{II} = f R_{nII} \quad (2.51)$$

де  $R_{nII}$  – нормальна сила реакції ґрунту на польову дошку, Н.

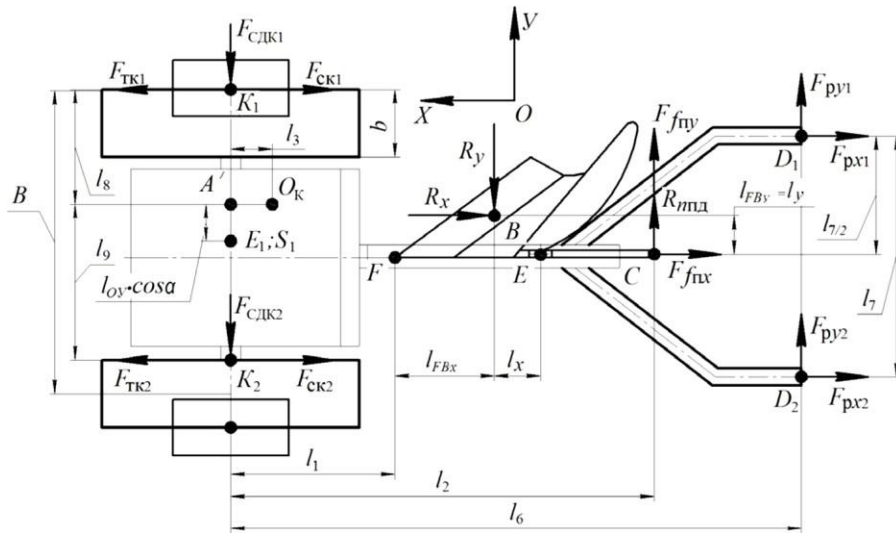


Рисунок 2.4 – Силіві чинники, які діють на мотоблок з плугом в повздовжньо-горизонтальній площині при русі в борозні.

$$\begin{aligned} R_{нпд}l_2 - R_x(l_{FBy} - l_{Oy} \cos a) - R_y(l_1 + l_{FBx}) - F_{пш}l_{CO} - \\ \Sigma M_{A'} = 0; \quad -F_{СК1}l_8 + F_{СК2}l_9 + F_{TK1}l_8 - F_{TK2}l_9 = 0 \end{aligned} \quad (2.52)$$

де  $l_{FBy}$  – відстань від точки прикладання сили  $R_y$ , діюча на корпус лемешне-відвального плуга з боку ґрунту (т. В), до носка плуга мотоблока (т. F), м;  
 $l_{CO}$  – відстань від центру мас (т. O) до осі руху п'яти плуга, які проходять через точку С, м.

Після ряду перетворень рівняння (2.52) набуде вигляду:

З рисунка 2.3 видно, що  $l_{CO} = CO_2$ , з урахуванням цього отримаємо, що відстань від центру мас до осі руху п'яти плуга  $l_{CO}$  визначається співвідношенням (2.32).

Після підстановки формули (2.53), з урахуванням співвідношення (2.32), формула (2.51) отримаємо вигляд:

$$R_{m\Pi\Pi} = \frac{R_x(l_{FBY} - l_{OY} \cos a) + R_y(l_1 + l_{FBX}) + F_{f\Pi} l_{CO} +}{l_2} + F_{CK1} \left[ \left( \frac{B+b_K}{2} - l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a \right] - F_{CK2} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} + l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right] a - \quad (2.53)$$

$$\frac{-F_{TK1} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} - l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a \right] + F_{TK2} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} + l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right]}{l_2}$$

$$F_{f\Pi\Pi} = f \left[ \frac{R_x(l_{FBY} - l_{OY} \cos a) + R_y(l_1 + l_{FBX}) + F_{f\Pi} [(h_o - h_E) \sin a + l_{OY} \cos a] +}{l_2} + F_{CK1} \left[ \left( \frac{B+b_K}{2} - l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a \right] - F_{CK2} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} + l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right] - \right. \quad (2.54)$$

$$\left. \frac{-F_{TK1} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} - l_{OY} \right) \cos a - (2h_o - h_E) \sin a \right] + F_{TK2} \left[ \left( \frac{B-b_K}{2} + l_{OY} \right) \cos a + (2h_o - h_E) \sin a \right]}{l_2} \right]$$

Тоді з урахуванням (2.23), (2.24), (2.41), (2.42), (2.49), (2.52), (2.55), (2.56), (2.57) і (2.58), і ряду перетворень, рівняння (2.54) буде мати наступний вигляд:

$$F_{f\Pi\Pi} = f \left[ -K_{12} \left( F_{TK1} - \sqrt[3]{\frac{K_1 K_{11} F_{gM} + K_{12} F_{gB1} - K_{13} + F_{gB1}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} \right) + K_{13} \left( F_{TK2} - \sqrt[3]{\frac{K_1 K_{14} F_{gM} + K_{15} F_{gB1} - K_{16} + F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}} \right) \right] \quad (2.55)$$

$$\left[ F_{TK1} + F_{TK2} \right] - \left[ \sqrt[3]{\frac{K_1 K_{11} F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 + F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}} \right] - R_x -$$

$$- f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} \left( F_{TK2} - \sqrt[3]{\frac{K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} \right) \right] -$$

$$- f \left[ K_{14} R_x + K_9 R_y + K_{15} \left( f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} \left( F_{TK2} - \sqrt[3]{\frac{K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} \right) \right] \right) \right] -$$

$$- K_{12} \left( F_{TK1} \sqrt[3]{\frac{K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} \right) + K_{13} \left( F_{TK2} \sqrt[3]{\frac{K_1 K_5 F_{gM} - K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB2}}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} \right) \right] \quad (2.56)$$

З урахуванням того, що в співвідношеннях (2.33) і (2.34) коефіцієнт зчеплення  $k$  з ведучих коліс мотоблока з ґрунтом визначити досить складно, значення сили тяги  $F_{TK1}$  і  $F_{TK2}$  знайдемо експериментальним шляхом. При цьому необхідно відмітити, що сили  $F_{TK1}$  і  $F_{TK2}$  будуть визначатися з

урахуванням сил опору на перекочування ведучих коліс  $F_{CK1}$  і  $F_{CK2}$ .

Відповідно буде впливати, що:

$$F_{TK1\phi} = F_{TK1} - F_{CK1}; \quad (2.57)$$

$$F_{TK2\phi} = F_{TK2} - F_{CK2}; \quad (2.58)$$

де  $F_{TK1\phi}$  і  $F_{TK2\phi}$  - фактичне значення сили тяги, відповідно на провідному колесі рухається в борозні і по поверхні ґрунту, з урахуванням сил супротиву на їх перекочування, які визначаються в ході експерименту, Н.

Тоді, з урахуванням експериментально отриманих значень  $F_{TK1\phi}$  і  $F_{TK2\phi}$  умова стійкості руху (2.90) прийме більш простий остаточно вигляд:

$$\begin{aligned} & [F_{TK1\phi} + F_{TK2\phi}] - R_x - \\ & - f [K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}] - \\ - & f [K_{14} R_x + K_9 R_y + f K_{15} (K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}) - K_{12} F_{TK1\phi} + K_{13} F_{TK1\phi}] \geq 0 \end{aligned} \quad (2.59)$$

Отримана умова (2.63) в повній мірі дозволяє оцінити умову стійкості руху мотоблока при відсутності виникнення буксування ведучих коліс, при його агрегуванні з лемішно-полицевим плугом з урахуванням силової взаємодії його робочих елементів, а саме ведучих коліс і корпусу плуга з ґрунтом, конструктивно-технологічних параметрів і режимів функціонування.

## 2.2 Енергоємність процесу оранки

При роботі мотоблока з лемішно-полицевим плугом необхідна потужність для забезпечення технологічного процесу оранки ґрунту  $P$  (кВт) як при русі в борозні, визначається формулою [58]:

$$P = P_{ТЯГ} + P_{ПЕР} + P_{ТР} \quad (2.60)$$

де  $P_{ТЯГ}$  - потужність, що витрачається на подолання сил опору на

корпуса плуга, кВт;  $P_{\text{ПЕР}}$  - потужність, що витрачається на перекочування ведучих коліс, кВт;  $P_{\text{ТР}}$  - потужність, що витрачається на подолання сил тертя в приводі ведучих коліс, кВт.

У даній залежності  $P_{\text{ТЯГ}} + P_{\text{ПЕР}}$  буде визначати потужність, витрачена на створення сили тяги на ведучих колесах  $P_{\text{ТР}}$ , тобто  $P_{\text{ТР}} = P_{\text{ТЯГ}} + P_{\text{ПЕР}}$ .

Загальний вид обумовленої потужності  $P_{\text{ТР}}$  буде характеризуватися залежністю:

$$P_{\text{ТР}} = M_{\text{КРК}\omega\text{К}} 10^{-3} \quad (2.61)$$

де  $M_{\text{КРК}}$  - крутний момент на ведучих колесах, Н·м;  $\omega$  - кутова швидкість ведучих коліс, рад/с.

Прийнявши до уваги сили, що діють на мотоблок (рис. 2.1) для знаходження крутного моменту  $M_{\text{КРК}}$  отримаємо розрахункову формулу:

$$M_{\text{КРК}} = F_{\text{ТК}} \sum \frac{D_{\text{К}}}{2} \quad (2.62)$$

З огляду на (2.11) вираз (2.66) набуде вигляду:

$$M_{KPP} = \left( F_{CK\Sigma} + R_x + F_{fII} + F_{fIII} \right) \frac{D_K}{2}. \quad (2.63)$$

$$M_{KPK} = \left[ \begin{aligned} & \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}} + R_x + \\ & + f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi} \right] + \\ & + f \left[ K_{14} R_x + K_9 R_y + f K_{15} (K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}) - \right. \\ & \left. - K_{12} F_{TK1\phi} + K_{13} F_{TK2\phi} \right] \end{aligned} \right] \frac{D_K}{2}. \quad (2.64-65)$$

$$P_T = \left[ \begin{aligned} & \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}} + R_x + \\ & + f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi} \right] + \\ & + f \left[ K_{14} R_x + K_9 R_y + f K_{15} (K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}) - \right. \\ & \left. - K_{12} F_{TK1\phi} + K_{13} F_{TK2\phi} \right] \end{aligned} \right] \frac{D_K}{2} \omega_K 10^{-3} \quad (2.64-65)$$

Для подальшого перетворення слід виразити поступальну швидкість руху мотоблока  $v_{II}$  (км/год) через кутову швидкість ведучих коліс  $\omega_K$  за допомогою наступної залежності:

$$\omega_K = \frac{3,6 \cdot 2v_{II}}{D_K}. \quad (2.66)$$

Тоді рівняння прийме остаточний вигляд:

$$P_T = 3,6v_{II} 10^{-3} \left[ \begin{aligned} & \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K1}^2 b_{K1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{K2}^2 b_{K2} 10^9}} + R_x + \\ & + f \left[ K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi} \right] + \\ & + f \left[ K_{14} R_x + K_9 R_y + f K_{15} (K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}) - \right. \\ & \left. - K_{12} F_{TK1\phi} + K_{13} F_{TK2\phi} \right] \end{aligned} \right]. \quad (2.67)$$

Потужність, що витрачається на подолання сил тертя в приводі  $P$  тр визначається залежністю:

$$P_{TR} = (1 - \eta_0) P_T, \quad (2.68)$$

де  $\eta$  – загальний ККД передавальної частини.

З огляду на особливості трансмісії мотоблока [5, 17, 55] значення  $\eta$  про визначитися за формулою:  $\eta_0 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$ , (2.69)

З урахуванням раніше отриманої розрахункової залежності рівняння буде мати наступний вигляд:

$$P_T = 3,6v_{\Pi}(1-\eta_0)10^{-3} \left[ \sqrt[3]{\frac{[K_1K_2F_{gM} + K_3F_{gB1} - K_4F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038)D_{K1}^2b_{K1}10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1K_5F_{gM} + K_6F_{gB1} - K_7F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038)D_{K2}^2b_{K2}10^9}} + R_x + \right. \\ \left. + f[K_8F_{gM} + K_9R_z + K_{10}R_x - K_{11}F_{TK2\phi}] + \right. \\ \left. + f \left[ \begin{array}{l} K_{14}R_x + K_9R_y + fK_{15}(K_8F_{gM} + K_9R_z + K_{10}R_x - K_{11}F_{TK2\phi}) - \\ -K_{12}F_{TK1\phi} + K_{13}F_{TK2\phi} \end{array} \right] \right] \cdot \quad (2.70)$$

$$P_T = 3,6v_{\Pi}(2-\eta_0)10^{-3} \left[ \sqrt[3]{\frac{[K_1K_2F_{gM} + K_3F_{gB1} - K_4F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038)D_{K1}^2b_{K1}10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1K_5F_{gM} + K_6F_{gB1} - K_7F_{gB1}]^4}{(0,044p + 0,0038)D_{K2}^2b_{K2}10^9}} + R_x + \right. \\ \left. + f[K_8F_{gM} + K_9R_z + K_{10}R_x - K_{11}F_{TK2\phi}] + \right. \\ \left. + f \left[ \begin{array}{l} K_{14}R_x + K_9R_y + fK_{15}(K_8F_{gM} + K_9R_z + K_{10}R_x - K_{11}F_{TK2\phi}) - \\ -K_{12}F_{TK1\phi} + K_{13}F_{TK2\phi} \end{array} \right] \right] \cdot \quad (2.71)$$

Підставляючи раніше встановлені залежності і провівши ряд перетворень, отримаємо формулу для визначення необхідної потужності мотоблока при його експлуатації з лемішно-полицевим плугом:

Для знаходження енергоємності процесу обробки ґрунту мотоблоком з лемішно-полицевим плугом, застосуємо залежність:

$$E_{VD} = \frac{P}{W_V} \quad (2.72)$$

де  $E_{VD}$  - питома енергоємність, кВт · год/м<sup>3</sup>;  $W_V$  - об'ємна продуктивність, м<sup>3</sup>/год.

