

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
НА ТЕМУ:  
**«ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ І ПАРАМЕТРІВ  
КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО  
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ»**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти  
освітнього ступеня «магістр»  
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної форми навчання

**Дмитро ФУТ**

**Керівник:**

кандидат технічних наук,  
доцент

**Сергій ГРУШЕЦЬКИЙ**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_\_

«\_\_\_» грудня 2025 р.

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_» грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності  
208 «Агроінженерія»,  
кандидат технічних наук, доцент

**Василь ДУГАНЕЦЬ**

м. Кам'янець-Подільський, 2025

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ .....	4
АНОТАЦІЯ .....	5
РЕФЕРАТ .....	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ .	7
ВСТУП.....	8
1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів.....	11
1.2. Стан досліджень комбінованих удобрювальних і посівних машинно-тракторних агрегатів .....	27
1.3. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур.....	30
Висновки до першого розділу .....	35
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБґРУНТУВАННЯ РУХУ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ .....	37
2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при теоретичному дослідженні комбінованого удобрювально-посівного агрегату ..	37
2.2. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату .....	39
2.3. Лінеаризація отриманої системи диференціальних рівнянь плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату .....	40
2.4. Методика дослідження математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату .....	42
2.5. Визначення кінематичних і конструктивних параметрів комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату .....	44
Висновки до другого розділу .....	50
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	51
3.1. Програма проведення експериментальних досліджень.....	51
3.2. Схема експериментального зразка комбінованого агрегату .....	52
3.3. Загальна методика експериментальних досліджень .....	54

3.3.1. Методика визначення умов проведення досліджень .....	55
3.3.2. Методика обробки результатів польових дослідів.....	59
3.4. Методика проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності сумісності технологічних операцій за один прохід агрегату .....	60
Висновки до третього розділу .....	61
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ .....	62
4.1. Результати експериментальних досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого посівного агрегату на якість сівби.....	62
4.2. Результати експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату .....	76
Висновки до четвертого розділу .....	81
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	82
Висновки до п'ятого розділу .....	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	88
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	94
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей .....	101

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША  
Освітній ступінь «магістр»  
Спеціальність 208 Агроінженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій РУДЬ

04 квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу здобувачеві вищої освіти**

**ФУГУ**

**Дмитру Михайловичу**

**Тема роботи: «ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ І ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ»**

**Керівник роботи:** доцент ГРУШЕЦЬКИЙ Сергій Миколайович

**Затверджено наказом** по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року № 355с.

**Строк подання** закінченої кваліфікаційної роботи 20 листопада 2025 року.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.
2. Протоколи випробування комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.
3. Результати дослідження та випробування комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

**Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ.

1. Стан проблеми та постановка задач дослідження.
2. Теоретичні основи обґрунтування руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.
3. Програма і методика проведення експериментальних досліджень.
4. Результати експериментальних досліджень і їх аналіз.
5. Техніко-економічне обґрунтування застосування комбінованого удобрювально-посівного агрегату та результати впровадження.

Загальні висновки і рекомендації.

Список використаних джерел.

Додатки.

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень роботи комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Обґрунтовано схему комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та його конструкційно-технологічні параметри. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструкційні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині.

Отримані емпіричні закономірності впливу швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої норми та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка.

На основі узагальнення отриманих результатів досліджень розроблено новий комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат, ефективність використання якого перевірена та підтверджена в умовах виробничої експлуатації.

## THE SUMMARY

The master's thesis presents the results of theoretical and experimental studies of the work of the combined fertilizer-sowing machine-tractor unit.

The scheme of the combined fertilizer-sowing machine-tractor unit and its structural and technological parameters is substantiated. A mathematical model of the plane-parallel motion of the combined fertilizer-sowing unit has been developed, which allows to substantiate its structural and kinematic parameters from the point of its steady motion in the horizontal plane.

The empirical regularities of influence of speed of movement of the combined fertilizer and sowing unit, depth of sowing of seeds and depth of laying of fertilizers in soil on uniformity of distribution of seeds and fertilizers along a line, and also deviation of depth of sowing of sowing material from the established norm and good axis of the row.

On the basis of generalization of the obtained research results, a new combined fertilizing and sowing machine-tractor unit was developed, the efficiency of which was tested and confirmed in the conditions of production operation.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 87 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 5 таблиць, 33 рисунків, 51 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 14 аркушах.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень роботи комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Обґрунтовано схему комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та його конструкційно-технологічні параметри. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструкційні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині.

Отримані емпіричні закономірності впливу швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої норми та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка.

На основі узагальнення отриманих результатів досліджень розроблено новий комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат, ефективність використання якого перевірена та підтверджена в умовах виробничої експлуатації.

Ключові слова: КОМБІНОВАНИЙ МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ, ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ, ПОСІВ, ПАРАМЕТРИ, ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ, РІШЕННЯ НА ПК, СТІЙКІСТЬ РУХУ.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
АЧХ	Амплітудно-частотні характеристики
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
КРМ	Кваліфікаційна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
МТА	Машинно-тракторний агрегат
ТзОВ	Товариство з обмеженою відповідальністю
ФЧХ	Фазово-частотні характеристики
$C$	Прямі експлуатаційні витрати (грн/га)
$C_1$	Сума затрат на оплату праці
$C_2$	Паливо-мастильні матеріали
$C_3$	Реновація машини і енергетичного засобу (трактора)
$C_4$	Ремонт і технічне обслуговування
$n$	Коефіцієнт використання потужності трактора ( $n = 0,8$ )
$Ц_{П}$	Комплексна вартість пального, грн/кг.
$a_T, a_M$	Норма відрахувань на реновацію трактора і машини ( $a_T = a_M = 16,6\%$ або $0,166$ )
$b_T, b_M$	Норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування трактора і машини ( $b_T = 34\%$ або $0,34$ , $b_M = 15\%$ або $0,15$ ).
$e$	Нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ( $e = 0,15$ )
$K$	Розмір капітальних вкладень, грн/га.
$B_T, B_M$	Балансова вартість трактора і машин, грн
$Q_M$	Сезонне навантаження машин, га
$П_б, П_м$	Приведені експлуатаційні затрати базового і модернізованого варіантів, грн/га
$E_{дод}$	Додатковий ефект від застосування агрегату, грн/га

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Численними попередніми дослідженнями встановлено, що внесення мінеральних добрив одночасно з сівбою зернових та інших сільськогосподарських культур, коли стартові дози добрив вносяться на рівні ложа для насіння, а основна доза добрив вноситься нижче рівня загортання насіння зі зміщенням у горизонтальній площині, дозволяє досягти економії добрив на 30...45%.

Таким чином очевидно, що суміщення операції сівби зернових та інших сільськогосподарських культур з основним удобренням ґрунту є ресурсощадним заходом. В зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та дослідженні такого комбінованого машино-тракторного агрегату, який би дозволяв здійснювати висів з одночасним внесенням мінеральних добрив відразу стартовими і основними дозами. Причому, його конструктивно-технологічне виконання повинно забезпечувати підвищення техніко-економічних показників роботи. Практичне розв'язання саме такої задачі і обумовлює актуальність даної роботи.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень.* Робота виконана за Програмою наукових досліджень НААН 33 «Екологічно безпечні енергоощадні технологічні процеси і технічні засоби для виробництва продукції рослинництва і тваринництва»

*Мета і завдання досліджень.* Метою дослідження є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів. Для досягнення сформульованої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

– розробити математичну модель функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату у складі агрегатуючого трактора і послідовно начеплених позаду двох сівалок;

– провести числове моделювання на ПК складеної системи диференціальних рівняння руху комбінованого машинно-тракторного агрегату і визначити його оптимальні конструктивні і кінематичні параметри;

– провести експериментальні дослідження комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та визначити його експлуатаційно-технологічні параметри;

– розробити рекомендації з вибору режимів роботи та провести техніко-економічне обґрунтування застосування машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур;

– здійснити впровадження результатів проведеного дослідження для отримання відповідного економічного ефекту.

*Об’єкт дослідження* – процес функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу схеми, конструктивно-технологічних і кінематичних параметрів на плоскопаралельний рух та експлуатаційно-технологічні показники роботи комбінованого машинно-тракторного агрегату.

*Методи дослідження.* При виконанні теоретичних досліджень застосовані методи математичного моделювання, що ґрунтуються на складанні диференціальних рівнянь руху машин і машинних агрегатів, теорії тракторів, складання програм розрахунків на ПК. Експериментальні дослідження проведені з використанням сучасних методів польових випробувань з застосуванням вимірювальних пристроїв та реєстраційної апаратури. Обробка результатів експериментів проводилась на основі кореляційного та регресійного аналізу з використанням прикладних комп’ютерних програм.

*Наукова новизна одержаних результатів.* На основі розробленої математичної моделі плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату *вперше* отримано закономірності, які дають можливість здійснити вибір схеми та конструкційно-технологічних параметрів агрегату, виходячи із умов його стійкого руху у горизонтальній площині.

*Дістали подальший розвиток* наукові аспекти обґрунтування схем і конструкційно-технологічних параметрів комбінованих удобрювально-посівних агрегатів при реалізації ними принципово нових технологічних прийомів підвищення ефективності використання основної дози мінеральних добрив при сівбі зернових та інших сільськогосподарських культур.

Отримано *нові* математичні моделі впливу швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка.

*Практичне значення одержаних результатів.* Розроблено математичну модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині. Саме цей вид руху визначає агротехнічні та експлуатаційно-технологічні показники, а також продуктивність роботи.

*Апробація результатів роботи.* Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2024-2025 рр.).

*Публікації.* Основні результати дослідження відображені у 2 публікаціях, з них 2 статті у науково-фахових виданнях.

## 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів

Проблема енергозбереження в даний час є однією із найбільш пріоритетних у сільськогосподарському виробництві України [1-7].

Більшість технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві механізовано, а тому рівень технологій, якість і собівартість одержуваної продукції багато в чому визначаються мірою досконалості використовуваних машин і агрегатів.

Обробіток ґрунту – самий енергоємний і дорогий процес, на який доводиться приблизно 40% енергетичних і 25% трудових витрат від усього обсягу польових робіт [8-11]. На другому місці за енерговитратами знаходиться збирання вирощеної продукції, а також сівба та внесенні мінеральних добрив.

В даний час в світі спостерігається загальна тенденція розширення мінімальних, енергоощадних технологій сільськогосподарського виробництва, яка неможлива без зміни моделей і типів використовуваного обладнання [11]. Особливої актуальності набувають питання скорочення енергоємності виробництва [12], нормування витрат енергії ресурсів у галузях сільського господарства, встановлення оптимального співвідношення між поточною ринковою та енергетичною вартістю сільськогосподарської продукції, що дозволить скоротити собівартість, і як наслідок, підвищити доходи товаровиробників, зміцнити конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції. Необхідність переорієнтації сільського господарства на енергоощадний тип науково-технічного прогресу зумовлено загостренням конкуренції на внутрішньому і зовнішньому ринках, інвестиційною непривабливістю сільськогосподарського виробництва, залежністю національної економіки від імпортованих первинних енергетичних ресурсів [1, 7]. Нові машини і побудовані нові сільськогосподарські агрегати повинні перевершувати ті, що існують, за своїми функціональними й техніко-економічними показниками [13].