Значення об'ємної продуктивності  $W_V$  знаходили з формули:

$$W_V = \frac{B}{v_{\Pi}} h 10^3 \quad (2.73)$$

де  $B$  - ширина захвату агрегату, м;  $v_{\Pi}$  - поступальна швидкість, км/год;  $h$  - глибина оранки, м.

З урахуванням (2.75) і (2.77) залежність (2.76) буде мати вигляд:

$$E_{уд} = \frac{3,6(2-\eta_0)10^{-6}}{Bh} \left[ \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gb1} - K_4 F_{gb1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{k1}^2 b_{k1} 10^9}} + \sqrt[3]{\frac{[K_1 K_5 F_{gM} + K_6 F_{gb1} - K_7 F_{gb1}]^4}{(0,044p + 0,0038) D_{k2}^2 b_{k2} 10^9}} + R_x + \right. \\ \left. + f [K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}] + \right. \\ \left. + f \left[ \begin{array}{l} K_{14} R_x + K_9 R_y + f K_{15} (K_8 F_{gM} + K_9 R_z + K_{10} R_x - K_{11} F_{TK2\phi}) - \\ - K_{12} F_{TK1\phi} + K_{13} F_{TK2\phi} \end{array} \right] \right] \frac{D_k}{2} \omega_k 10^{-3}. \quad (2.74)$$

Отримані рівняння відображають залежності загальної потужності, споживаної мотоблоком при його агрегуванні з лемішно-полицевим плугом і питомої енергоємності процесу проведення оранки ґрунту, з урахуванням технологічних параметрів, властивостей оброблюваного середовища і особливостей його конструкції.

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ МОТОБЛОКОМ З ЛЕМІШНО-ПОЛИЦЕВИМ ПЛУГОМ

### 3.1 Методика та лабораторне оснащення

Для проведення лабораторних досліджень було розроблено експериментальний візок, який адаптований для виконання наступних задач [1, 22]:

- дослідження взаємодії корпусу лемішно-полицевого плуга мотоблока з ґрунтом, шляхом установки на експериментальний візок модуля для проведення просторового динамометрування;
- визначення характеру взаємодії ведучих коліс мотоблока з ґрунтом, при використанні стенда для визначення сили тяги на ведучих колесах мотоблока.

Розглянемо докладніше запропоновані технічні рішення для досягнення поставлених цілей і усунення наявних недоліків в конструкції експериментального візка, а також дамо їх аналіз.

Для забезпечення заданої методики проведення експериментальних досліджень корпусу плуга мотоблока, нами була запропонована конструкція пристрою, що забезпечує його просторове динамометрування кінематична схема якого представлена на рис. 3.1.

Для аналізу особливостей функціонування даного динамометричного модуля складемо розрахункову схему навантаження (рис. 3.2) попередньо замінивши зв'язку їх реакціями, а саме: в т. С. докладемо сили взаємодій корпусу плуга з ґрунтом  $R_x$ ,  $R_y$  і  $R_z$ ; в т. I, II і III докладемо сили  $R_I$ ,  $R_{II}$  і  $R_{III}$ , відповідні показаннями тензометричних датчиків I, II і III; в точці проєкції головного вектору  $R_{ox}$ ,  $R_{oy}$  і  $R_{oz}$ . При цьому припустимо, що тертя в шарнірах не велике і, відповідно, прийнявши вектор головного моменту рівним  $M_o = 0$  [33].

На першому етапі складемо рівняння моментів по площині  $XOZ$ ,  $YOX$  і  $YOZ$  [57].

Площина  $XOZ$ :

$$M_{Oy} = 0;$$

$$R_3 L_2 + R_y l_5 + R_2 l_6 = 0; \quad (3.1)$$

Площина  $YOX$ :

$$M_{Oz} = 0;$$

$$R_1 L_1 - R_x l_6 - R_y (l_4 + l_7) = 0 \quad (3.2)$$

Площина  $YOZ$ :

$$M_{Ox} = 0$$

$$-R_2 l_2 + R_y l_5 + R_z L_6 = 0 \quad (3.3)$$

де  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$  і  $l_7$  – геометричні розміри з розрахункової схеми динамометричного модуля (рис. 3.2), м.

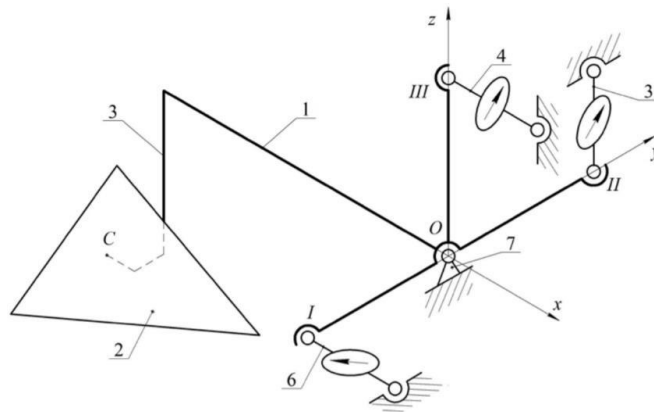


Рисунок 3.1 – Кінематична схема динамометричного модуля: 1 – корпус динамометричного модуля; 2 – корпус плуга; 3 – стійка корпусу плуга; 4, 5, 6 – динамометри; 7 – сферичний шарнір.

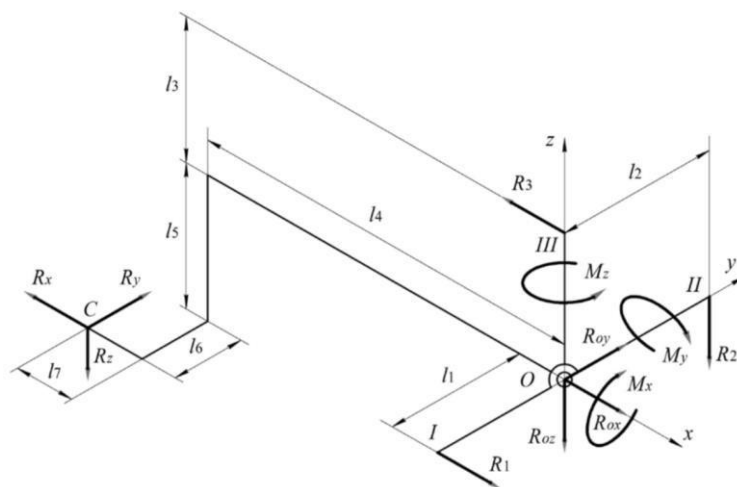


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема динамометричного модуля

Кожне з отриманих рівнянь (3.1), (3.2) і (3.3) має по два невідомих силових фактори. Для їх вирішення, виразимо з рівняння значення  $R_y$  і тоді отримаємо:

$$R_y = \frac{R_2 l_2 - R_z l_6}{l_5}. \quad (3.4)$$

Далі підставимо (3.4) в (3.2) і отримаємо наступну залежність:

$$R_1 + l_1 - R_x l_6 - \frac{(R_2 l_2 - R_z l_6)(l_4 + l_7)}{l_5} = 0, \quad (3.5)$$

Потім з (3.5) виражаємо  $R_x$  і отримуємо:

$$R_x = \frac{\frac{(R_2 l_2 - R_z l_6)(l_4 + l_7)}{l_5}}{l_6}. \quad (3.6)$$

Підставляємо (3.6) в (3.1) і отримуємо:

$$R_x = R_3 l_3 + R_z (l_4 + l_7) - \frac{\left[ \frac{(R_2 l_2 - R_z l_6)(l_4 + l_7)}{l_5} \right]}{l_6}. \quad (3.7)$$

Після перетворення рівняння (3.7) і вирази з нього  $R_z$  отримаємо наступну залежність:

$$R_z = \frac{\frac{R_1 l_1 l_5}{l_6} - R_3 l_3}{2(l_4 + l_7)} \quad (3.8)$$

Таким чином, рівняння (3.8) включає в себе значення динамометрів I і III  $R_1$  і  $R_3$ , які можна визначити в ході проведення випробувань [34].

Для визначення значень сил  $R_y$  і  $R_x$  необхідно скористатися відповідно виразами (3.4) і (3.6), результатами розрахунків сили  $R_z$ , і показниками тензOMETричних датчиків I і II  $R_1$  і  $R_2$ .

Запропонований експериментальний модуль для просторового динамометрування корпусу плуга, дозволяє вимірювати одночасно значення опору в напрямку переміщення корпусу плуга –  $R_x$ , в горизонтальній площині і площині перпендикулярній переміщенню плуга –  $R_y$  і у вертикальній площині –  $R_z$ .

На рис. 3.3 представлено експериментальний візок з модулем для просторового динамометрування лемішно-полицевого корпусу плуга в лабораторно-польових умовах [55].

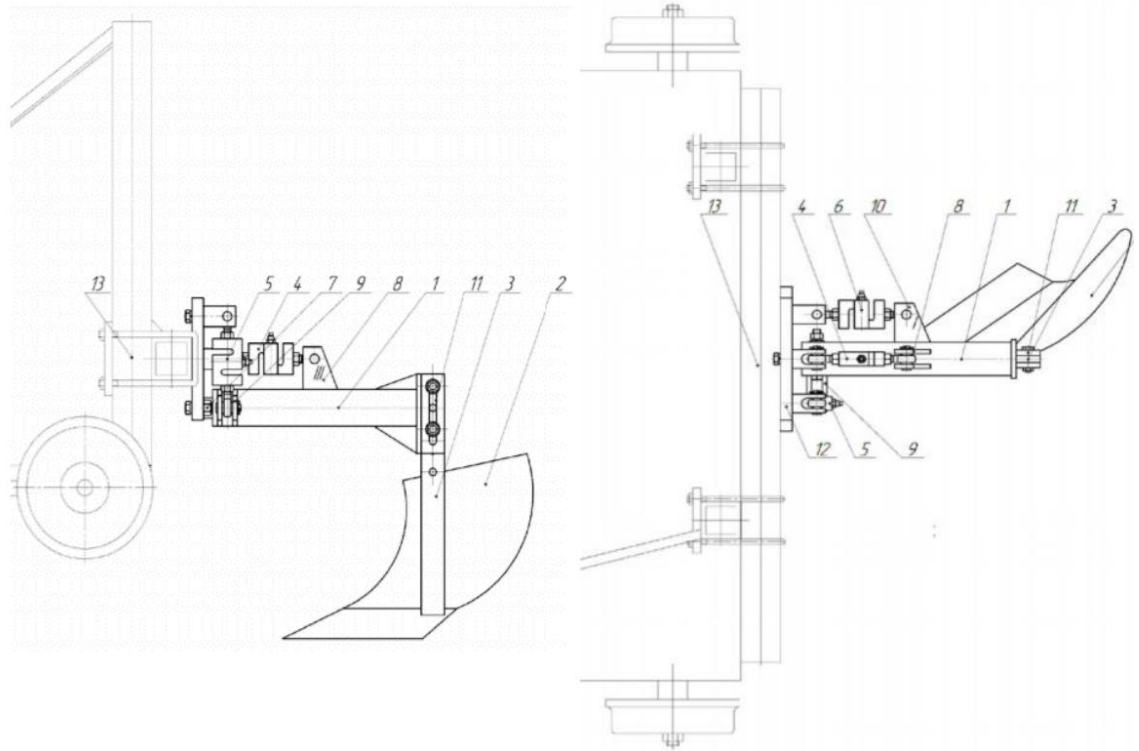


Рисунок 3.3 – Експериментальний візок з модулем, для просторового динамометрування корпусу лемішно-полицевого плуга: а) вид збоку; б) вид зверху.

Запропонована конструкція експериментального модуля для просторового динамометрування корпусу плуга (рис. 3.4), дозволяє розширити його функціональні можливості за рахунок одночасного вимірювання та контролю опору в напрямку переміщення в горизонтальній, перпендикулярній і у вертикальній площинах, визначення сили тяги ведучих коліс мотоблока (рис. 3.5) залежно від швидкості руху, твердості ґрунту, а також реакції ґрунту, що припадає на кожне ведуче колесо мотоблока, при фіксованому значенні коефіцієнта буксування  $\delta$  [2, 7].

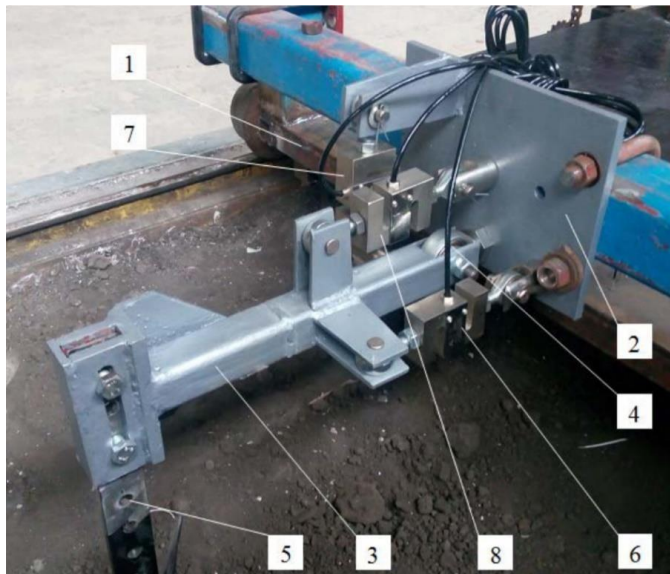


Рисунок 3.4 – Динамометричний модуль для дослідження сил діючих на корпус лемішно-полицевого плуга мотоблока: 1 – рухомий модуль експериментального стенду; 2 – кронштейн; 3 – корпус; 4 – сферичний шарнір; 5 – плуг; 6, 7 і 8 – тензометричні датчики I, II і III.



Рисунок 3.5 – Експериментальний модуль для визначення сили тяги на ведучих колесах

Визначення значень сили тяги мотоблока дозволить повною мірою реалізувати сучасні методики планування експерименту і, як наслідок, отримувати більш повні і об'єктивні данні при проведенні лабораторних і польових випробувань [16].

### 3.2 Аналіз стійкості руху мотоблока в повздовжній вертикальній площині за відсутності буксування ведучих коліс

Для оцінки стійкості ходу мотоблока з лемішно-полицевим плугом було використано залежність:

$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{aligned} & \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K1} + K_{TK13}pR_{K1} - \right) + \\ & \left( -K_{TK2}v_nR_{K1} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K1}^2 \right) \\ & + \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \right) \\ & \left( -K_{TK2}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \right) \end{aligned} \right] - \\
 & - [K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n] - \\
 & -f \left[ \begin{aligned} & K_8F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}pK_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ & -K_{10}(K_{0x}p - K_{1x}v_n - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ & -K_{11} \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \right) \\ & \left( K_{TK2}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \right) \end{aligned} \right] - \\
 & -f \left[ \begin{aligned} & K_{14}(K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) + K_9(K_{0y} + K_{1y}p - K_{2y}v_n + K_{12y}pv_n) + \\ & +fK_{15} \left[ \begin{aligned} & K_8F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p - K_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ & -K_{10}(K_{0x} - K_{1x}v_n - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ & -K_{11} \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \right) \\ & \left( -K_{TK2}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \right) \end{aligned} \right] - \\ & -K_{12} \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K1} + K_{TK13}pR_{K1} - \right) + \\ & +K_{13} \left( K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \right) \\ & \left( -K_{TK2}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \right) \end{aligned} \right] \geq 0 \quad (3.9)
 \end{aligned}$$

Вирішення умови запропонованої авторами [12], щодо поступальної швидкості руху мотоблока  $v_n$  дає змогу визначити її критичні значення з урахуванням твердості ґрунту. Тоді з урахуванням математичних перетворень отримаємо залежність:

$$\begin{aligned}
 & K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K1} + K_{TK13}pR_{K1} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K1}^2 + \\
 & + K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K2}^2 - K_{0x} + K_{1x}p - \\
 & \left[ \begin{aligned} & K_8F_{gm} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p) - K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p) - \\ & -K_{11}(K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2) + \\ & + K_{14}(K_{0x} + K_{1x}p) + K_9(K_{0y} + K_{1y}p) + \\ & -f \left( +K_8F_{gm} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p) - K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p) - \right. \\ & \left. +fK_{15} \left( -K_{11}(K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2) \right) \right) - \\ & -K_{12}(K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K1} + K_{TK13}pR_{K1} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K1}^2) + \\ & +K_{13}(K_{TK0} - K_{TK1}p - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2) \end{aligned} \right] \\
 & v_n \leq \frac{-K_{TK2} + K_{TK23}R_{K1} - K_{TK2}R_{K2} - K_{TK2} +}{+K_{TK23}R_{K1} - K_{TK2} + K_{TK23}R_{K2} + K_{2x} + K_{12x}p +} \quad (3.10) \\
 & \left( \begin{aligned} & K_8(-K_{2z} + K_{12z}p) - K_9(-K_{2x} + K_{12x}p) - K_{10}(-K_{2x} + K_{12x}p) - \\ & -K_{11}(K_{TK2} - K_{TK23}R_{K2}) + K_{14}(-K_{2x} + K_{12x}p) + K_9(-K_{2z} + K_{12z}p) + \\ & +fK_{15} \left[ \begin{aligned} & K_8(-K_{2z} + K_{12z}p) - K_9(-K_{2x} + K_{12x}p) - K_{10}(-K_{2x} + K_{12x}p) - \\ & -K_{11}(K_{TK2} - K_{TK23}R_{K2}) + K_{14}(-K_{2x} + K_{12x}p) + K_9(-K_{2z} + K_{12z}p) \end{aligned} \right] - \\ & -K_{12}(-K_{TK2} + K_{TK23}R_{K1} - K_{TK2} + K_{TK23}R_{K2}) + \\ & +K_{13}(-K_{TK2} + K_{TK23}R_{K1} - K_{TK23}R_{K2}) \end{aligned} \right)
 \end{aligned}$$

Таким чином, отримана залежність поступальної швидкості руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом дозволяє визначати гранично-допустимі її значення за умови забезпечення стійкості руху мотоблока при відсутності буксування ведучих коліс та з врахуванням його режиму роботи, масових і геометричних характеристик, а також властивостей оброблюваного ґрунту.

Використовуючи конструктивні параметри мотоблока «Нева» МБ-23-МультиАГРО Про та плуга П1-20/3, визначені його основні геометричні показники [11], які характеризуються коефіцієнтами  $K_8 = 0,015$ ,  $K_9 = 0,62$ ,  $K_{10} = 0,103$ ,  $K_{11} = 0,206$ ,  $K_{12} = 0,24$ ,  $K_{13} = 0,385$ ,  $K_{14} = 0,069$  і  $K_{15} = 0,063$ , прийнято значення сили тяжіння  $F_{gm} = 1200$  Н, коефіцієнта  $f = 0,41$ , а також значення коефіцієнтів рівнянь регресійних моделей силових характеристик  $R_x$ ,  $R_y$  і  $R_z$  та сили тяги  $F_{TKiF}$  на ведучому колесі (з урахуванням сили опору перекочуванню). Після низки перетворень умова (3.10) набуде вигляду:

$$v_n \leq \frac{156,9 - 808,2p + 148,2p^2 - 0,151R_{K1} + 0,685pR_{K1} + 0,00026R_{K1}^2}{-179,5 + 228p + 0,093R_{K1} + 0,079R_{K2}} \cdot \frac{0,0128R_{K2} + 0,555pR_{K1} + 0,000221R_{K2}^2}{-179,5 + 228p + 0,093R_{K1} + 0,079R_{K2}} \quad (3.11)$$

З огляду на те, що  $R_{K1}$  і  $R_{K2}$  є постійними величинами, при прийнятих фіксованих значеннях мас мотоблока (маса мотоблока  $m = 140$  кг:  $R_{K1} = 816,6H$   $R_{K2} = 570,1$ ; при  $m = 160$  кг :  $R_{K1} = 902,6H$  і  $R_{K2} = 679,0$ ; при  $m = 180$  кг :  $R_{K1} = 989,6H$  і  $R_{K2} = 789,8H$ ) вираз (3.11) набуде спрощеного вигляду:

- при  $m = 140$  кг

$$v_n \leq \frac{148,2p^2 + 43,5p + 205,6}{228p - 58,8}; \quad (3.12)$$

- при  $m = 160$  кг

$$v_n \leq \frac{148,2p^2 + 162,5p + 247,4}{228p - 42}; \quad (3.13)$$

- при  $m = 180$  кг

$$v_n \leq \frac{148,2p^2 + 282,6p + 299,7}{228p - 24,9}; \quad (3.14)$$

Після аналізу виразів (3.12-3.14) в програмному середовищі MathCad 15.0 [67] отримаємо графічні залежності граничних значень поступальної швидкості руху мотоблока за умови забезпечення стійкості його руху по критерію відсутності буксування ведучих коліс (рис. 3.6).

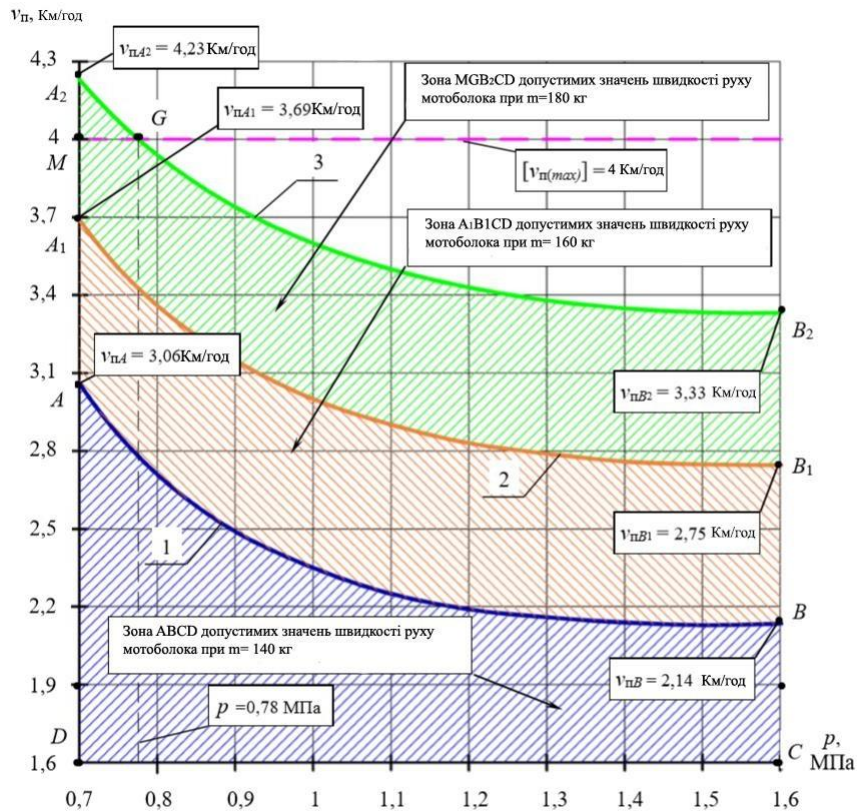


Рисунок 3.6 – Залежності швидкостей  $v_n$  руху мотоблока від твердості ґрунту

Криві 1, 2 і 3 визначають граничні значення поступальної швидкості руху мотоблока і характеризують забезпечення умови відсутності буксування ведучих коліс мотоблока.

Аналіз залежностей 1, 2 і 3 показує, що значення швидкості руху мотоблока зменшуються зі збільшенням твердості ґрунту від 0,7 до 1,6 МПа по увігнутим кривим. Для залежності 1 значення швидкості знижується від 3,06 км/год до 2,14 км/год; для залежності 2 від 3,69 км/год до 2,75 км/год; для залежності 3 від 4,23 км/год до 3,33 км/год, що у відсотковому відношенні становить 30 %, 25 % і 21 %, відповідно.

З рис. 3.6 встановлено, що рекомендовані значення швидкості руху мотоблока, що описуються кривими 1 і 2, знаходяться нижче допустимого

максимального значення швидкості руху мотоблока, що визначається умовами безпечної експлуатації.

При цьому швидкість руху мотоблока масою 180 кг (графічна залежність 3), в діапазоні твердості ґрунту від 0,7 до 0,78 МПа, перевищує допустиме значення безпечної швидкості пересування засобів малої механізації – 4 км/год.

Отже, отримані графічні залежності формують:

- зону  $ABCD$  допустимих значень швидкості руху мотоблока, при масі – 140 кг;
- зону  $A1B1CD$  допустимих значень швидкості руху мотоблока, при масі – 160 кг;
- зону  $MGB2CD$  допустимих значень швидкості руху мотоблока, при масі – 180 кг.

Перелічені зони допустимих значень швидкості руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом, дозволяють визначити область його функціонування при виконанні оранки, при відсутності буксування ведучих коліс.