З питань моделювання динамічних систем, механізмів та приводів робочих органів сільськогосподарських машинвідомі роботи: Василенка П.М., Гячева Л.В., Лурье А.Б., Нагорського І.С., Ханка Л.Ф., Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Надикто В.Т., Брея В.В., Кюрчева В.М. та ін.

З питань технологічної надійності динамічних систем сільськогосподарських машин найбільший вклад внесли: Анілович В.Я., Севернов М.М., Міхлін В.М., Кузнецов В.А., Костецкий Б.І., Кугель Р.В., Рабінович А.Ш., Величкін Г.В., Погорілий Л.В., Прейсман В.І., Сквородін В.Я., Адамчук В.В., Бойко А.І. та ін.

За напрямком розробки та проектування адаптованих систем сільськогосподарських машинпрацювали: Горячкін В.П., Василенко П.М., Синєоков Г.М., Погорілий Л.В., Гуков Я.С., Дубровін В.О., Мельник І.І., Тищенко С.С., Корабельський В.І., Юрчук В.П. та ін.

Багатолітніми дослідженнями науковців доведено, що завдяки комбінованим машинам і агрегатам скорочується число проходів машинно-тракторного агрегату на полі, усуваються розриви в часі між окремими польовими роботами, знижуються енергетичні витрати і матеріалоємність процесу, згладжуються, так звані, пікові потреби в енергетичних засобах і трудових ресурсах, поліпшується гумусовий баланс ґрунту і зменшуються втрати живильних речовин і вологи, підвищується родючість ґрунту, врожайність і продуктивність праці.

Пошук шляхів практичного впровадження потенційно можливих схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів здійснювали в своїх дослідженнях Євтенко В.Г., Надикто В.Т., Погорілий Л.В., Юшин О.О., Мироненко В.Г., Кравчук В.І., Черепухін В.Д., Лебедев А.Т., Пашенко В.Ф., Самородов В.Б., Кюрчев В.М. та ін.

У відомих дослідженнях при оцінці ефективності різних технологій обробітку ґрунту та посіву розглядали чотири основні системи обробітку: традиційна технологія обробітку ґрунту і сівби; технологія безполицевого основного обробітку та мульчування ґрунту; технологія сівби з поверхневим

обробітком та мульчуванням ґрунту рослинними рештками; технологія прямої сівби озимих культур. Аналіз технологій показав, що їх рівень можна забезпечити, наприклад, зниження витрат палива при безполицевому і поверхневому обробітках, прямій сівбі. Відповідним є і зниження витрат праці. Проте при цьому прямі експлуатаційні витрати, що значною мірою залежать від вартості та річного завантаження машин, мають інші тенденції і зменшення витрат на паливо не завжди призводить до адекватного зниження прямих експлуатаційних витрат.

Встановлено, що цей обсяг визначається природно-кліматичними умовами, фізико-механічними властивостями оброблюваних ґрунтів, застосовуваною системою землеробства, агротехнічними вимогами до обробки ґрунтів і посіву, можливістю й доцільністю сполучення технологічних операцій, а також енергетичною базою.

Встановлено, що для досягнення позитивного ефекту від застосування комбінованих агрегатів повинні дотримуватися наступні вимоги [14]:

- енергоємність технологічного процесу з використанням комбінованих агрегатів не менша за загальну енергоємність при його виконанні одноопераційними машинами/знаряддями;
- продуктивність комбінованих агрегатів не нижче, ніж у комплексу замінних одноопераційних машин/знарядь;
- вартість роботи комбінованих агрегатів менша або на рівні вартості роботи комплексу одноопераційних машин/знарядь;
- комбіновані агрегати так само добре пристосовані для роботи при несприятливих погодних і ґрунтових умовах, як і замінні ними одноопераційні машини/знаряддям;
- застосування комбінованих агрегатів повинно сприяти підвищенню врожайності оброблюваних культур, підтримувати родючість ґрунту, забезпечувати роботу в системі нових технологій.

Самі ж комбіновані агрегати бувають двох основних типів: що складаються з одноопераційних машин і спеціалізовані, які не використовуються роздільно.

Найбільш поширені агрегати першого типу, оскільки їх можна роздільно застосовувати на одноопераційних роботах із тракторами різних тягових класів. Можливість роздільного застосування машин дозволяє збільшити час експлуатації їх протягом року.

За способом агрегування комбіновані агрегати науковці поділяють на три групи [15]:

- машинно-тракторні агрегати, у яких серійні одноопераційні машини/знаряддя послідовно з'єднані між собою за допомогою зчіпок;
- агрегати, у яких енергетичний засіб агрегується з моноблочною машиною, на рамі якої можуть закріплюватися постійні або змінні робочі органи;
- машинно-тракторні агрегати, які складені з декількох одноопераційних машин/знарядь, одні з яких навішуються на передній, а інші на задній навісний механізми енергетичного засобу.

У цей час в Україні і за рубежем успішно застосовуються конструкції агрегатів і машин всіх трьох типів, призначені для роботи на різних ґрунтових фонах.

Основною перевагою першого способу складання комбінованих машинно-тракторних агрегатів (рис. 1.1) є те, що останні комплектують із наявних у господарстві серійних одноопераційних машин/знарядь без їхньої переробки або з незначними змінами (рис. 1.2). Але, такі комбіновані машинно-тракторні агрегати, як правило, громіздкі та металоємні. Одноопераційні серійні машини, які входять до складу цих агрегатів, звичайно розраховані на самостійну роботу із тракторами при їхньому оптимальному завантаженні. Тому, у них часто не збігаються ширина захвата і оптимальна швидкість роботи, що істотно ускладнює вибір оптимальних параметрів складеного комбінованого агрегату.

Більш раціональним рішенням складання комбінованих машинно-тракторних агрегатів є такі, які виконані по другій схемі (рис. 1.3).

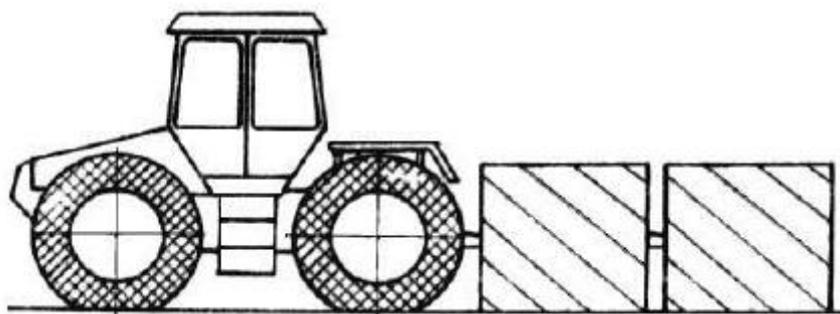


Рисунок 1.1 – Комбінований агрегат, що складається шляхом послідовного з'єднання одноопераційних машин за допомогою зчіпних пристроїв

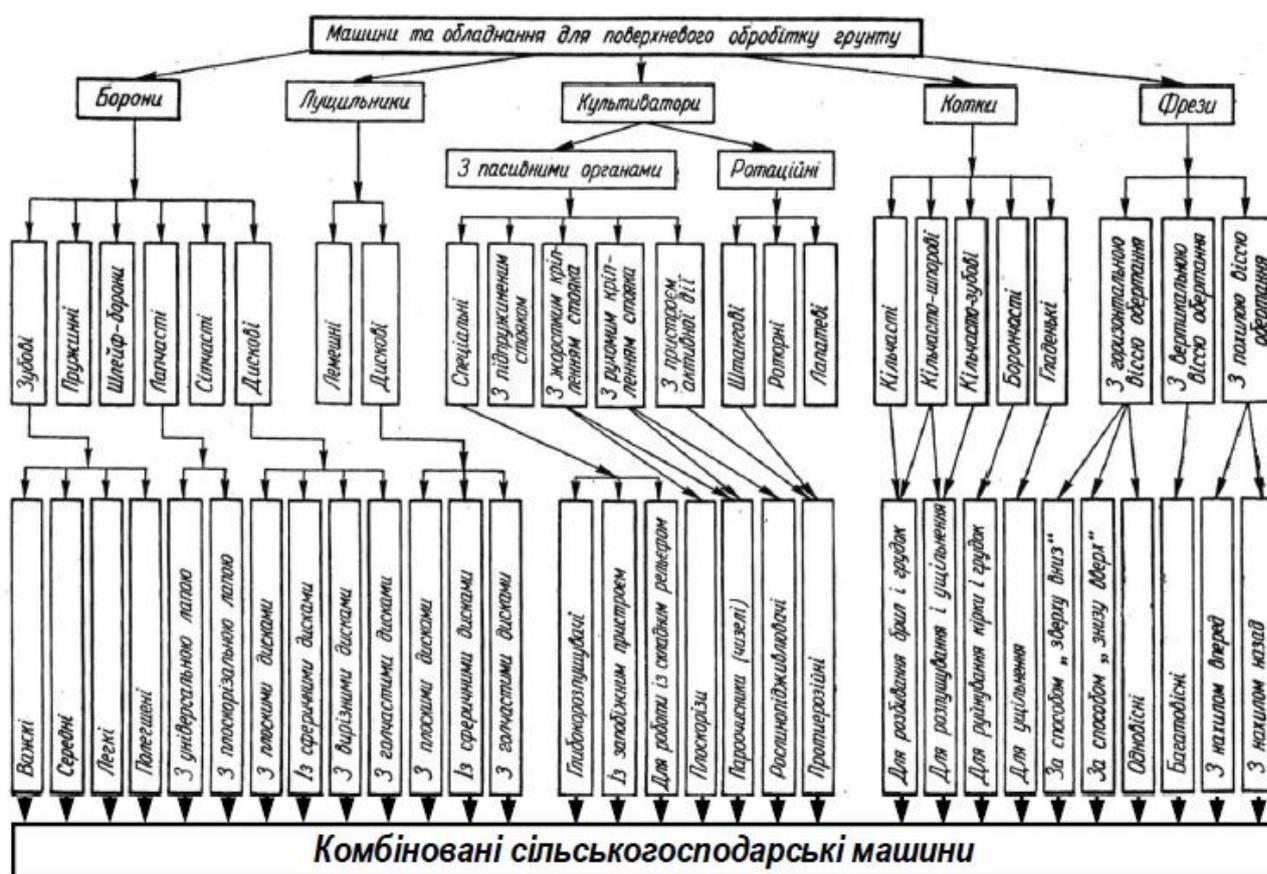


Рисунок 1.2 – Різновид машин та обладнання для складання комбінованих сільськогосподарських машин

На загальній рамі комбінованої машини послідовно встановлені різні по призначенню робочі органи (або секції робочих органів), запозичені від одноопераційних машин.