### 3.3 Оцінка енергоємності процесу оранки

Для оцінки енергетичних показників функціонування мотоблока з плугом, використані наступні залежності:

$$P = 3,6v_n(2 - \eta_0)10^{-3} \left[ \begin{aligned} & \left[ \sqrt{\frac{[K_1K_2F_{gM} + K_3F_{g\delta 1} - K_4F_{g\delta 2}]^4}{(0,044p + 0,0038)D^2 K_1 b_{K1} 10^9}} + \sqrt{\frac{[K_1K_2F_{gM} + K_6F_{g\delta 1} - K_7F_{g\delta 2}]^4}{(0,044p + 0,0038)D^2 K_2 b_{K2} 10^9}} + \right. \\ & + [K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n] + \\ & + f \left[ \begin{aligned} & K_8F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p - K_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ & - K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ & - K_{11} \left( \begin{aligned} & K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ & - K_{TK23}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] + \quad (3.15) \\ & + f \left[ \begin{aligned} & K_{14} + (K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) + K_9(K_{0y} + K_{1y}p - K_{2y}v_n + K_{12y}pv_n) + \\ & + fK_{15} \left[ \begin{aligned} & K_8F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p - K_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ & - K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ & - K_{11} \left( \begin{aligned} & K_{TK10} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ & - K_{TK23}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] - \\ & - K_{12} \left( \begin{aligned} & K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ & - K_{TK23}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) + \\ & + K_{13} \left( \begin{aligned} & K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ & - K_{TK23}v_nR_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] \end{aligned}
 \end{aligned}$$

$$E_{ПИГ} = \frac{3,62(2-\eta_0)10^{-6}}{h} \left[ \sqrt{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_3 F_{gB1} - K_4 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D^2 K_1 b_{K1} 10^9}} + \sqrt{\frac{[K_1 K_2 F_{gM} + K_6 F_{gB1} - K_7 F_{gB2}]^4}{(0,044p + 0,0038) D^2 K_2 b_{K2} 10^9}} + \right. \\ \left. + [K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n] + \right. \\ \left. + f \left[ \begin{aligned} &K_8 F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p - K_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ &-K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ &-K_{11} \left( \begin{aligned} &K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}2v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ &-K_{TK23}v_n R_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] + \right. \\ \left. + f \left[ \begin{aligned} &K_{14} + (K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) + K_9(K_{0y} + K_{1y}p - K_{2y}v_n + K_{12y}pv_n) + \\ &+ f K_{15} \left[ \begin{aligned} &K_8 F_{gM} + K_9(K_{0z} + K_{1z}p - K_{2z}v_n + K_{12z}pv_n) - \\ &-K_{10}(K_{0x} + K_{1x}p - K_{2x}v_n + K_{12x}pv_n) - \\ &-K_{11} \left( \begin{aligned} &K_{TK10} - K_{TK1}p + K_{TK2}2v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ &-K_{TK23}v_n R_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] - \\ &-K_{12} \left( \begin{aligned} &K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}2v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ &-K_{TK23}v_n R_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) + \\ &+ K_{13} \left( \begin{aligned} &K_{TK0} - K_{TK1}p + K_{TK2}2v_n - K_{TK3}R_{K2} + K_{TK13}pR_{K2} - \\ &-K_{TK23}v_n R_{K2} + K_{TK11}p^2 + K_{TK33}R_{K2}^2 \end{aligned} \right) \end{aligned} \right] \right] \quad (3.16)$$

Отримані залежності (3.15) та (3.16) дозволяють оцінити, відповідно, витрати потужності і питому енергоємність при здійсненні оранки, в залежності від режиму роботи мотоблока, масових і геометричних характеристик, а також твердості ґрунту.

Як і для попередніх досліджень, використовуємо технічні характеристики мотоблока «Нева» МБ-23-МультиАГРО *Pro* та лемішно-полицевого плуга П1-20/3, і визначаємо значення коефіцієнтів:  $K_1 = 0,985$ ,  $K_2 = 0,613$ ,  $b = 0,2$  м для ведучих коліс, силу тяжіння  $F_{gM} = 1200$  Н. Після вибору значення коефіцієнтів:  $f = 0,41$  та  $\eta = 0,8$ , з урахуванням ряду перетворень, рівняння (3.15) і (3.16) набудуть вигляду:

$$P = 3,6v_n(2 - \eta_0)10^{-3} \left[ \begin{aligned} &303,1 + 45,4p - 151,3v_n + 272,4pv_n + 0,0026R_{K1} - \\ &-0,082pR_{K1} + 0,012v_n R_{K1} - 0,000025R_{K1}^2 + \\ &+ \left[ 0,009(p + 0,086)^{\frac{1}{3}} \left( R_{K1}^{\frac{4}{3}} + R_{K2}^{\frac{4}{3}} \right) \right] \end{aligned} \right]; \quad (3.17)$$

$$E_{ПИГ} = \frac{3,6v_n(2-\eta_0)10^{-6}}{bh} \left[ \begin{aligned} &303,1 + 45,4p - 151,3v_n + 272,4pv_n + 0,0026R_{K2} - \\ &-0,082pR_{K2} + 0,012v_n R_{K2} - 0,000025R_{K2}^2 + \\ &+ \left[ 0,009(p + 0,086)^{\frac{1}{3}} \left( R_{K1}^{\frac{4}{3}} + R_{K2}^{\frac{4}{3}} \right) \right] \end{aligned} \right]. \quad (3.18)$$

Для прийнятих фіксованих значень мас мотоблока, потрібно врахувати, що  $R_{K1}$  і  $R_{K2}$  – постійні величини (при масі  $m = 140$  кг:  $R_{K1} = 813,6$  Н і  $R_{K2} = 570,1$  Н; при  $m = 160$  кг:  $R_{K1} = 902,6$  Н і

$R_{K2} = 679,0 H$  ; при  $m = 180$  кг :  $R_{K1} = 989,6 H$  і  $R_{K2} = 789,8 H$  ;), що спрощує рівняння (3.17) та (3.18):

- при  $m = 140$  кг:

$$P = 3,6 v_n (2 - \eta_0) 10^{-3} \left[ 264,7 + 57,3p - 133,5v_n + 228pv_n - 2p^2 + 110,6(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \right]; \quad (3.19)$$

$$E_{ПНГ} = \frac{3,6v_n(2-\eta_0)10^{-6}}{Bh} \left[ 264,7 + 57,3p - 133,5v_n + 228pv_n - 2p^2 + 110,6(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (3.20)$$

- при  $m = 160$  кг:

$$P = 3,6 v_n (2 - \eta_0) 10^{-3} \left[ \begin{array}{l} 263,4 + 56,6 p - 138,6 v_n + \\ + 228 p v_n - 2 p^2 + 131,9(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \end{array} \right]; \quad (3.21)$$

$$E_{ПНГ} = \frac{3,6v_n(2-\eta_0)10^{-6}}{Bh} \left[ \begin{array}{l} 263,4 + 56,6 p - 138,6 v_n + \\ + 228 p v_n - 2 p^2 + 131,9(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \end{array} \right]. \quad (3.22)$$

- при  $m = 180$  кг:

$$P = 3,6 v_n (2 - \eta_0) 10^{-3} \left[ \begin{array}{l} 262,4 + 56,1 p - 138,7 v_n + \\ + 228 p v_n - 2 p^2 + 154,1(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \end{array} \right]; \quad (3.23)$$

$$E_{ПНГ} = \frac{3,6v_n(2-\eta_0)10^{-6}}{Bh} \left[ \begin{array}{l} 262,4 + 56,1 p - 138,7 v_n + \\ + 228 p v_n - 2 p^2 + 154,1(p + 0,086)^{\frac{1}{2}} \end{array} \right]. \quad (3.24)$$

Після підстановки значень твердості ґрунту  $p$  і швидкості руху  $v_n$ , відповідно, в інтервалах від 0,7 до 1,6 МПа та від 2 до 4 км/год в зазначені рівняння, отримаємо графічні залежності споживаної потужності (рис. 3.7-3.9) та питомої енергоємності процесу оранки (рис. 3.10-3.12), при врахуванні конкретних умов функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом.

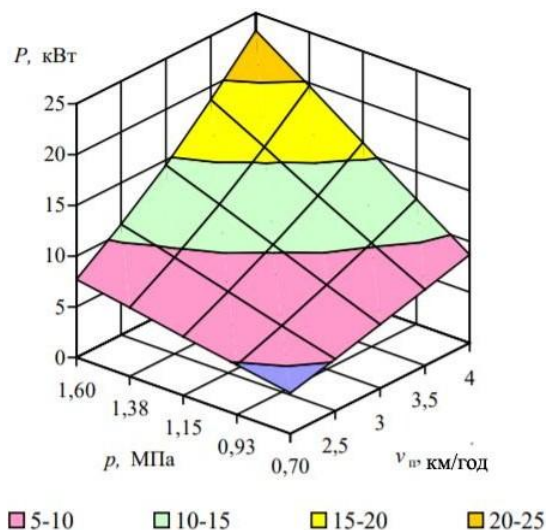


Рисунок 3.7 – Модель залежності споживаної потужності двигуна  $P$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 140$  кг)

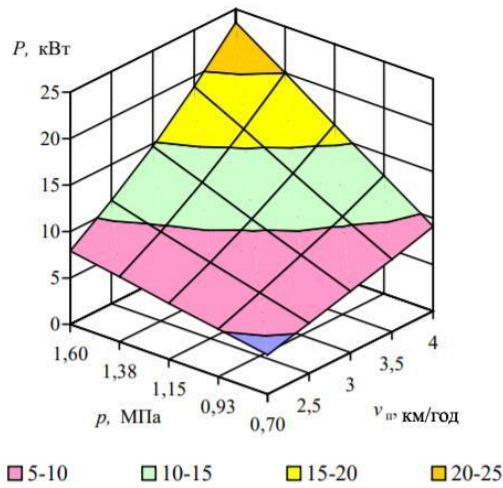


Рисунок 3.8 – Модель залежності необхідної споживаної потужності двигуна  $P$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 160$  кг)

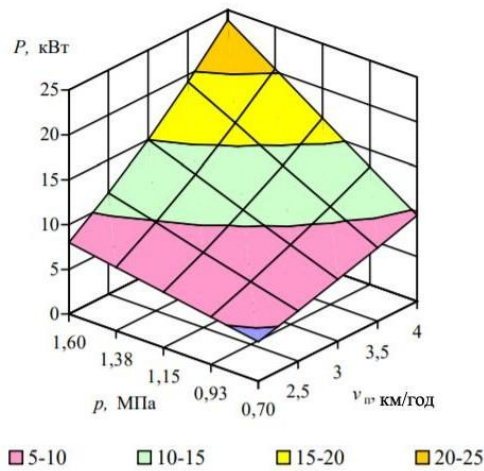


Рисунок 3.9 – Модель залежності споживаної потужності двигуна  $P$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 180$  кг)

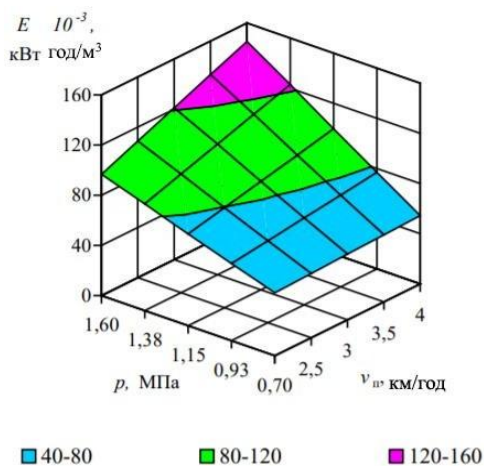


Рисунок 3.10 – Модель питомої енергоємності оранки  $E_{\text{ПІТ}}$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 140$  кг)

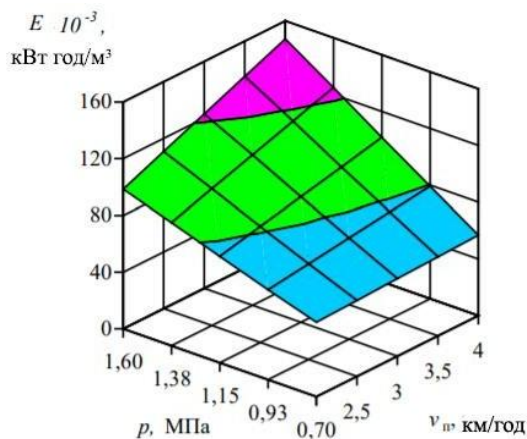


Рисунок 3.11 – Модель питомої енергоємності оранки  $E_{\text{ПІТ}}$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 160$  кг)

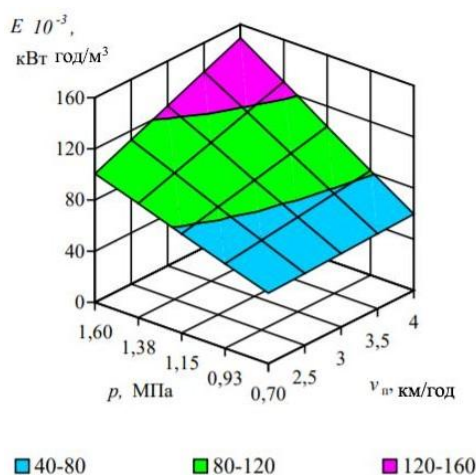


Рисунок 3.12 – Модель питомої енергоємності оранки  $E_{\text{ПІТ}}$  від швидкості руху мотоблока і твердості ґрунту (при  $m = 180$  кг)

Отримані моделі  $P = f(p; v_n)$  та  $E = f(p; v_n)$  показують зміну енергетичних параметрів обробки.