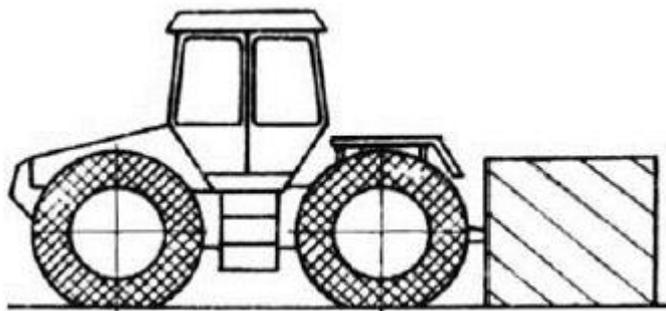


Рисунок 1.3 – Комбінована машина, що має загальну раму, на якій встановлені різні за призначенням робочі органи

Перевагою комбінованих машинно-тракторних агрегатів другої схеми є більша компактність і менша металоємність, що дозволяє частку машин/знарядь робити начіпними або напівначіпними.

До того ж, є можливість використання робочих органів і секцій серійних машин/знарядь у необхідному технологічному поєднанні.

Прикладами таких комбінованих машин є відомий культиватор комбінований напівначіпний ККП-3,7, призначений для основної обробки ґрунту після збирання високостебельних просапних культур. Агрегатується з тракторами Т-150, Т-150К, ХТЗ-161, ХТЗ-17021. Глибина обробки до 16см. Ширина захвату – 3,7м, продуктивність – 2,3-3,7 га/год.

Еквівалентна схема запропонованої експериментальної комбінованої машини показана на рис. 1.5. Система складається із чотирьох частин. Перша частина має раму, на якій послідовно кріпляться чизельні лапи та дискові робочі органи. Другою і третьою складовими системами є робочі органи культиватора, закріплені на коротких і довгих гряділях, четверта включає батарею дисків. Недоліком комбінованої машини є відносно велика її енергоємність, що не дає змоги агрегувати її з трактором класу 3.

Для забезпечення якісного виконання передпосівного обробітку ґрунту під льон науковцями запропонована технологічна схема комбінованої машини, яка включає різнотипні робочі органи, об'єднані в модулі, що кріпляться до рами в незмінній технологічній послідовності (рис. 1.4): передній опорний коток

пруткового типу діаметром 300 мм, три ряди розпушуючих лап на S-подібних пружних стовбах із частотою власних коливань 9,2Гц, вирівнювач на пружній підвісці з установочним кутом нахилу до напрямку руху  $75^\circ$  та тандем задніх циліндричних пруткових котків різного діаметра (перший – 300 мм, другий – 250 мм).

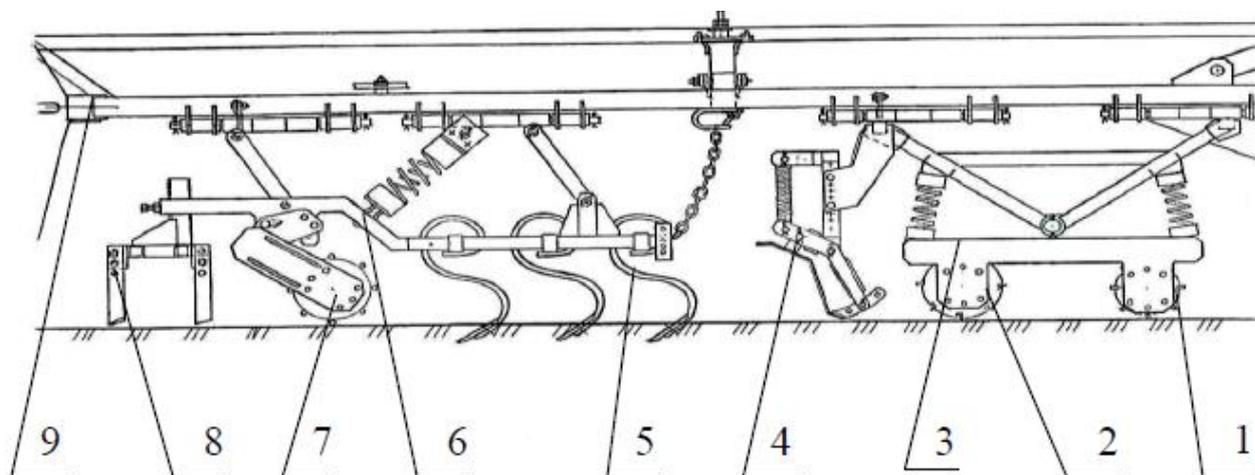


Рисунок 1.4 – Компонувальна схема комбінованої машини для передпосівного обробітку ґрунту під льон: 1,2 – відповідно задні і передні котки тандема; 3 – модуль коткового тандема; 4 – модуль вирівнювачів; 5 – розпушуючі лапи; 6 – модуль котків і розпушуючих лап; 7 – передні котки; 8 – слідорозпушувачі колії трактора; 9 – рама машини

Як показує аналіз відомих конструкцій комбінованих агрегатів у більшості з них в основу закладено знаряддя плоскорізального типу. Це є наслідком того, що плоскорізи та чизелі більш доцільно використовувати в зонах недостатнього зволоження, а також на агрофонах із незначною кількістю рослинних решток замість оранки, особливо весняної.

Багато комбінованих машин виробляє ВАТ “Голещина машинобудівний завод”, наприклад відомий культиватор напівначіпний КПН-8,2.

Останній призначений для передпосівного обробітку ґрунту у всіх ґрунтово-кліматичних зонах, за виключенням районів з кам’янистими ґрунтами на глибину від 5 см до 15см. Робочим органом даного культиватора є звичайна стрілчаста лапа шириною 270 мм. Проте вона встановлена на жорстко закріпленій стійці, що

дає змогу якісно проводити обробіток ґрунту на задану глибину, робочі органи не вглибляються при потраплянні на більш щільний ґрунт.

Цей культиватор випускається в трьох модифікаціях для всіх тягових класів тракторів. Шляхом демонтажу двох напіврам культиватора КПН-8,2 можна отримати культиватор КПН-5,6, а при демонтажу двох крайніх секцій – з культиватора КПН-5,6 можна отримати культиватор КПН-3.

Секції і напіврами КПН-8,2 з'єднані з центральною рамою шарнірно, що дозволяє при транспортуванні складати секції і піврами, зменшуючи ширину культиватора. Шарнірно прикріплена до рами колісна підвіска, з двома колесами на пневматичних шинах, опускається і піднімається за допомогою гідросистеми, тому в робочому положенні культиватор не залишає після себе колії. Культивація проводиться під кутом до напрямку попереднього обробітку. При роботі культиватор опирається на передні опорні і задні прикочувальні котки. Положення кожного з них регулюється за допомогою гвинтів, також ними виставляється глибина обробітку. Лапи культиватора закріплені у три ряди на центральній рамі, піврамах і секціях, які при роботі культиватора підривають і розрізають нижній шар ґрунту. Їх розміщення таке, щоб витримувати принцип перекривання сліду, а збільшена відстань між стійками, в порівнянні з існуючими культиваторами, не дає забиватися робочим органам коріннями бур'янів. Планчастий коток, що йде після секції стрілочастих лап добре розбиває грудки, і створює на поверхні поля рельєф, що зменшує кількість вологи яка випаровується. Конструкція культиватора відзначається високою жорсткістю та надійністю, в підшипникових вузлах котків використовуються самоцентровані закриті підшипники, що усуває перекося при роботі із перевантаженням і значно подовжує строк служби котка.

До основних переваг культиватора КПН-8,2 можна віднести:

- повне підрізання бур'янів; а їх рештки будуть витягнуті на поверхню, що гарантує повне їх знищення;
- збільшення продуктивності за рахунок великої ширини захвату культиватора та його мобільності при транспортуванні;
- економію пального, трудовитрат, та високу якість підготовленого під посів ґрунту із сформованим насіннєвим ложем.

Відомий культиватор комбінований напівпричіпний ККП-6 “Кардинал” призначений для передпосівного обробітку ґрунту у всіх сільськогосподарських зонах України.

Найбільш ефективним є застосування ККП-6 при обробітку ґрунту після зяблевої оранки під посів буряка, гороху, кукурудзи, соняшника, льону та ярих зернових. Культивація проводиться під кутом до напрямку оранки. Характерною конструкційною особливістю культиватора є те, що відповідним набором робочих органів за один прохід він послідовно виконує всі основні технологічні операції передпосівного обробітку, а саме:

- рихлення колії трактора;
- вирівнювання ґрунту першою секцією “вирівнюючих лап”;
- ущільнення верхнього шару ґрунту та подрібнення великих грудок котками першої секції;
- розпушування ґрунту та підрізання бур’янів трьома рядами пружинних лап першої секції культиватора;
- додаткове вирівнювання ґрунту “вирівнюючими лопатками” другої секції;
- додаткове подрібнення великих грудок та ущільнення нижніх шарів ґрунту для формування “насінневого ложа” малим та великим котком другої секції;
- прикінцеве вирівнювання поля та розподіл поживних залишків на поверхні поля пружинною бороною другої секції.

Культиватор ККП-6 може комплектуватись навісним пристроєм під зернову сівалку фірми “Клєн”, що дає змогу за один прохід проводити передпосівну підготовку ґрунту та сівбу. Культиватор складається за допомогою гідравліки до ширини 3,15м, тому легко транспортується по шляхах загального призначення. Оригінальна конструкція слідорозрихлювача на відміну від аналогічних на інших культиваторах – жорстка, що дає змогу якісно проводити розпушування колії трактора на задану глибину, має зрізний болт, який при перевантаженнях зберігає конструкцію слідорозрихлювача від руйнування, чим продовжує їх строк служби. Заслуговує уваги також висока надійність підшипникових вузлів котків культиватора, чим він вигідно відрізняється від аналогічних машин. Це

досягається в першу чергу застосуванням закритих самоцентрованих підшипників, які додатково захищаються ущільненнями від попадання пилу. Всі рамні конструкції культиватора виготовлені із труб квадратного перерізу які мають товщину стінки 8 мм – тому прогин рами при транспортуванні найменший з усіх культиваторів подібного типу, які виробляють в Україні. Регулювання кожної групи робочих органів дає змогу виконувати передпосівний обробіток на глибину від 2 см до 15 см, що дуже важливо при посіві дрібно насінневих культур.

Крім того іншими перевагами даного культиватора є:

- швидка дружна поява сходів культурних рослин;
- рівномірний розвиток паростків;
- повне підрізання бур'янів за допомогою трьохрядної установки робочих органів і її зміни в залежності від забрудненості;
- видалення корневих решток бур'яну на поверхню до повного знищення;
- повне рихлення колії трактора;
- збільшення продуктивності та економія пального і затрат праці.

Також відомі конструкції дискових комбінованих культиваторів ККП-3,6 та ККП-4,5, які виконують одночасно декілька функцій: розпушування і змішування, подрібнення і вирівнювання, прикочування ґрунту. В результаті створюється рівна поверхня ґрунту. Міцний коток з пластинами служить для прикочування і ущільнення ґрунту, а диски гарантують перемішування ґрунту і оптимальну якість обробітку, чисто заорюють стерню. Глибина обробітку 5...18см. Агрегатується з тракторами класу 3.