Подальший аналіз рис. 3.7-3.9, дає змогу зробити висновки, що значення споживаної потужності двигуна  $P$  для різних мас мотоблока, в інтервалі значень твердості ґрунту від 0,7 до 1,6 МПа і швидкості руху мотоблока від 2 до 4 км / год знаходиться в межах:

- при  $m = 140$  кг : від 4,0 до 23,3 кВт;
- при  $m = 160$  кг : від 4,2 до 23,6 кВт;
- при  $m = 180$  кг : від 4,4 до 23,9 кВт.

При цьому більш інтенсивне зростання споживання потужності спостерігається зі збільшенням швидкості руху мотоблока.

Аналогічно аналізуючи залежності питомої енергоемності  $E$  (рис. 3.10-3.12) отримані інтервали значень:

- при  $m = 140$  кг : від 0,0501 до 0,1454 кВт · год/м<sup>3</sup>;
- при  $m = 160$  кг : від 0,0525 до 0,1473 кВт · год/м<sup>3</sup>;
- при  $m = 180$  кг : від 0,05552 до 0,1494 кВт · год/м<sup>3</sup>.

При цьому зі збільшенням твердості ґрунту, спостерігається більш інтенсивне зростання енергоемності процесу обробітку ґрунту.

Оцінка енергетичних показників експлуатації запропонованої конструкції було виявлено, що значення споживаної потужності можуть перевищувати значення потужності двигуна конкретного типу мотоблока на певних режимах роботи, тому з метою виконання умови його функціонування потрібно визначити рекомендовані значення швидкості руху, враховуючи, що  $P_{дв} \geq P$  ( тут  $P_{дв}$  – потужність двигуна мотоблока, кВт).

### **3.4 Вибір раціональних режимів роботи мотоблока**

Головна мета підвищення ефективності функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом полягає у виборі раціональних швидкісних режимів роботи при виконанні оранки, шляхом знаходження найбільших допустимих значень швидкості його руху, з дотриманням умови його стійкого руху, за критерієм відсутності буксування ведучих коліс і максимального використання потужності двигуна [67, 68].

За результатами лабораторних випробувань, що представлені в п. 3.2 і п. 3.3 було отримано графічні залежності допустимих значень швидкостей руху від твердості ґрунту, при дотриманні критерію забезпечення стійкості руху та використанню максимальної потужності двигуна для різних значень маси мотоблока з плугом  $m = 140, 160$  і  $180$  кг (рис. 3.13), з яких видно, що при переміщенню мотоблока з плугом в межах твердості ґрунту

від 0,7 до 0,74 МПа, значення його маси, що дорівнює 180 кг, є більш оптимальним, а в діапазоні твердості ґрунту від 0,74 до 1,6 МПа, доцільним буде застосовувати мотоблок масою 160 кг. При цьому зміна маси мотоблока зі 180 кг на 160 кг, пов'язана з тим, що з її збільшенням зростає споживана потужність двигуна на проведення технологічної операції, що в свою чергу здійснює вплив на швидкісний режим.

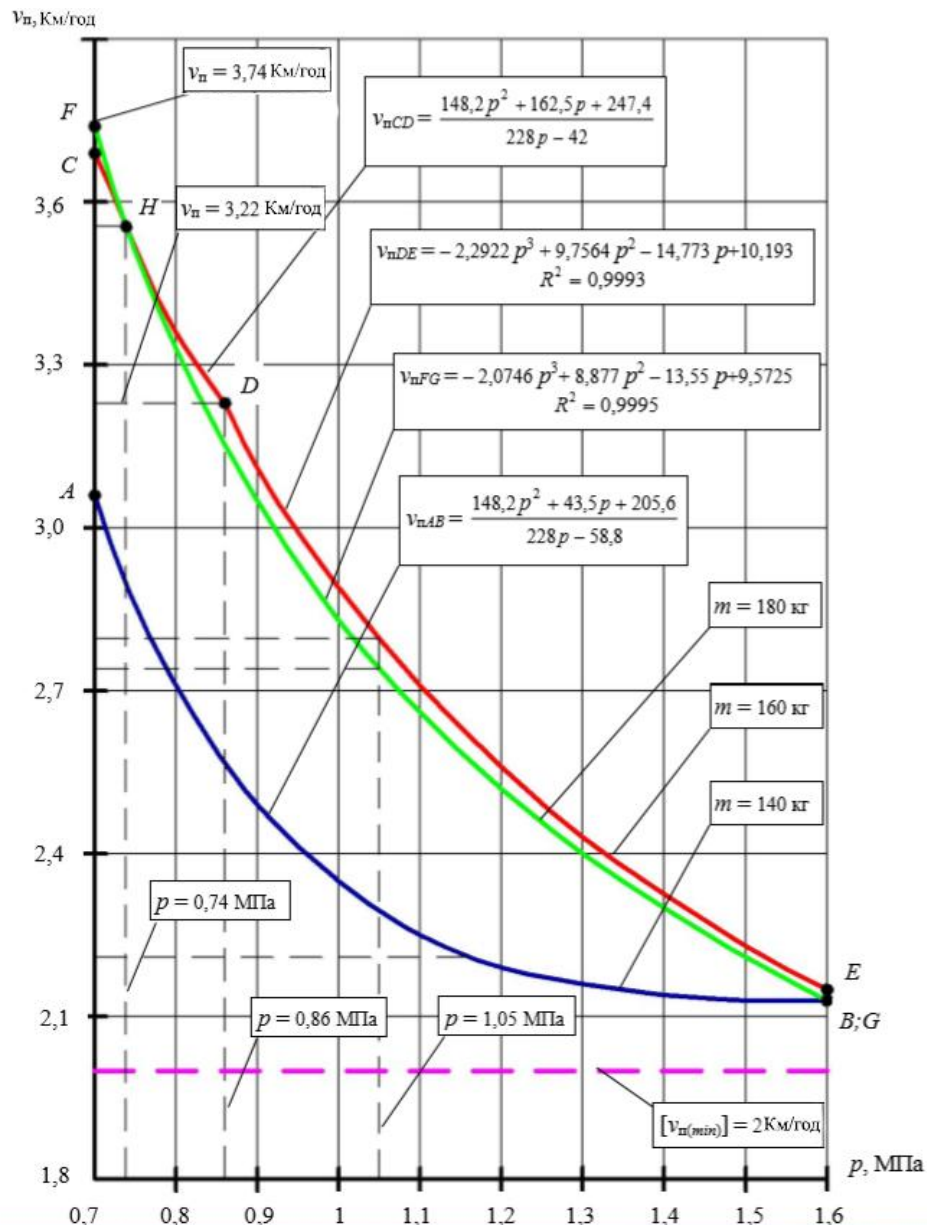


Рисунок 3.13 – Залежності допустимих значень швидкостей руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом від твердості ґрунту, при дотриманні критерію забезпечення стійкості руху та максимального використання потужності двигуна

Проте варто зазначити, що при дотриманні стійкості руху мотоблока з лемішно-відвальним плугом за критерієм відсутності буксування ведучих коліс з ґрунтом і реалізації максимального використання потужності двигуна, допустимі значення швидкості будуть визначені як:

- при твердості ґрунту від 0,7 до 0,86 МПа і масі мотоблока  $m = 180$  кг:  
 $v_n = 3,74 \dots 3,22$  км / год;

- при твердості ґрунту від 0,86 до 1,6 МПа і масі мотоблока  $m = 160$  кг:  
 $v_n =$  від 3,22 ... 2,15 км / год.

Таким чином, в результаті проведених лабораторних досліджень експлуатаційних режимів мотоблока з лемішно-полицевим плугом встановлено, що для забезпечення гнучкого підходу при виборі раціональних швидкісних режимів руху мотоблока, що визначають найбільш ефективно його функціонування, на наш погляд, є можливість забезпечення безступінчатого регулювання швидкості руху, наприклад за рахунок використання в кінематиці приводу ведучих коліс мотоблока клинопасового варіатора.

### **3.5. Опис модернізованої конструкції мотоблока з безступеневим регулюванням поступальної швидкості руху**

З метою практичної реалізації та впровадження результатів досліджень та пропозицій щодо забезпечення найбільш ефективного функціонування мотоблока з лемішно-полицевим плугом, отриманих в ході лабораторних досліджень, було запропоновано конструкція мотоблока з безступеневим регулюванням поступальної швидкості [50, 65], що дозволяє за рахунок варіатора забезпечувати безступінчасте регулювання його швидкості руху.

Мотоблок містить, розміщені на рамі 1 (рис. 3.14) рукоятки керма з органами управління 2, двигун 3 на валу 4 якого жорстко закріплений перший проміжний вал 5 до встановлених на ньому шківом відбору потужності 6, ведучим шківом 7 і механізмами автоматичного 8 і ручного 9 клинопасового варіатора 10. На рамі 1 також, розміщений редуктор 11 з

закріплених ними на його осях 12 і 13 ведучими колесами 14 і 15 і на його вхідному валу 16 веденим шківом 17 клинопасової передачі 18 з механізмом зчеплення в вигляді натяжного ролика 19 приводного ремня 20, що з'єднує ведений шків 17 з ведучим шківом 21 розміщеним в свою чергу на другому проміжному валу 22.

На валу 22 також встановлено ведений шків 23 варіатора 10 який приводиться клинопасовою передачею 24 від ведучого шківа 7.

Перед початком виконання технологічної операції попередньо здійснюється запуск двигуна і налаштування клинопасового варіатора на потрібне передавальне відношення, що забезпечує певну необхідну поступальну швидкість мотоблока. Запуск двигуна здійснюється при попередньо ослабленому приводному ремні, що ослаблюється натяжним роликом.

При запуску двигуна, крутний момент з його валу через перший проміжний вал, оснащений радіальними штифтами, передається на приводний шків варіатора, а потім за допомогою клинопасової передачі на ведений шків через другий проміжний вал.

При використанні мотоблока з ручним режимом управління варіатором його налаштування на необхідне передавальне відношення характерне для певної поступальної швидкості здійснюється шляхом обертання маховика на різьбовому хвостовому механізмі ручного управління. Для початку руху мотоблока необхідно натяжним роликом забезпечити натяг приводного ремня, який спочатку передає обертання з ведучого шківа на ведений шків клинопасової передачі, а потім через вхідний вал редуктора на піввісь і провідні колеса мотоблока.

У порівнянні з базовими конструкціями мотоблоків, модернізований варіант дозволяє розширити функціональні можливості мотоблока, підвищити його продуктивність при виконанні технологічних операцій, а використання принципу ручного регулювання обертів варіатора, дозволяє забезпечувати безступінчасте регулювання його поступальної швидкості в залежності від певних умов роботи.

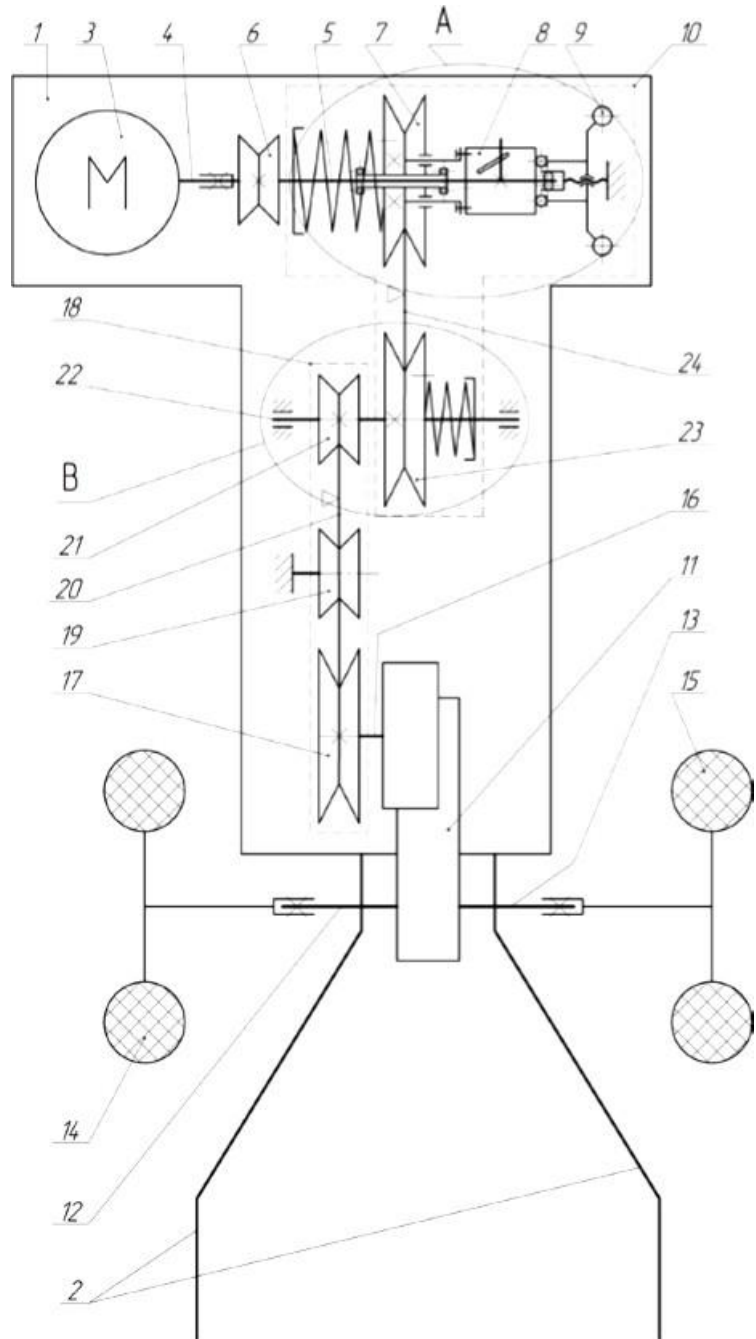


Рисунок 3.14 – Мотоблок з безступінчатим регулюванням поступальної швидкості

Технічна характеристика дослідного зразка мотоблока представлена в табл. 3.1. Для практичного використання та впровадження результатів досліджень, та з урахуванням конструктивних особливостей базових параметрів мотоблока [11] «Нева» МБ-23-МультиАГРО *Pro* в агрегаті з лемішно-полицевим плугом П1-20 / 3, була складена номограма вибору кінематичних параметрів його роботи, поступальної швидкості руху  $v_n$  і передавального відношення варіатора  $i_g$  від твердості ґрунту.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики дослідної конструкції мотоблока