Робочими органами культиватора ККП-3,6 є широкі стрілочасті лапи і цілком новий вид зірчастих дисків, зібраних на чотирьох валах в одну загальну одиницю. Завдяки високій ефективності ротаційних дисків при подрібненні брил, а також зворотному перекиданню ґрунту скорочується кількість робочих операцій. Замість 5-6 проходів дисковою бороною, польовим котком і звичайною бороною, культиватор готує ґрунт під посів після стерньових попередників за один прохід, після соняшнику і кукурудзи – за два проходи.

До недоліків комбінованих машинно-тракторних агрегатів такого типу варто віднести більш складну конструкцію рами, нагромадження на ній робочих

органів, що часто ускладнює обслуговування машини, збільшує тенденцію до забивання робочих органів ґрунтом і рослинними залишками, знижує експлуатаційну надійність у порівнянні з одноопераційними машинами/знаряддями.

Комбіновані машинного-тракторні агрегати, які виконані по третій схемі (рис. 1.5) з'явилися порівняно недавно і широко застосовуються на обробленні просапних культур, де потрібна підвищена точність обробки і тому комбіновані агрегати перших двох типів малоприсадибні.

Переваги таких агрегатів (див. рис. 1.5) полягає в тому, що маса і тяговий опір фронтально навішених секцій машин/знарядь збільшують вертикальне навантаження на передні ведучі колеса енергетичного засобу, підвищують зчеплення їх із ґрунтом і зменшують буксування. У результаті поліпшуються умови використання потужності двигуна енергетичного засобу за рахунок перерозподілу навантажень по його мостах, підвищується продуктивність праці і знижуються питомі витрати палива. У багатьох випадках знижується металоємність і кінематична довжина агрегату, що приводить до зменшення ширини поворотної смуги і зниженню непродуктивних витрат часу під час руху комбінованих машинно-тракторних агрегатів на ній.

Одним з перспективних напрямків створення і застосування комбінованих машинно-тракторних агрегатів є їх компонування фронтальними і задніми навісними системами, які дозволяють поєднувати технологічні процеси механічної обробки ґрунту. Необхідно надати особливого значення пошуку нових, більш економічних технологічних прийомів роботи тракторних агрегатів, розробці і застосуванню комбінованих засобів механізації, які дозволяють за один прохід агрегату отримувати декілька технологічно взаємопов'язаних операцій із забезпеченням високої якості роботи. При цьому слід врахувати, що мова йде не тільки про об'єднання окремих елементарних технологічних операцій в єдиний процес, але і про розробку якісно нових, більш досконалих машин і, виконуваних ними, технологічних процесів, які не повторюють і не копіюють колишні, а замінюють їх, стають більш економічними і відповідають завданням комплексної механізації землеробства.

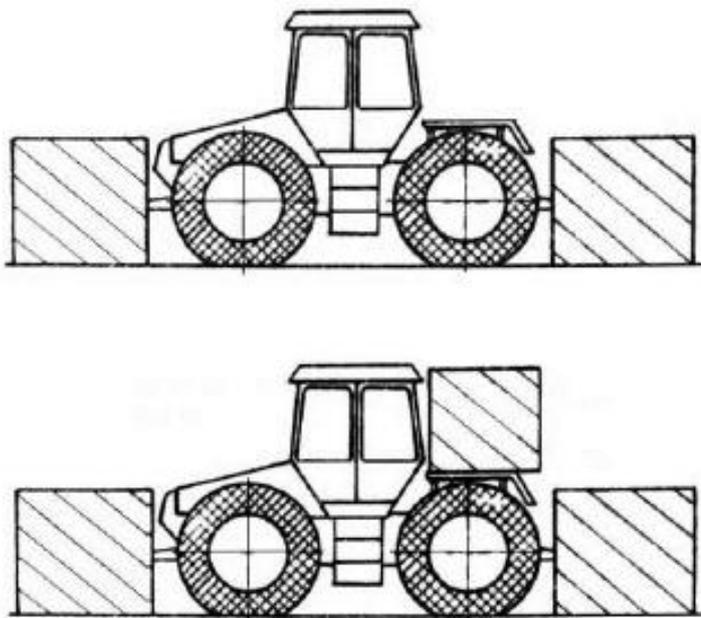


Рисунок 1.5 – Комбіновані агрегати, які складаються з однієї або багатоопераційних машин за допомогою трактора, що має передній і задній начіпні пристрої

Останнім часом багатофірм (ВАТ “ЛТЗ”, ВАТ “ВгТЗ”, ВАТ “ХТЗ”, Claas, John Deere, Valtra і ін.) почали пропонувати до використання комбіновані агрегати, які складені саме із машин певного призначення, одні з яких навішаються на передній, а інші на задні й навісні механізми трактора [16].

Прикладами успішної реалізації схем комбінованих і широкозахватних машинно-тракторних агрегатів на базі інтегральних орно-просапних тракторів є результати робіт [17, 18]. Була розроблена низка схем нових перспективних комбінованих (рис. 1.6) і широкозахватних (рис.1.7) агрегатів.

На базі трактора ХТЗ-120/160 був розроблений жниварно-луцильний агрегат [19]. Після переналагодження зазначеного енергетичного засобу на реверсивний рух на передній його начіпний механізм за допомогою розробленого ВАТ “Бердянскільмаш” адаптеру навішували валкову жниварку ЖВН-6Б, а на задній – дискову борону БДН-3 (рис. 1.8).

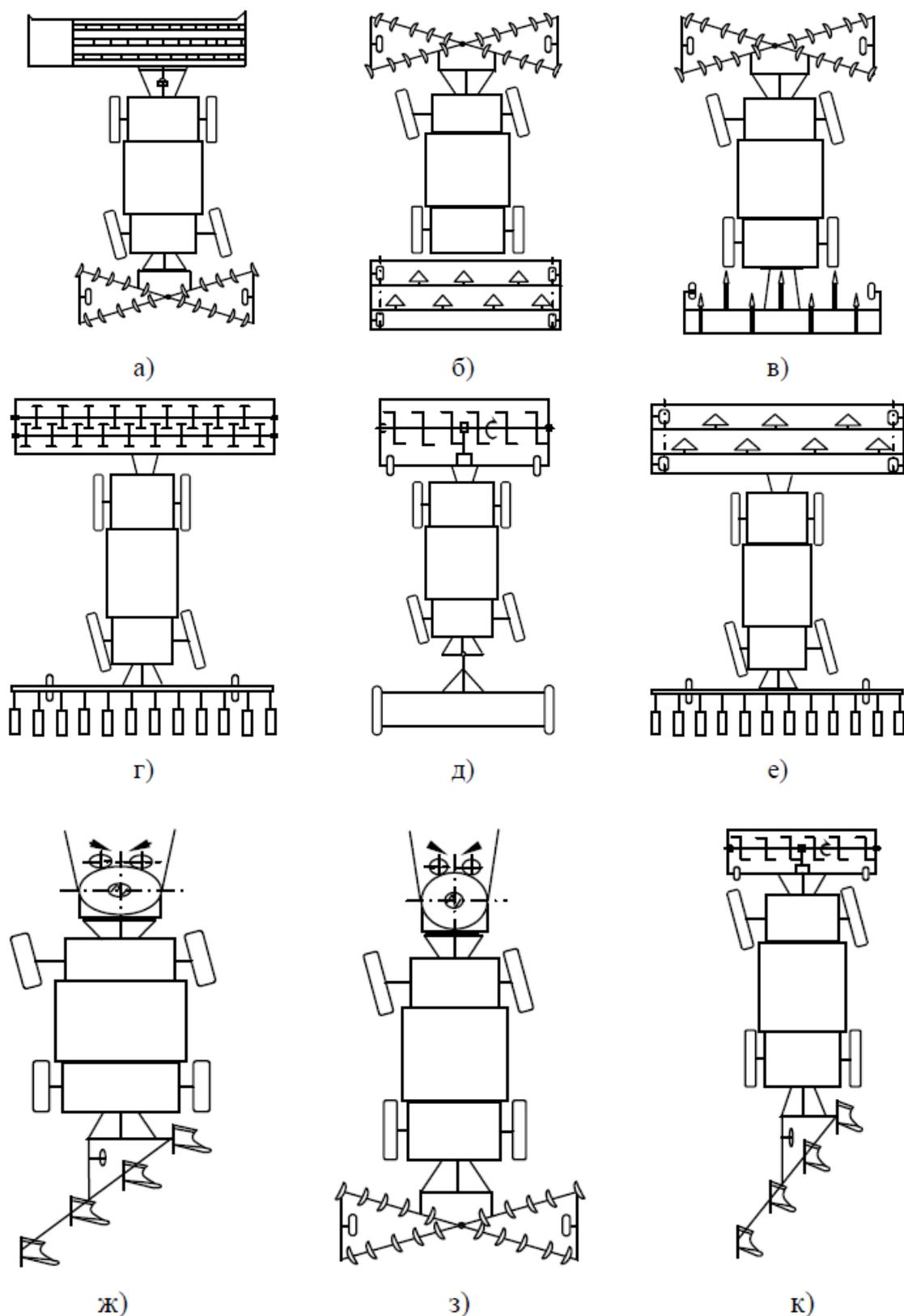


Рисунок 1.6 – Схеми комбінованих агрегатів на базі орно-просапних тракторів ХТЗ-16131: а) жнивально-луцильний; б) дисковочно-культиваторний; в) дисковочно-чизельний; г) коткувально-посівний; д) фрезерно-посівний; е) культиваторно-посівний; ж) орний з внесенням добрив; з) дисковочний з внесенням добрив; к) подрібнювально-орний

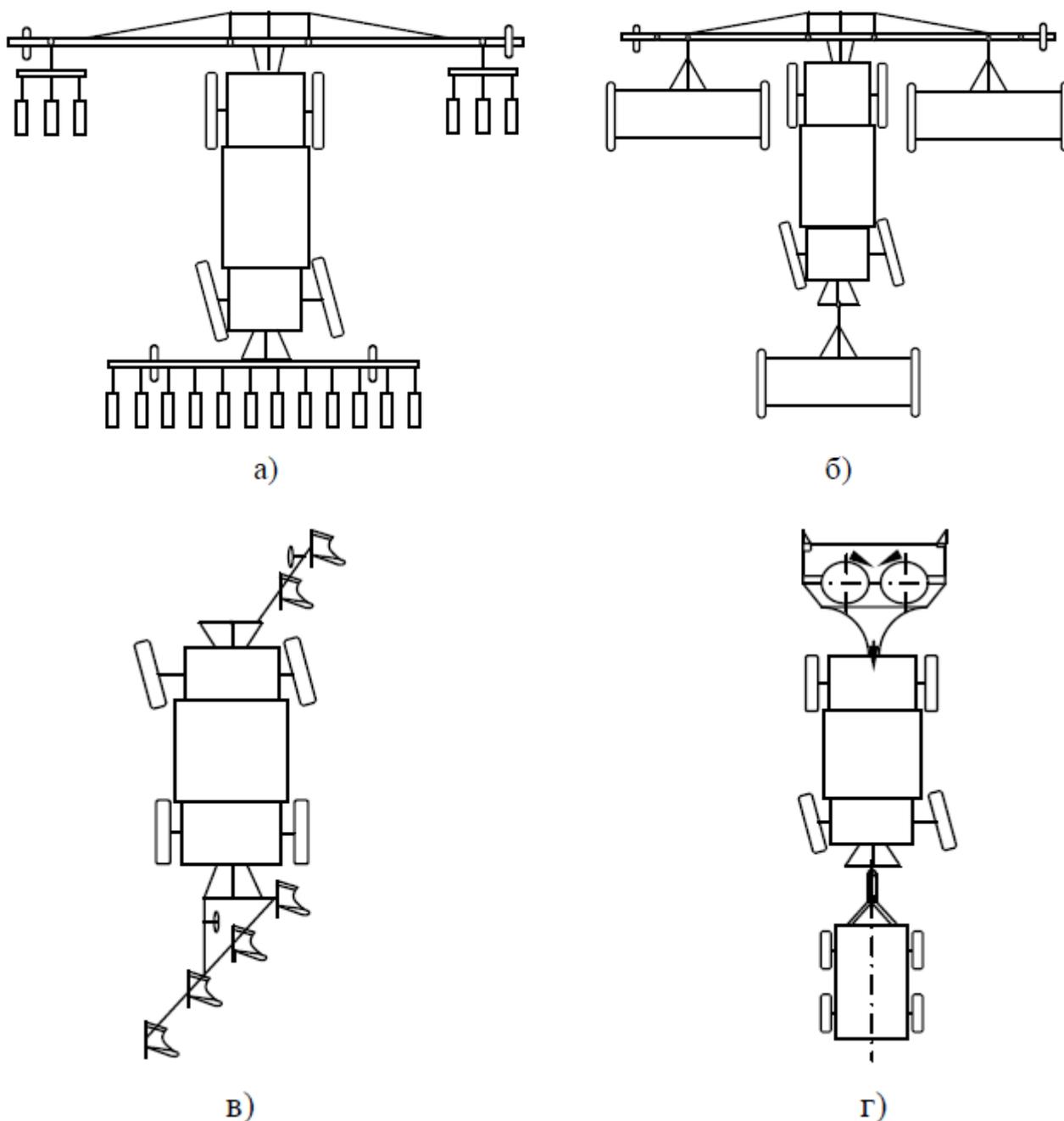


Рисунок 1.7 – Схеми широкозахватних агрегатів на базі тракторів сімейства ХТЗ-121/160: а) 18-ти рядний просапний (міжряддя –70см); б) посівний (зчіпка + 3 СЗ-3,6); в) орний за схемою “push -pull”; г) кормозбиральний

Для одночасного виконання цих операцій був розроблений подрібнювально-орний агрегат, який складається із трактора ХТЗ-120/160, задненавісного плуга типу ПЛН і фронтального активно-приводного, від переднього ВВП трактора, подрібнювача стерні сільськогосподарських культур, під умовною маркою ПРР-1,5 (рис. 1.9) [20]. Конструктивна ширина захвату останнього – 1,5 м.



Рисунок 1.8 – Жнивварно-луцильний машинно-тракторний агрегат



Рисунок 1.9 – Подрібнювально-орний машинно-тракторний агрегат

Досить перспективними виглядають і інші комбіновані агрегати на базі ХТЗ-120/160, призначені для основної обробки ґрунту з одночасним подрібнюванням стерні [21]. Сюди варто віднести дисковочно-чизельний і дисковочно-культиваторний агрегати. Технологічна частина першого з них включає плуг-чизель ПЧ-2,5 і дискову борону БДН-3 (рис. 1.10). У другому агрегаті замість чизельного знаряддя використовується начіпний культиватор-плоскоріз із робочими органами від культиватора КПЭ-3,8 (рис. 1.11).



Рисунок 1.10 – Дисковочно-чизельний машинно-тракторний агрегат



Рисунок 1.11 – Дисковочно-культиваторний машинно-тракторний агрегат

Із широкозахватних машинно-тракторних агрегатів, побудованих на базі трактора ХТЗ-120/160, у лабораторно-польових умовах випробуваний посівний (рис. 1.12) [22] і орний за схемою “push-pull” (тобто “толкай – тягни”, рис. .13[22]) агрегати.



Рисунок 1.12 – Трьохсівальний агрегат Рисунок 1.13 – Орний агрегат у роботі

В роботі [23] установлені діапазони раціональних обсягів робіт з обробітку ґрунту для технологічних комплексів машин при традиційному технологічному процесі із застосуванням комбінованих агрегатів (звичайна оранка; обробіток комбінованими агрегатами) – 100...350га.

Із приведеного вище аналізу випливає, що застосування комбінованих агрегатів із переднім та заднім сільськогосподарським знаряддям є актуальним і перспективним. Практика випробувань та експлуатації таких комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволила виявити наступні їх переваги:

- економія витрат палива за рахунок зменшення буксування рушіїв трактора завдяки зростанню його зчіпної маси при агрегуванні з фронтальною машиною;
- зменшення металоємності у порівнянні з іншими агрегатами, зчіпна маса якого збільшується шляхом баластування енергетичного засобу;

- підвищення стійкості руху під час транспортних переїздів;
- зменшення числа проходів по полю і, отже, зниження шкідливих впливів трактора на ґрунт;
- можна заощадити час на обробку і виконати всі технологічні операції в агротехнічний термін.

Щодо недоліків таких комбінованих агрегатів, то їх кількість і характер різні для конкретного агрегату і повною мірою визначені його функціональним призначенням і конструктивною схемою. Зокрема, найбільш характерними недоліками комбінованих агрегатів:

- збільшення кінематичної довжини комбінованого агрегату, що може привести до відповідного зростання ширини поворотної смуги та невикористаних витрат часу, пов'язаних із поворотами;
- більш напружений режим роботи механізатора, викликаний необхідністю слідкування за роботою як заднього, так і переднього сільськогосподарського знаряддя;
- погіршення керованості.

Тому, правильний науково-обґрунтований вибір схеми, конструктивних та інших параметрів комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволяє використовувати їх з максимальною ефективністю.

## 1.2. Стан досліджень комбінованих удобрювальних і посівних машинно-тракторних агрегатів

Узагальненням результатів відомих досліджень за п. 1.1 встановлено, що одним з напрямів енергозбереження в рослинництві є використання комбінованих агрегатів, які дозволяють за один прохід сумістити декілька технологічних операцій. Поява комбінованих агрегатів сприяла зниженню погектарної витрати палива та питомої матеріалоемності агрегатів, дозволила вивільнити механізаторів та підвищити продуктивність праці, зменшити кількість проходів по полю, тим самим знизити ущільнення ґрунту. Найбільш ефективно

використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів на виробництві зернових культур при суміщенні передпосівної підготовки ґрунту і сівби.

Сили і моменти, які прикладені до симетрично (відносно повздовжньої вісі трактора) розташованих коліс, попарно рівні й паралельні. Вони можуть бути замінені рівнодіючими подвосними силами та моментами. Посівний агрегат на гоні здійснює відносно нерухомої площини рівномірний поступальний рух зі швидкістю  $V_0 (V_0 = const)$ . Під час виконання технологічних операцій під впливом випадкових факторів агрегат відхиляється від початкового положення і отримує додаткову швидкість відносно площини  $XOY$  (рис. 1.14). При цьому площина  $X_m S_m Y_m$ , що зв'язана з центром мас енергетичного засобу, обертається навколо вісі  $S_m Z$ , яка проходить через точку  $S_T$ .

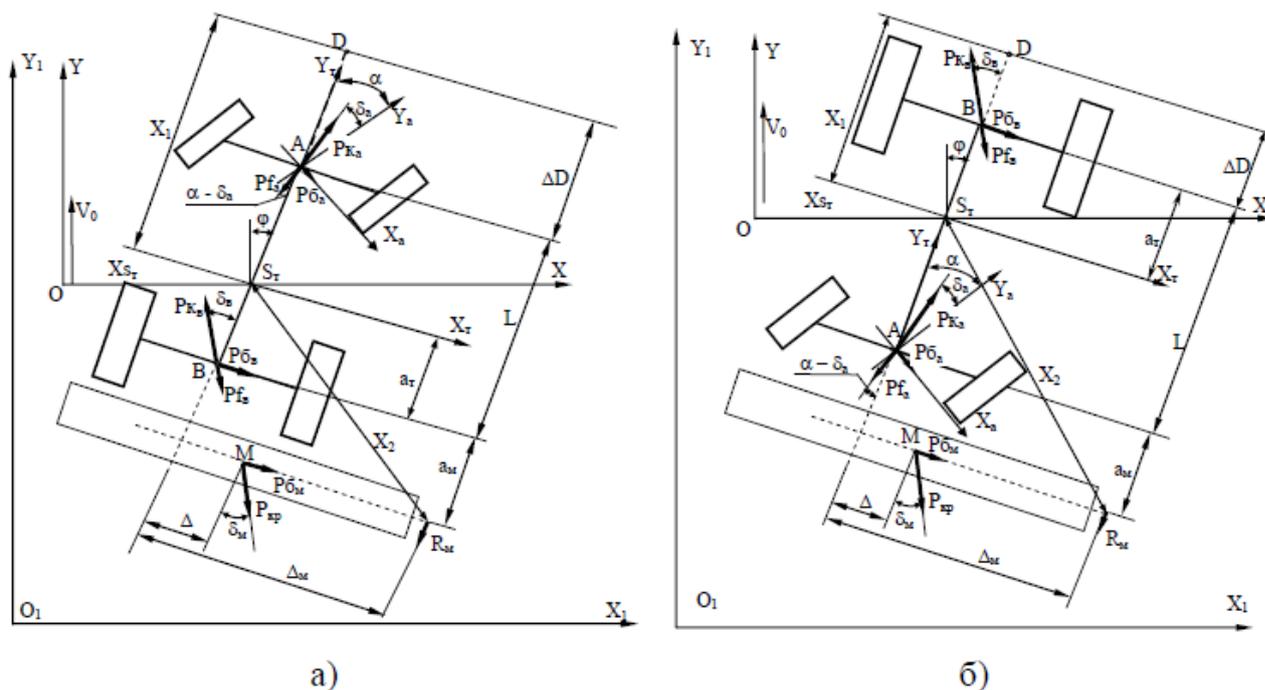


Рисунок 1.14 – Еквівалентна схема посівного машинно-тракторного агрегату, при його прямому (а) і реверсивному (б) плоскопаралельному русі [24]

При складанні рівнянь руху комбінованого агрегату науковцем розглядаються наступні припущення: в процесі складання математичної моделі розглядається плоскопаралельний рух агрегату; не враховуються процеси, які відбуваються в гідроприводі рульового керування, трансмісії трактора та

динамічні характеристики двигуна в процесі розгону та гальмування агрегату; остови елементів агрегату приймаються як абсолютно тверді тіла, а весь агрегат симетричним щодо поздовжньої площини; не враховуються дисипативні сили; бічні зусилля на шинах обмежені зчепленням коліс з дорогою; поступова швидкість руху агрегату приймається постійною. Розрахункова схема (рис.1.15), на думку науковця являє собою динамічну модель, що складається з чотирьох мас-ланок: перша піврама шарнірно-з'єданого трактора; друга піврама шарнірно-з'єданого трактора; перша піврама сівалки (бункер для посівного матеріалу); друга піврама сівалки (культиватор для суцільного обробітку ґрунту з висіваючим апаратом).