Назва характеристики	Значення
Тип двигуна	4-х тактний, бензиновий, одноциліндровий
Тип трансмісії	Зубчато-ремінна-ланцюгова
Потужність двигуна, кВт	8,8
Спосіб регулювання швидкості руху	Безступінчастий, за рахунок клинопасового варіатора
Передаточне відношення клинопасового варіатора	0,61...1,08
Діапазон варіювання клинопасового варіатора	1,77
Робоча швидкість руху, км/год	1...12,00
Робоча ширина захвату, м	0,2
Діаметр ведучих коліс, мм	400
Маса, кг	120...180
Габаритні розміри, мм:	
-довжина	1740
-ширина	650
-висота	1000...13000
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1

### 3.6 Польові випробування дослідного зразка

Польові випробування дослідного зразка мотоблока, що є модернізованим варіантом мотоблока [11] «Нева» МБ-23-МультиАГРО *Pro*, проводилися на контрольних ділянках на зяблевій обробці ґрунту та для весняної оранки (попередник – картопля). Рельєф ділянок був рівним, за механічним складом ґрунт – чорнозем.

Загальний вигляд дослідного зразка мотоблока «Нева» МБ-23-МультиАГРО *Pro* з клинопасовим варіатором в агрегаті з плугом П1-20 / 3, при проведенні польових випробувань представлений на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Польові випробування модернізованої конструкції мотоблока

Проведення польових випробувань здійснювалося на різних швидкісних режимах мотоблока, мінімальні значення яких, при оранці, регламентовано керівництвом по експлуатації мотоблока [11, 12] і становить 2 км / год.

Максимальні значення обмежувалися конкретними режимами роботи дослідного зразка мотоблока, які визначалися виходячи із значень твердості ґрунту, для маси мотоблока рівній 160 кг, з подальшим вибором конкретних значень швидкості за допомогою номограми.

Таким чином, при проведенні польових випробувань на ділянках при твердості ґрунту 1,05 МПа, максимальне значення швидкості становило 2,8 км / год. При твердості 1,11 МПа, максимальне значення швидкості складало 2,7 км / год. При цьому значення швидкості забезпечувалося вибором відповідного передаточного числа варіатора. Обробка ґрунту на контрольних ділянках виконувалась на глибину 0,2 м, після чого проводилися енергетична оцінка та оцінка якості обробки ґрунту за раніше наведеними методиками.

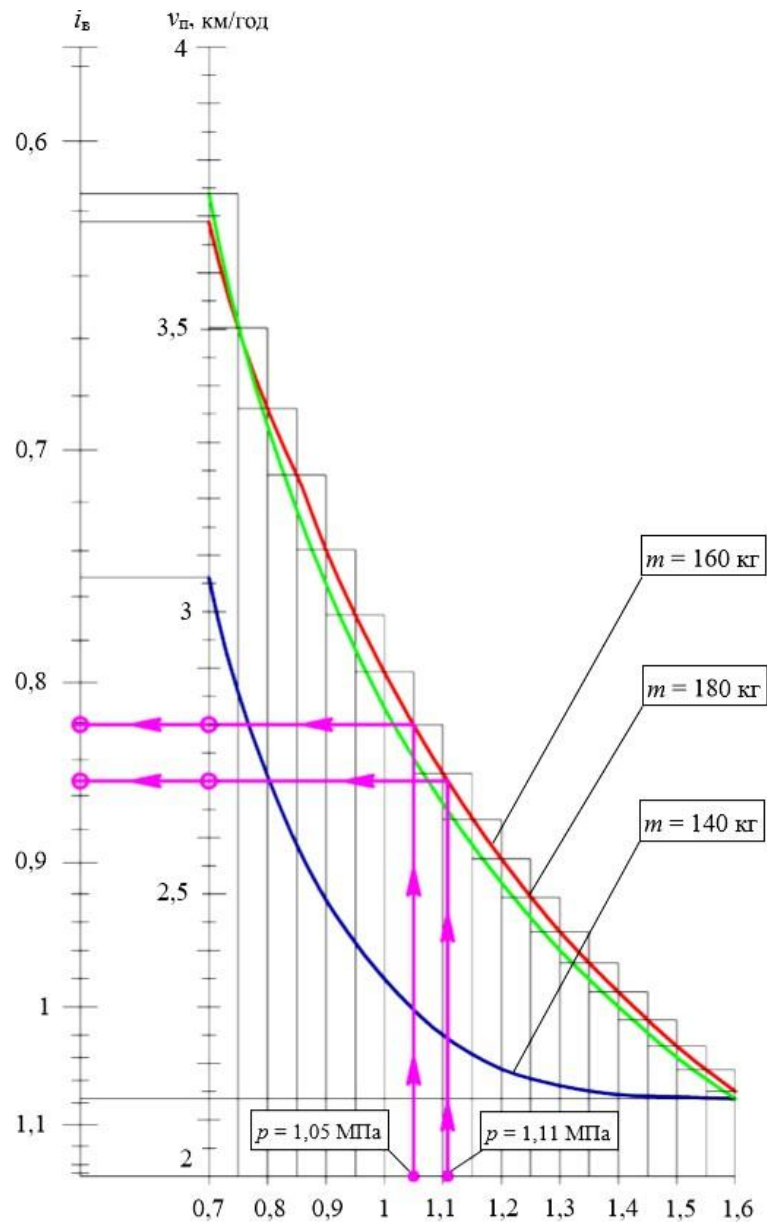


Рисунок 3.16 – Номограма вибору кінематичних параметрів та експлуатаційних режимів модернізованого мотоблока

Результати аналізу агротехнічної оцінки підтверджують досить високий рівень якості обробки ґрунту експериментальним зразком мотоблока в діапазоні швидкостей від 2 до 2,8 км / год, при твердості ґрунту 1,05 МПа і в діапазоні швидкостей від 2 до 2,7 км / год, при твердості ґрунту 1,11 МПа.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві**

Організація, планування та контроль за станом охорони праці в господарстві здійснюється на основі закону. Керівництво господарства затверджує відповідальних за охорону праці в усіх виробничих підрозділах.

Нагляд за виконанням заходів з охорони праці покладається на інженера з охорони праці. Відповідальні особи несуть відповідальність за усунення недоліків, забезпечення безпечних умов праці, інформування на підставі нормативних актів, притягнення людей до суду у разі порушення вимог охорони праці.

Пропаганда та агітація з питань охорони праці в господарстві знаходиться на високому рівні. На всіх виробничих ділянках є відповідна документація та куточки з охорони праці.

Працівник повинен добре знати вимоги інструкції. Тільки при високій трудовій і виробничій дисципліні можна забезпечити точне виконання вимог інструкцій з техніки безпеки на роботі та зберігання автомобілів та обладнання. Особи, які порушили вимоги інструкції, притягуються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього розпорядку господарства, крім випадків, коли порушення вимог тягне за собою кримінальну відповідальність.

### **4.2. Небезпечні та шкідливі фактори, які можуть вплинути на працівника**

*Фізичні небезпеки та шкідливі виробничі фактори:*

- мобільні машини та механізми;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні обладнання, матеріалів;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищений шум на робочому місці;

- підвищений рівень вібрації;
- підвищена рухливість повітря;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена яскравість світла;
- гострі краї, нерівності та шорсткості на поверхнях обладнання.

*Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:*

- продукти згоряння палива;
- добрива: сульфат амонію, гранульований суперфосфат, калійна сіль;
- суміш гербіцидів.

*Біонебезпечні та шкідливі виробничі фактори:*

- патогенні мікроорганізми, бактерії, віруси, гриби та продукти їх життєдіяльності, які пошкоджують рослину та викликають захворювання;

*Психофізіологічно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:*

- фізичні перевантаження - статичні та динамічні;
- нервово-психічні перевантаження - монотонність роботи.

### 4.3. Санітарно-виробничі заходи в господарстві

Усі працівники, які брали участь у використанні мінеральних добрив, забезпечені засобами індивідуального захисту (табл. 4.1).

Загалом санітарно-гігієнічний стан умов праці на території господарства нормальний. Санітарно-побутові умови відповідають санітарним вимогам.

Для працівників, які працюють з добривами та пестицидами, встановлюється неповний робочий день. Отримують безкоштовне молоко, засоби індивідуального захисту та спеціальний одяг.

Таблиця 4.1

Кількість необхідного спецодягу, спецвзуття і захисних засобів

1	Машиніст комбайну	Костюм бавовняно-паперовий з пилонепроникної тканини	12
		Шолом брезентовий	12
		Рукавиці комбіновані	до зносу
		Окуляри захисні	
2	Машиніст, зайнятий	Чоботи гумові	24
		Фартух прогумований	6

	внесенням добрив	Рукавички гумові	чергові
		Респіратор	до зносу
		Окуляри	12
3	Робітник на машинах при сівбі	Костюм бавовняно-паперовий з пилонепроникної тканини	12
		Рукавиці комбіновані	до зносу
		Окуляри захисні	6
		Фартух поліетиленовий	4
4	Робітник на поливі	Рукавиці комбіновані	до зносу
		Чоботи гумові	до зносу
5	Тракторист - машиніст	Костюм бавовняний	12
		Рукавиці комбіновані	до зносу
6	Заправник трактора, комбайна	Комбінезон бавовняний з кислотно-захисним просоченням	черговий
		Рукавиці комбіновані	3

#### 4.4. Вимоги безпеки до робочого процесу при обробітці ґрунту

Характеристики сучасного виробництва вимагають впровадження все більш ефективних заходів щодо підвищення безпеки виробництва та охорони навколишнього середовища. Охорона праці — це система організаційних, правових, економічних, технічних та санітарних заходів, спрямованих на збереження працездатності та здоров'я людей. Основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону життя і здоров'я викладені в Законі України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. Відповідно до вимог цього закону чітко визначена система державного управління. Державне управління охороною праці здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- Державний комітет України з нагляду за охороною праці;
- Міністерства;
- Місцева державна адміністрація;

Закон містить норми прямої дії, які визначають обов'язки, права та повноваження кожного з цих органів.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики у сфері охорони праці, визначає функції міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади, визначає порядок створення та

використання державних, галузевих та регіональних фондів.

Відповідно до чинного законодавства забезпечення здорових і безпечних умов праці покладено на адміністрацію підприємств, установ, організацій, яка несе відповідальність за додержання законодавства про працю, забезпечує впровадження сучасних засобів техніки безпеки для запобігання виробничому травматизмові, створення санітарно-гігієнічних умов праці, які попереджують виникнення професійних захворювань. У колективних господарствах відповідно до Примірного статуту питаннями організації охорони праці займаються члени правління, голова і спеціалісти. Відповідальність за стан охорони праці покладається перш за все на керівників (власників) підприємств.

Конкретно організацію охорони праці покладено на головного інженера. У бригаді і інших підрозділах середньої ланки виробництва питання організації охорони праці входять в компетенції бригадирів і керівників інших підрозділів. На кожному підприємстві залежно від чисельності працюючих та з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва з числа спеціалістів призначаються інженери з охорони праці, інженери по підготовці кадрів і виробничому навчанню. Вони підпорядковані безпосередньо керівникам господарств чи головним інженерам.