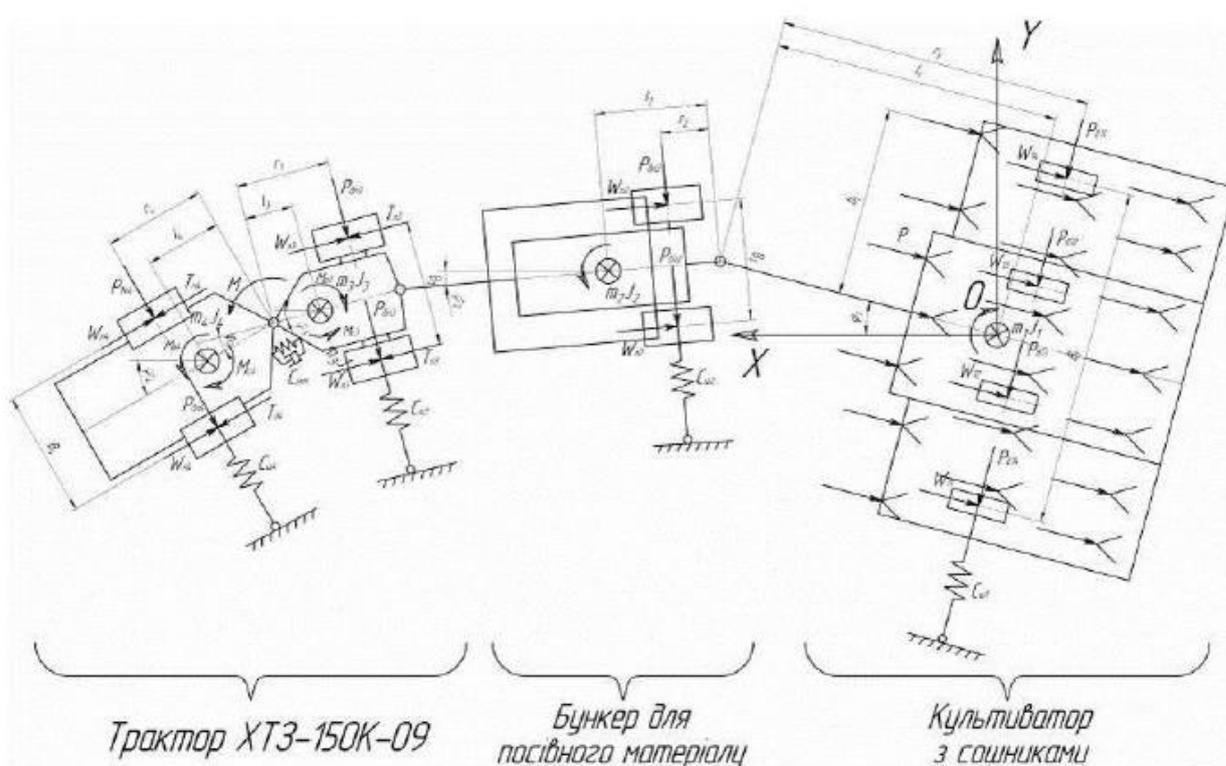


Рисунок 1.15 – Динамічна модель комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату

В результаті проведеного нами аналізу встановлено, що аналітичному дослідженню руху сільськогосподарських машин і машинних агрегатів присвячені чисельні фундаментальні праці як вітчизняних так і закордонних науковців. При цьому основним видом руху сільськогосподарських машин (причіпних, навісних і самохідних) є їх плоскопаралельний рух, оскільки саме цей вид руху визначає якість виконання заданих технологічних процесів. При цьому

агротехнічні та експлуатаційно-технічні показники роботи, а також продуктивність комбінованих машинно-тракторних агрегатів в значній мірі залежить від характеру їх саме плоскопаралельного руху. Тому, дослідження плоскопаралельного руху різних сільськогосподарських машинних агрегатів необхідні як при порівняльній оцінці існуючих так і при проектуванні принципово нових самохідних та причіпних агрегатів. Основним методом таких досліджень є складання і рішення диференціальних рівнянь руху машинних агрегатів, на що і направлений другий розділ дипломної роботи.

1.3. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур

Відомо, що за недостатньої кількості опадів в степовій зоні України та при їх дефіциті у весняний період азотні добрива разом із фосфорними і калійними вносяться повністю під зяблеву оранку або передпосівну культивуацію. За умов оптимального вологозабезпечення доза азоту може бути підвищена, з внесенням половини її на IV етапі органогенезу. Зернові культури добре використовують добрива, внесені при сівбі, але для отримання високоякісного врожаю зерна обов'язкове забезпечення рослин достатньою кількістю поживних речовин, перш за все азотом, тому за оптимального водного режиму необхідне роздрібнене його застосування в період весняно-літньої вегетації. Кращі результати для підвищення врожайності та якості зерна забезпечує підживлення азотом посівів на IV етапі органогенезу (30% загальної дози) і на VIII етапі органогенезу (решту 20% дози) [24]. Тому, з метою економії ресурсів доцільно б було вносити стартову та основну дозу за один прохід агрегату, розташовуючи їх на різній глибині залягання. Виконання даної операції можна здійснити комбінованим машинно-тракторним агрегатом.

Проведення двох окремих операцій, а саме сівби з внесенням стартових добрив та окремого підживлення по вегетуючим посівам, потребує не менше 8 кг

палива на кожен гектар оброблюваної площі, в разі застосування популярного на півдні України односівалочного агрегату на базі трактора тягового класу 1,4.

Аналізом переваг комбінованих агрегатів, детально розглянутих у п. 1.1, було доведено, що їх використання забезпечує зниження витрат праці в середньому на 20%, пального – на 25%. Сумарна колія після проходу тракторів і сільськогосподарських машин зменшується на 45%, при цьому вміст вологи в ґрунті в шарі товщиною до 15см збільшується на 8...10%.

Тому, пошук оптимальної конструктивної технологічної схеми комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур, яка б була позбавлена вищезазначених недоліків є важливою народногосподарською задачею.

Обсяг та доцільність застосування комбінованих агрегатів у господарствах визначається природно-кліматичними умовами, фізико-механічними властивостями оброблюваних ґрунтів, застосовуваною системою землеробства, агротехнічними вимогами до обробки ґрунтів і посіву, можливістю й доцільністю сполучення технологічних операцій, а також наявною енергетичною базою.

На основі проведених попередніх досліджень і конструкторських робіт запропонована конструктивно-технологічна схема комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур з використанням колісного трактора, тягового класу 1,4 (рис. 1.16 – вид збоку).

Основною перевагою даного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є можливість розміщення у ґрунті основної дози мінеральних добрив нижче одночасно висіяного насіння у вигляді стрічки, тобто в зоні розміщення коріння зернових культур, що в свою чергу підвищує ефективність використання основної дози мінеральних добрив.

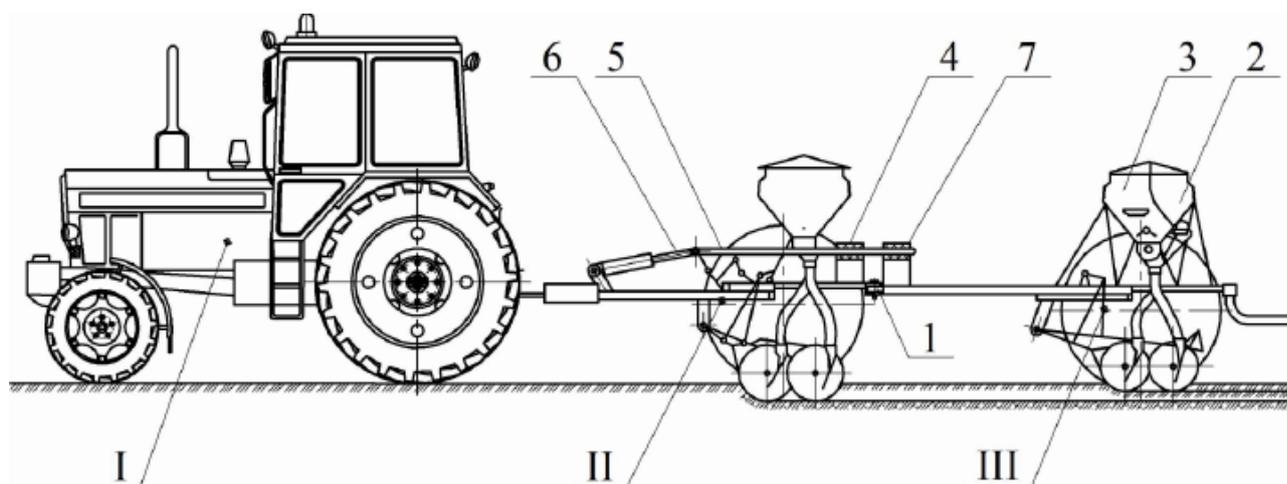


Рисунок 1.16 – Агрегат для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур (вид збоку): I – трактор; II – машина для внесення основної дози мінеральних добрив; III – машина для сівби зернових та внесення стартової дози мінеральних добрив: 1 – шарнір; 2 – бункер для стартових добрив; 3 – бункер для насіння; 4 – направляючий елемент; 5 – блокуючий повзун; 6 – штанга; 7 – фіксуєчий елемент

Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур (див. рис. 1.16) включає сівалку II для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив, яка містить раму, на котрій встановлений бункер для мінеральних добрив з висівними апаратами для їх висівання. До рами на повідцях шарнірно закріплені сошники, обладнані механізмом для підняття їх в транспортне положення, який приводиться в дію гідроциліндром. Висівні апарати насіннепроводами сполучені з сошниками. До рами сівалки II шарніром 1 приєднана сниця сівалки сільськогосподарських культур III. Зазначена сівалка III включає раму, на якій встановлено ящик, котрий розділений на два відсіки – відсік для насіння сільськогосподарських культур 2 та відсік 3 для стартової дози мінеральних добрив. Ці відсіки обладнані висівними апаратами для висівання насіння і для висівання мінеральних добрив. Вісь шарніра 1 зміщена від середньої лінії, що проходить паралельно до напрямку робочого руху агрегату і рівновіддалена від крайніх сошників сівалки II для внесення основної дози добрив на значення, що

дорівнює половині відстані між суміжними сошниками. До рами сівалки II нерухомо закріплений направляючий елемент 4 з отвором, вісь якого паралельна до середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра 1. В отворі направляючого елемента 4 встановлений блокуючий повзун 5, виготовлений із пружного матеріалу, причому його задній кінець виконаний конічним. Повзун 5 штангою 6 кінематично з'єднаний з механізмом підйому сошників сівалки II для внесення добрив. До сніці сівалки сільськогосподарських культур III нерухомо закріплений фіксуєючий елемент 7 з отвором, ідентичним отвору направляючого елемента 4 і співвісного з ним в робочому стані агрегату.

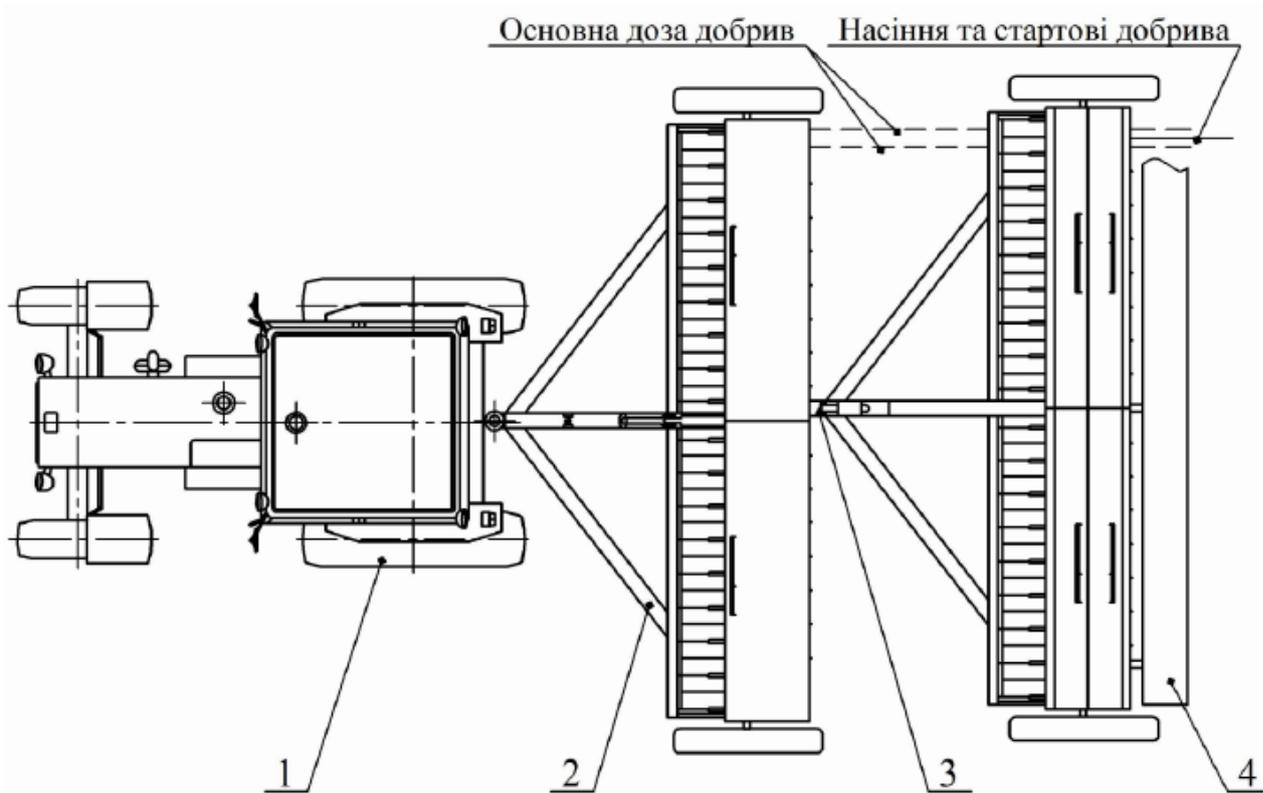


Рисунок 1.17 – Комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат (вид зверху): 1 – колісний агрегатуєючий трактор; 2 – сівалки для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив стрічковим способом; 3 – начіпний пристрій; 4 – сівалка зернових культур з пристроєм для одночасного внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив

Перед початком роботи агрегату в ящик сівалки II завантажуються мінеральні добрива основної дози їх внесення, а у відсік ящика 2 сівалки III

завантажується необхідне насіння сільськогосподарських культур, а у відсік 3 завантажуються мінеральні добрива стартової дози. Після цього агрегат заїжджає у загінку і сошники обох сівалок механізмами опускаються в робоче положення. Одночасно з цим за рахунок кінематичного зв'язку через штангу 6 між механізмом підйому сошників і повзуном 5, останній переміщується назад відносно напрямку руху агрегату, і повзун 5 заходить у фіксуєчий елемент 7 і шарнір 1 повністю блокується, в результаті чого рама сівалки II і рама сівалки III з'єднуються як одне нерухоме ціле. При русі агрегату в загінці спочатку сошниками сівалки I в рядки на більшу глибину (60-150мм) вноситься основна доза мінеральних добрив, а потім у середину міжрядь внесеної основної дози добрив висівається сошниками сівалки III насіння сільськогосподарських культур і вноситься стартова доза мінеральних добрив в борозну разом з насінням на оптимальну глибину загортання насіння –20-80мм. В кінці загінки сошники піднімаються в транспортне положення і штангою 4 повзун 5 виводиться із фіксуєчого елемента 7, в результаті чого шарнір 1 розблоковується і на поворотній смузі агрегат робить розворот, при якому сівалки II і III рухаються по окремих траєкторіях.

Завдяки такому виконанню комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур спочатку забезпечується внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив на більшу глибину (60-150мм), а потім усередину міжрядь внесеної основної дози добрив висівається насіння сумісно з стартовою дозою мінеральних добрив на меншу глибину (20-60мм). При цьому стартова доза мінеральних добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині і тому у вологому ґрунті, що забезпечує їх розчинення і ефективне використання рослинами.

В результаті проведених попередньо експериментальних і польових досліджень отримано наступні техніко-економічні результати застосування

агрегату складеного у відповідності до розробленої конструктивно-технологічної схеми: продуктивність (із застосуванням колісного інтегрального орно-просапного трактора тягового класу 3) становить близько 3га/год, а витрати палива складають 4,5 кг/га.1.4.

### **Висновки до першого розділу**

Важливі проблеми посіву та удобрення зернових культур можна розв'язати розробкою та застосуванням комбінованих машинно-тракторних агрегатів, які побудовані за модульним принципом і дають істотні переваги щодо їх використання у виробничих умовах.

Наявність потенційних переваг комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур створює передумови для проведення досліджень, метою яких є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів. В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку сформульованої нами робочої гіпотези, суть якої полягає в наступному: застосування комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур з обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами дозволить підвищити техніко-економічні показники його роботи.

Програма перевірки вказаної робочої гіпотези передбачає розв'язання наступних задач дослідження:

– розробити математичну модель функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату у складі агрегатуючого трактора і послідовно начеплених позаду двох сівалок;

– провести числове моделювання на ПК складеної системи диференціальних рівняння руху комбінованого машинно-тракторного агрегату і визначити його оптимальні конструктивні і кінематичні параметри;

– провести експериментальні дослідження комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та визначити його експлуатаційно-технологічні параметри;

– розробити рекомендації з вибору режимів роботи та провести техніко-економічне обґрунтування застосування машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур;

– здійснити впровадження результатів проведеного дослідження для отримання відповідного економічного ефекту.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБҐРУНТУВАННЯ РУХУ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при теоретичному дослідженні комбінованого удобрювально-посівного агрегату

Для побудови розрахункової математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, який складається із агрегатуючого колісного трактора, до якого спочатку, за допомогою стандартного начіпного пристрою, приєднана туковисівна сівалка (здійснює основне внесення мінеральних добрив на збільшену глибину стрічковим методом), а позаду неї, за допомогою розробленого спеціального пристрою, причеплена зерно-тукова сівалка (здійснює висів зернових культур разом зі стартовою дозою мінеральних добрив у вказані стрічки на меншу глибину), використаємо основні положення, які викладені в [25].

Врахуємо тільки основні елементи комбінованого удобрювально-посівного агрегату, які здійснюють різні рухи. Оскільки динамічна система, яка буде розглядатись, є багатомасовою, то для спрощення розрахунків будемо враховувати тільки рухи, які впливають на якість виконання технологічного процесу. Віднесемо такий машинний агрегат (дану динамічну систему) до прямокутної декартової системи координат  $O_{xyz}$ . Також припускаємо, що при русі даного машинно-тракторного агрегату уздовж поверхні поля, усі його точки рухаються у площинах, які паралельні до площини  $xOy$  (рис. 2.1).

Щоб скласти систему диференціальних рівнянь руху даної механічної системи, розглянемо її у додатному поточному положенні і опишемо її положення під час руху на площині шістьма незалежними узагальненими координатами. Також припускаємо, що у початковий момент часу  $t=0$  механічна система була орієнтована уздовж осі  $Ox$  і починає рухатись із стану спокою.

Тому рух даної механічної системи буде описуватись шістьма диференціальними рівняннями другого порядку відносно вказаних незалежних узагальнених координат.

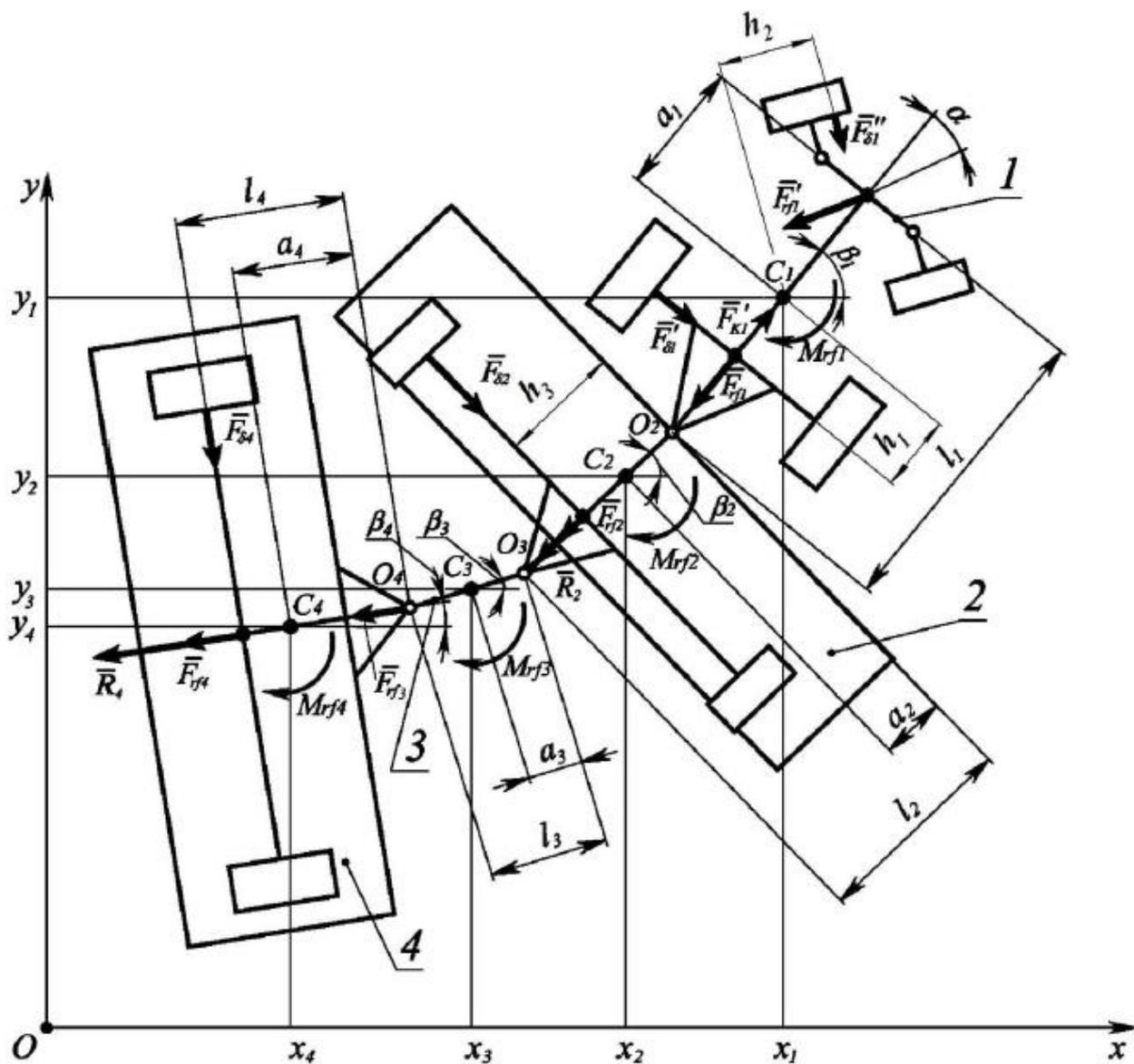


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату: 1 – трактор; 2 – удобрювальний агрегат; 3 – причіпний пристрій; 4 – посівний агрегат

Таким чином, і математична модель удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату – це модель механічної системи, яка має шість ступенів вільності (див. рис. 2.1).