#### **4.5. Рекомендації виробництву**

Для покращення стану охорони праці в господарстві необхідно:

1. Підвищити вимоги до безпосередніх керівників відділів щодо невикористання працівниками засобів індивідуального захисту; .
2. Запровадити посилений контроль за виконанням правил охорони праці;
3. Не допускати використання несправних приладів, машин та інструментів;
4. Контролювати технічне обслуговування механізмів, машин, обладнання, ретельно перевіряти їх придатність і складність перед роботою;
5. Не допускати роботи без використання індивідуальних засобів захисту персоналу;
6. Не допускати порушень правил охорони праці.

Ці рекомендації можуть зменшити кількість захворювань і травм працівників і підвищити продуктивність.

#### **4.6 Вимоги до створення сільськогосподарської техніки**

Конструкція та розташування вузлів, механізмів і систем сільськогосподарської мобільної техніки повинні забезпечувати безпеку праці та зручність при технічному обслуговуванні. Робота їх не повинна супроводжуватися наявністю небезпечних і шкідливих факторів. Машини у процесі експлуатації не повинні забруднювати викидами шкідливих речовин навколишнє середовище.

Граничний кут поперечної статичної рівноваги повинен становити не менше  $30^{\circ}$  для плугів, чизелів та культиваторів. Навантаження на колеса управління повинно бути не менше 0,2 від експлуатаційної маси енергетичного засобу. Зміщення центру тиску відносно середини опорної поверхні гусені агрегату не повинно перевищувати 0,2 довжини опорної поверхні гусені. Для забезпечення поздовжньої рівноваги та необхідного навантаження на колеса управління допускається встановлення балансирів, маса кожного з яких не повинна перевищувати 20 кг.

Машини, що працюють з соломистими матеріалами повинні бути обладнані пристосуванням для кріплення серійних первинних засобів пожежогасіння. Розміщення та конструкція кріплення цих засобів повинні забезпечувати вільний доступ до них і їх зняття за 8 секунд.

Машини повинні бути забезпечені комплектом інструменту для технічного обслуговування та ремонту з спеціальним ящиком, або сумкою для зберігання.

Вузли машини, вихід з ладу яких може привести до аварії повинні мати підвищену міцність та надійність.

Робочі органи, що в процесі роботи можуть забиватися технологічними матеріалами повинні бути обладнані пристроями, які зменшують імовірність цього.

Конструкція огорожень повинна відповідати функціональному

призначенню. Її виготовлення та кріплення повинно виключати можливість випадкового доторкання працівника. Міцність огороження повинна бути встановлена з урахуванням навантаження. Огороження, які необхідно вручну відкривати повинні відкриватися без застосування інструментів.

Трактори і самохідні машини повинні бути забезпечені звуковими та світловими сигналізаторами. На машинах та агрегатах, які обслуговуються декількома операторами сигналізація повинна бути двосторонньої дії. Рівень звуку повинен бути на 8 Дцб вище рівня шуму машини.

Пофарбування агрегатів повинно бути контрастним у порівнянні з фоном навколишнього середовища. На видних місцях елементів конструкції машин повинні бути нанесені знаки (символи) безпеки за ГОСТ 12.4.026.

Окремі вузли масою більше 20 кг та в цілому машини повинні мати пристрої для встановлення строп і місця для встановлення домкратів. Місця для встановлення строп повинні мати позначення символом “ланцюг”, а домкратів – позначкою “ДК”.

Причіпні, навісні, напівнавісні машини, а також ті, що монтуються на енергетичні засоби, у під'єднаному стані повинні зберігати рівновагу при прикладанні зусилля 200 Н. Перевід машини в транспортний і робочий стан повинен здійснюватися з робочого місця тракториста. Конструкція підняття знаряддя повинна передбачати механічне його фіксування і утримання у транспортному положенні.

#### **4.7. Рекомендації з охорони праці при роботі на машині**

При роботі слід дотримуватись наступних основних правил техніки безпеки.

Допускати до управління агрегатом тільки осіб, що отримали необхідні знання та навички по роботі на машині, регулюванню та технічному догляді. Особи повинні пройти інструктаж з техніки безпеки. Заборонено знаходження біля агрегату осіб, що не мають безпосереднього відношення до роботи.

Заборонено працювати у вільній одежі.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність агрегату,

перевірити надійність кріплення всіх робочих органів до рами.

Про початок роботи потрібно попереджати звуковим сигналом.

Заборонено знаходитись перед агрегатом в момент початку руху останнього.

Регулювання та обслуговування агрегату виконувати при заглушеному двигуні трактора.

При експлуатації машини треба виконувати вимоги ГОСТ 12.2.111-85 ССБТ “Машини сільськогосподарські. Загальні технічні вимоги”. Постійне виконання вимог названого стандарту та вимог інструкції заводу-виробника зробить роботу на машині безпечною.

До роботи на агрегаті допускаються механізатори не молодше 17 років, які пройшли інструктаж та знайомі з будовою машини та особливостями розробленої конструкції, регулюваннями, правилами догляду і технікою безпеки.

Особа що керує повинна мати посвідчення на право керування. Робити дозволяється на технічно справних машинах, відрегульованих та повністю укомплектованих. Перед виїздом у поле щоразу комплектність перевіряти. Поля, що назначені для обробітку повинні бути завчасно підготовлені: розбиті на загони, відбиті поворотні смуги. З поля також видалити сторонні предмети, великі ями засипати, інші перепони відмітити упереджуючими знаками. Роботи та переміщення агрегатів повинні виконуватись у відповідності з робочим планом і затвердженими маршрутами.

#### **4.8. Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки**

Відповідно до вимог Карт техника, що представляється на контроль, повинна бути комплектною, агрегатуватися з ґрунтообробним агрегатом і знаходитись в працездатному стані.

Робоче місце повинне бути оснащене й обладнано відповідно до обліку виявлених відхилень по показниках безпеки.

При складанні карти робоче місце умовно підрозділяють на вісім технічних систем: 1 - технологічна; 2 - механічних зв'язків; 3 - ходова; 4 -

кермова; 5 - гальмова; 6 - енергетична; 7 - операторського висвітлення; 8 - захисту. Кожна з них у свою чергу може бути розбита на підсистеми. На практиці при проведенні контролю елементи цих систем поєднують по місцеві їхнього розташування в групі, що полегшує проведення контролю і дозволяє проводити його швидше. Для даного випадку в процесі контролю агрегату по параметрах безпеки досить виділення 8 таких локалізованих груп.

При контролі техніки по показниках безпеки перевіряють стан, монтаж, працездатність і ефективність усіх технічних систем.

Інвентаризація машин являє собою перевірку комплектності всіх систем відповідно до Карт чи посібником з експлуатації. У ході інвентаризації встановлюють правильність застосування вузлів і деталей усіх технічних систем (особливо гальмової системи і ходової частини), їхній стан (відсутність тріщин, згинань, ум'ятин, іржі і т.п.) і правильність монтажу. Фаза інвентаризації здійснюється на першій посаді контролю – на стоянці, лінійці готовності, у боксі, на ямі чи естакаді.

#### **4.9. Технологія розробки логіко-імітаційної моделі виробничих небезпек**

Кожен небезпечний фактор виробництва, незалежно від виду, рівня та інших характеристик, має певну зону дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко визначені значення, її можна вважати постійною. Якщо така зона може змінюватися під час роботи через зміну рівня небезпеки, її переміщення в просторі буде змінним.

У деяких випадках (надзвичайні ситуації) шкідливий виробничий фактор може значно перевищувати певну (фіксовану) площу. У цьому випадку ризик травмування працівника виникає за межами заздалегідь визначеної небезпечної зони. Тому кожен, хто працює на певній машині або робочому місці, повинен завжди добре усвідомлювати цю небезпеку.

Небезпечна зона (ГОСТ 12.0.002-80) - це територія, в якій працівник може зазнати впливу небезпечного та (або) шкідливого виробничого фактору.

Постійні небезпечні зони існують або виникають у ланцюгових, ремінних

і зубчастих передачах, поблизу робочих органів багатьох сільськогосподарських машин, під машинами та платформами, які піднімаються гідравлічною або іншою підйомною системою.

Під час роботи людина може потрапити в небезпечну зону через відсутність необхідних огорож, сигнальних пристроїв чи попереджувальних знаків і написів, порушення відповідних правил, помилку чи нещасний випадок. У той же час існує ймовірність впливу на нього небезпечного виробничого фактору. Будь-яка дія, яка спричиняє потрапляння людини в небезпечну зону, позначається як небезпечна.

Небезпечним є вчинок працівника який суперечить науково обґрунтованим нормам професійної поведінки при виконанні конкретного виробничого завдання. Виникає в результаті порушення регламентованого режиму роботи обладнання, нормативних вимог з охорони праці, норм експлуатації споруд і будівель тощо. Таким чином, через небезпечні дії працівник потрапляє в небезпечну зону, де потрапляє в небезпечні обставини.

Всебічне знання обставин, що призвели до аварії або можуть спричинити аварію, травму чи тяжкі наслідки, необхідні для глибокого розуміння процесу створення, та виникнення небезпечних ситуацій - випадкових подій, що призвели до травмування, аварій.

Небезпечні умови можуть бути визначені недоліками конструкції машин, технологічного обладнання та процесів, низьким рівнем організації виробництва недостатньою надійністю виробничого обладнання. Вони відіграють першочергову роль у створенні та виникненні виробничих небезпек - специфічного стану, при якому існує реальний ризик нещасного випадку або травмування. Це пов'язано з тим, що навіть за наявності кількох небезпечних факторів виробництва на певному робочому місці, але якщо жоден з них не має умов, за яких це могло б вплинути на людину, то реального ризику травматизму на цьому робочому місці немає. Інша справа, коли такі умови існують, але працівник про них не знає. Процес виявлення небезпечних станів у деяких випадках може бути досить складним, тому потрібні спеціальні дослідження.

Аналіз шкідливих умов, які існують або виникають безпосередньо на робочому місці, показав, що за своєю природою їх можна розділити на групи,

які:

- описують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання чи конкретного робочого місця, недоліки конструкції окремого блоку або машина та інші;

- заохочувати працівника до помилок у процесі роботи, низька кваліфікація робітника та рівень знань з охорони праці, відсутність належного контролю за дотриманням норм праці;

- створювати можливість проникнення працівника в небезпечну зону;

- призвести до інших небезпечних умов (помилки в установці обертових роторів, деякі конструктивні помилки);

- призвести безпосередньо до травматичної ситуації;

- призвести до небезпечних дій враховуючи низький рівень професійної кваліфікації працівників та організації навчання з охорони праці.

У процесі вивчення небезпечних умов було встановлено, що коли вони збігаються з обставинами, в яких опинився працівник після небезпечних дій, існує реальний ризик травмування, тобто. що виникає внаслідок поєднання (збігу) умов і обставин.

Якщо внаслідок аварії технічної системи постраждали люди, сам випадок травми слід розглядати як подію, що сталася внаслідок аварії. Це стосується тих систем, в яких підсистемами є технічні засоби і людина. Якщо під час роботи таких систем вийшов з ладу технічний засіб, або яка раптово перестав працювати через руйнування окремих деталей або самої машини і це спричинило значні матеріальні збитки, таке випадкове явище слід назвати нещасним.

Оскільки робота людино-машинних систем має такі явища, як травми, аварії та катастрофи, дуже подібні механізми виникнення, в подальшому ці явища будуть описані паралельно, які можуть виникати під час роботи ґрунтообробного агрегату. Логічна імітаційна модель показує, що працівник, який допускає небезпечну дію (ND), потрапляє в небезпечні обставини (NO), за яких на нього може вплинути небезпечний фактор (F) в небезпечному стані (NU). Це створює ще одну подію, яка називається небезпечною ситуацією (NS). Усі явища, що створюють небезпечну ситуацію, мають певну надійність, а це

означає, що небезпечні умови (NY), небезпечні дії (ND), небезпечні ситуації (NS) та наслідки таких ситуацій: аварія (A), травма (T) і сприятлива подія (подія без нещасних випадків і травм) є випадковим явищем.

Розглянуті організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві. Розкриті небезпечні шкідливі фактори, які можуть впливати на працівника. Приведена технологія розробки карти контролю, по показниках безпеки.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ

Порівняльний аналіз економічної ефективності модернізованого та базового варіантів конструкції мотоблока виконувався за типовою методикою [25, 27]. Головними чинниками, що визначають економічну ефективність, є зниження витрат праці і вартості механізованих робіт за рахунок підвищення продуктивності мотоблока. За прототип використали базовий варіант («Нева» МБ-23-МультиАГРО Pro + Плуг П1-20 / 3) при експлуатації в аналогічних умовах. Вибір годинної ставки оплати праці обслуговуючого персоналу проводився, відповідно до діючої тарифної сітки станом на весняно-літній період 2020 року [47, 48, 54]. У таблиці 5.1 представлені вихідні дані для техніко-економічного аналізу, а результати розрахунку економічної ефективності від впровадження в табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Дані для розрахунку техніко-економічних показників

Показник	Ґрунтообробний агрегат			
	«Нева» МБ-23-Мульти АГРО Pro + Плуг П1-20 / 3		«Нева» МБ-23-МультиАГРО Pro- М + плуг П1-20 / 3 (Модернізований)	
Твердість ґрунту, МПа	1,05	1,11	1,05	1,11
Робоча ширина, м	0,2	0,2	0,2	0,2
Швидкість мотоблока (теоретична), км / год	2,3	2,3	2,8	2,7
Робоча швидкість мотоблока (дійсна), км / год	1,74	1,78	2,07	2,03
Буксування ведучих коліс, %	24,3	22,5	26,2	24,9
Коефіцієнт використання часу зміни	0,75		0,7	
			5	
Балансова вартість агрегату, тис. грн.	42,5		47,4	

Число обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Час зміни, год.	7	7
Річна завантаження, га	5	5

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності модернізації мотоблока

Показник	Ґрунтообробний агрегат			
	«Нева» МБ-23- Мульти АГРО Pro + Плуг П1-20 /3		«Нева» МБ-23- МультиАГРО Pro-M + плуг П1-20 / 3 (Модернізований)	
Твердість ґрунту, МПа	1,05	1,11	1,05	1,11
Робоча швидкість, км / год	1,74	1,78	2,07	2,03
Буксування ведучих коліс,%	24,3	22,5	26,2	24,9
Годинна продуктивність, га / год	0,0348	0,0356	0,0414	0,0406
Змінна продуктивність, га / год	0,1827	0,1869	0,2174	0,2132
Трудомісткість механізованих робіт, люд.-год / га	5,47	5,35	4,6	4,69
Зниження витрат праці, %	-	-	15,9	12,3
Собівартість механізованих робіт, грн. / га	11471,4 5	11170,4 9	8955,5 3	9180,9 1
Річна економія від модернізації, грн.	-	-	3031,84	1979,16
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	-	0,9	1,4

Таким чином було встановлено, що впровадження модернізованої конструкції для виконання оранки (при річному завантаженні 5 га) дозволить забезпечити в середньому 2-3 тис. грн. економії на 1 одиницю техніки при окупності додаткових капітальних вкладень на модернізацію впродовж 1-1,5 року.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведені теоретичні дослідження дозволили отримати умови стійкості руху мотоблока з плугом в поздовжньо-вертикальній площині при відсутності буксування ведучих коліс.

2. В результаті теоретичних досліджень були отримані аналітичні залежності споживаної потужності двигуна мотоблока та питомої енергоємності процесу основного обробітку з урахуванням умов та режимів експлуатації, конструктивних параметрів та силових факторів взаємодії корпусу плуга з ґрунтом.

3. На основі результатів лабораторних випробувань було отримано серію рівнянь регресії енергетичних показників орного агрегату в залежності від умов та режимів експлуатації, конструктивних параметрів та силових факторів взаємодії корпусу плуга з ґрунтом.

4. Отримано раціональні швидкісні режими руху мотоблока з лемішно-полицевим плугом за критерієм відсутності буксування ведучих коліс а використання максимальної потужності двигуна: при твердості ґрунту від 0,7 до 0,86 МПа допускається робота орного агрегату масою 180 кг при швидкості руху  $v_n$  в діапазоні від 3,74 до 3,22 км / год; при твердості ґрунту від 0,86 до 1,6 МПа допускається робота орного агрегату масою масою 160 кг при швидкості руху  $v_n$  в діапазоні від 3,22 до 2,15 км / год. Ці умови можуть бути забезпечені модернізацією базової конструкції мотоблока шляхом використання варіатора для безступінчастого регулювання поступальної швидкості, що дозволить підвищити продуктивність праці, якість виконання технологічної операції.

5. Впровадження запропонованої технічної модернізації дозволяє економію коштів в межах 2-3 тис. грн. на одну одиницю техніки, при терміні окупності, що не перевищує 1,5 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Vol. 54, 1.P. 95–104.
2. Aliev Elchin, Pryshliak Viktor, Yaropud Vitaly Research of physical and mechanical properties of oil seed crops. MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol. 19., № 3. P. 103-108.
3. Hrushetsky S.M., Yaropud, V.M., Duganets V.I., Pryshliak V.M., Kurylo V.L. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working parts for potato harvesting machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. №59. P. 101-110.
4. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3. С. 6-12.
5. Kobets A. S., Naumenko M. M., Ponomarenko N. O., Kharytonov M. M., Velychko O. P., Yaropud V. M. Design substantiation of the three-tier centrifugal type mineral fertilizers spreader. INMATEH - Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53, 3. P. 13–20.
6. Komaha V.P., S.A. Burlaka, Kupchuk I. M., Yatskovska R.O. Analysis of technologies of sowing and sowing. Сільське господарство та лісництво. 2018. №11. С. 123–131.
7. Kupchuk I.M., Solona O.V., Derevenko I.A., Tverdokhlib I.V. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher. INMATEH – Agricultural Engineering. 2018. Vol. 55, №. 2,P. 113-120.
8. Solona O.V., Kupchuk I.M. Dynamic synchronization of vibration exciters of the three-mass vibration mill. Przegląd elektrotechniczny. 2020. № 3. P. 162-172.
9. Solona, O., Derevenko, I., Kupchuk, I. Determination of plasticity for

pre-deformed billet. Solid State Phenomena. 2019. Vol. 291. P. 110-120.

10. Spirin Anatoly, Borysiuk Dmytro, Truhanska Olena, Shvets Lydmyla, Zelinsky Vyacheslav Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2017. Vol. 17, № 1. P. 41-48.

11. Агробаза [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery\\_54f1d9c4-9010-4bed-8985-da76ba460855](https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_54f1d9c4-9010-4bed-8985-da76ba460855).

12. Агросервис [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.agse.ru/catalog/zapchasti\\_dlya\\_selhoztexniki/razbrasyvateli\\_udobrenij/razbrasyvatel\\_orga\\_nicheskix\\_udobrenij\\_prt\\_7\\_prt\\_10](http://www.agse.ru/catalog/zapchasti_dlya_selhoztexniki/razbrasyvateli_udobrenij/razbrasyvatel_orga_nicheskix_udobrenij_prt_7_prt_10)

13. Булгаков В. М., Войтюк Д. Г., Пилипака С. Ф. Автоматизована побудова 3-D моделі полиці плуга із циліндроїдальної поверхні / В. М. Булгаков, // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166. – С. 51–62.

14. Булгаков В. М., Войтюк Д. Г., Пилипака С. Ф. Проектування полиці плуга із розгортної поверхні за заданою геодезичною лінією – граничною траєкторією руху скиби. Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. 2010. Вип. 144, ч. 5. С. 20–35.

15. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. (Під редакцією проф. С.І. Кучеренка). / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко, М.Г. Березовий. Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.

16. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.

17. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Вібрації в техніці та технологіях. 2014. Вип. 1 (73). С.100-120.

18. Васильченко В. Нові напівнавісні оборотні плуги «Діамант» від LEMKEL. Аграрна техніка та обладнання. 2012. № 1. С. 34–37.
19. Васильченко В. Оборотний плуг Vari Tansanit від Lemken. Агроном. 2010. № 4. С. 130–133.
20. Вознюк Л. Ф., Іщенко В. В., Михайлович Я. М. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин: навч. посіб. для мол. спец. Київ : Урожай, 1994. 216 с.
21. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.
22. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. Вузів. Київ : Друк, 2005. 464 с.
23. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів / Р.Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, І. І. Павх; М-во освіти і науки України, Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль, 2002. – 251 с.
24. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3 т. Москва : Колос, 1965. 1 т. 720 с.
25. ГСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. – [Чинний від 2001.02.01] – К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).
26. Ґрунтообробні машини: технічні та технологічні особливості. Зерно. 2012. № 7. С. 138–139.
27. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи : ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с. – (Національний стандарт України).
28. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода / За 73 ед.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. – 110 с.

29. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. М-во освіти і науки України, М-во аграр. політики України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. Х.: ОКО, 2001. 443 с.

30. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. Техніка енергетика транспорт АПК. 2017. №2, 97. С. 109-114.

31. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Петриченко Є.А., Булгаков В.М., Кувачов В.П. Теорія плоскопаралельного руху удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2, 97. С.6-18.

32. Каталог [Електронний ресурс]. baurum.ru [Офиц. сайт]. URL: <http://www.baurum.ru/alldays/?cat=geometrical-statics&id=3888>. (дата запиту: 17.06.2020).

33. Каталог AllSpectech [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/dlya-vneseniyaudobrenij/razbrasyvatel-rum-5.html>

34. Каталог Kuhn [Електронний ресурс]. kuhn.ru [Офиц. сайт]. URL: [http://www.kuhn.ru/internet/prospectus.nsf/0/18711AA5399326A6C1257C1D002AFC92/%24File/MASTER\\_123-153\\_RU.pdf](http://www.kuhn.ru/internet/prospectus.nsf/0/18711AA5399326A6C1257C1D002AFC92/%24File/MASTER_123-153_RU.pdf). (дата запиту: 17.06.2020).

35. Каталог продукции [Електронний ресурс]. vibracoustic-cvas.com [Офиц. сайт]. URL: <http://www.vibracoustic-cvas.com/About-Us/BlacktechThe-Reliable>. (дата запиту: 17.06.2020).

36. Ковбаса В. П., Алі Ахмед Кадем, Калініченко Д. Ю. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань. Вібратії в техніці та технологіях. 2016. № 1. С. 36-41.

37. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ: навч. посібник. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. 536 с.

38. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40, 1. С. 314-324.

39. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40(1). С. 35-39.

40. Ковбаса В.П., Курка В.П., Алі Ахмед Кадем Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності. Сільськогосподарські машини. 2015. № 32. С.79-86.

41. Козаченко О. Вплив швидкості на тяговий опір плуга за мостовою схемою агрегаткування. Техніка АПК. 2006. № 6, 7. С. 29–31.

42. Коротич П. Ґрунтообробні машини. Farmer. 2007. № 3. С. 36–41.

43. Купчук І.М. Компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини при виробництві етилового спирту. Вібрації в техніці та технологіях. 2017. №4. С. 91-100.

44. Купчук І.М., Вовк В.Ю., Дацюк Д.А. Оцінка економічної ефективності технічної модернізації підготовчого етапу технологічного процесу виробництва етанолу. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. Vol. 283, Is. 2. С. 36-47.

45. Луб П. Наукові принципи обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства. Техніка АПК. 2006. № 6. С. 40–42.

46. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – 2-е изд., перераб, и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980, 168 с.

47. Мінфін – все про фінанси: новини, курси валют, банки. Оплата праці 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minfin.com.ua/ua/2017/12/21/31540238/> (дата звернення – 10.10.2019).

48. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Тарифи на електроенергію для не побутових споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=15985> (дата звернення – 10.10.2019).

49. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За 76ед.. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2012. – 128 с.

50. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За 76ед. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 140 с.

51. Писаренко В. П., Берник П. С., Сивак Р. І. Технологічні методи підвищення надійності деталей машин: [монографія]. Вінниця: Едельвейс і К, 2008. 167 с.

52. Плуг Саугон [Електронний ресурс]. amazone.ru [Офиц. сайт]. URL: <http://www.amazone.ru/5279.asp>. (дата запиту: 16.06.2020).

53. Пришляк В. М., Ковальчук О. В. Сільськогосподарські машини: метод. вказівки для виконання лаб. робіт студ. фак. механізації с.-г. М-во аграр. політики України, Вінниця : ВДАУ. 2005. 44 с.

54. Сайт для бухгалтерів бюджетних установ. Норми тривалості робочого часу на 2019 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/normi-robochogo-chasu/normi-trivalosti-robochogo-chasu-na-2019-rik/> (дата звернення – 10.10.2019).

55. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій : навчальний посібник.. Вінниця : ВНАУ, 2011. 144 с.

56. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ Вінницька міська друкарня, 2016. 200 с.

57. Солоня О. В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 116 с.

58. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.
59. Солоня О. В., Купчук І.М. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.
60. Солоня О. В., Купчук І.М., Паламарчук В.І. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.
61. Солоня О.В., Купчук І.М. Практикум з Теорії механізмів і машин : навчальний посібник. Вінниця : Друк, 2020. 250 с.
62. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. Київ : «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.
63. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту: Економічні нормативи / В. В. Вітвіцький, І. В. Лобастов, М. Ф. Кисляченко та ін.; Україн. н.-д. ін-т продуктивності агропромислового комплексу. – К.: Укראгропромпродуктивність, 2005. – 672 с.
64. Труханська О.О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. №3. С. 109-119.
65. Цуркан О. В., Павленко В.С., Полевода Ю.А. Розрахунки передач привода: Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Деталі машин». Вінниця: РВВ ВНАУ, 2011. 87 с.
66. Черновол М. І. Вплив зношувальної здатності ґрунтів на характер і інтенсивність спрацювання деталей робочих органів ґрунтообробних машин / М. І. Черновол, В. В. Аулін, А. А. Тихий // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2010. – № 144. – С. 48–60.
67. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия): Учебное пособие. / В.Б. Шашков. - Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. - 363 с.
68. Ясенецький В. А. Нова сільськогосподарська техніка / В. А. Ясенецький.  
– К. : Урожай, 1986. – 286 с.

# ДОДАТКИ