## 2.2. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Оскільки розв'язок даної задачі можна здійснити з використанням основних положень теорії автоматичного регулювання, то представимо динамічну модель руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату у вигляді наступної схеми (рис. 2.2). Розробимо таку схему з урахуванням основних керуючих і збурювальних вхідних параметрів. У відповідності з цією схемою керуючим впливом є кут повороту передніх коліс трактора  $[\alpha(p)]$ , а збурювальними є одиничні впливи  $K_0 \cdot 1(p)$  і  $B_3 = 1(p)$ ,  $B_4 = 1(p)$  і  $B_6 = 1(p)$ . Вихідними змінними є координати  $x_1$ ,  $y_1$  і кути  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  і  $\beta_4$ .

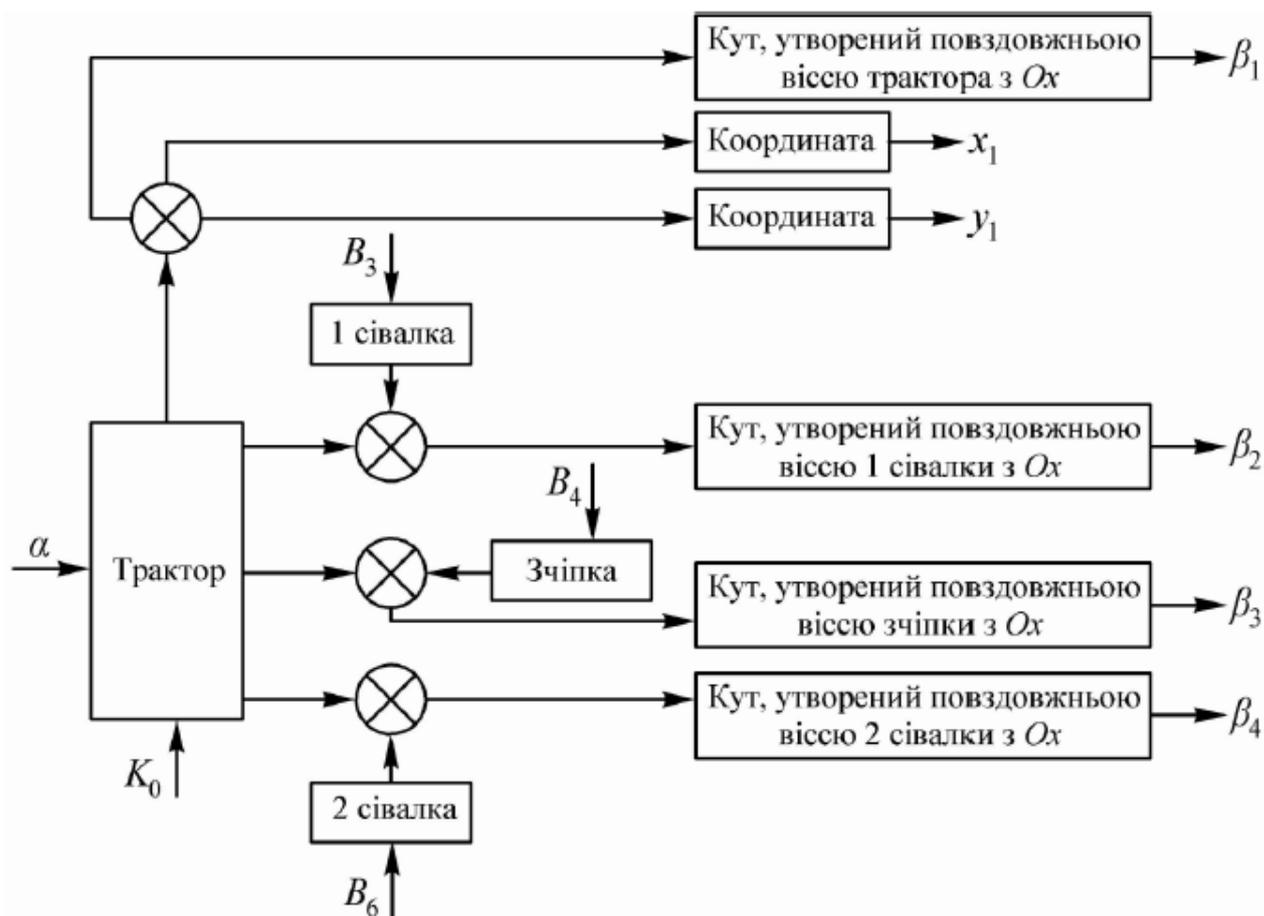


Рисунок 2.2 – Схема утворення взаємних лінійних та кутових відхилень під час руху удобрювально-посівного агрегату

У відповідності з цією схемою взаємні лінійні та кутові відхилення розглядуваної механічної системи достатньо представити шістьма незалежними узагальненими координатами:  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  дає можливість

досліджувати його плоскопаралельний рух використанням основних положень теорії автоматичного регулювання.

З урахуванням усіх отриманих значень, систему диференціальних рівнянь (2.1) необхідно, перш за все, лінеаризувати.

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{x}_i &= \sum_{i=1}^4 F_{xi}, \\
 m_1 \ddot{y}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{y}_i &= \sum_{i=1}^4 F_{yi}, \\
 I_1 \ddot{\beta}_1 + (l_1 - a_1) \sum_{i=2}^4 m_i (\ddot{x}_i \sin \beta_1 - \ddot{y}_i \cos \beta_1) &= \\
 &= M_{C_1} - M_{rf1} + (l_1 - a_1) \left( \sin \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{xi} - \cos \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{yi} \right), \\
 I_2 \ddot{\beta}_2 + m_2 a_2 (\ddot{x}_2 \sin \beta_2 - \ddot{y}_2 \cos \beta_2) + l_2 [ m_3 (\ddot{x}_3 \sin \beta_2 - \ddot{y}_3 \cos \beta_2) + \\
 + m_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_2 - \ddot{y}_4 \cos \beta_2) ] &= M_{O_2} - M_{rf2} + l_2 \left( \sin \beta_2 \sum_{j=3}^4 F_{xj} - \cos \beta_2 \sum_{j=3}^4 F_{yj} \right), \\
 I_3 \ddot{\beta}_3 + m_3 a_3 (\ddot{x}_3 \sin \beta_3 - \ddot{y}_3 \cos \beta_3) + l_3 m_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_3 - \ddot{y}_4 \cos \beta_3) &= \\
 &= M_{O_3} - M_{rf3} + l_3 (\sin \beta_3 F_{x4} - \cos \beta_3 F_{y4}), \\
 I_4 \ddot{\beta}_4 + m_4 a_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_4 - \ddot{y}_4 \cos \beta_4) &= M_{O_4} - M_{rf4}.
 \end{aligned} \right\} (2.1)$$

2.3. Лінеаризація отриманої системи диференціальних рівнянь плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Будемо вважати, що при малих кутах  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  малими будуть також і швидкості  $\dot{\beta}_1, \dot{\beta}_2, \dot{\beta}_3, \dot{\beta}_4$ . Це пояснюється достатньою інертністю мас агрегату і реальними умовами його переміщення по поверхні поля, де при малих переміщеннях складові елементи агрегату не встигають розігнатися до великих швидкостей.

Вид операторів в залежності (2.2) однозначно визначається системою рівнянь (2.3), яку після перетворення по Лапласу можна представити у вигляді поелементної структурної динамічної схеми (рис. 2.3).

$$\left. \begin{aligned} K_{21} \cdot y_1(p) + K_{22} \cdot \beta_1(p) + K_{23} \cdot \beta_2(p) + K_{25} \cdot \beta_4(p) &= K \cdot \alpha(p) + K_1 \cdot 1(p), \\ K_{31} \cdot y_1(p) + K_{32} \cdot \beta_1(p) + K_{33} \cdot \beta_2(p) + K_{35} \cdot \beta_4(p) &= B_3 \cdot 1(p), \\ K_{41} \cdot y_1(p) + K_{42} \cdot \beta_1(p) + K_{43} \cdot \beta_2(p) + K_{45} \cdot \beta_4(p) &= B_4 \cdot 1(p), \\ K_{61} \cdot y_1(p) + K_{62} \cdot \beta_1(p) + K_{63} \cdot \beta_2(p) + K_{65} \cdot \beta_4(p) &= B_6 \cdot 1(p), \end{aligned} \right\} (2.2)$$

де

$$\begin{aligned} K_{21} &= A_{21} \cdot p^2, & K_{31} &= A_{31} \cdot p^2, & K_{41} &= A_{41} \cdot p^2, & K_{61} &= A_{61} \cdot p, \\ K_{22} &= A_{22} \cdot p^2 + A_{26}, & K_{32} &= A_{32} \cdot p^2 + A_{36}, & K_{42} &= A_{42} \cdot p^2, & K_{62} &= A_{62} \cdot p, \\ K_{23} &= A_{23} \cdot p^2 + A_{27}, & K_{33} &= A_{33} \cdot p^2 + A_{37}, & K_{43} &= A_{43} \cdot p^2 + A_{47}, & K_{63} &= A_{63} \cdot p, \\ K_{25} &= A_{25} \cdot p^2 + A_{29}, & K_{35} &= A_{35} \cdot p^2 + A_{39}, & K_{45} &= A_{45} \cdot p^2 + A_{49}, & K_{65} &= A_{65} \cdot p. \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \ddot{y}_1 + A_{12} \ddot{\beta}_1 + A_{13} \ddot{\beta}_2 + A_{14} \ddot{\beta}_3 + A_{15} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{16} \beta_1 + A_{17} \beta_2 + A_{18} \beta_3 + A_{19} \beta_4 &= B_1, \\ A_{21} \ddot{y}_1 + A_{22} \ddot{\beta}_1 + A_{23} \ddot{\beta}_2 + A_{24} \ddot{\beta}_3 + A_{25} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{26} \beta_1 + A_{27} \beta_2 + A_{28} \beta_3 + A_{29} \beta_4 &= B_2, \\ A_{31} \ddot{y}_1 + A_{32} \ddot{\beta}_1 + A_{33} \ddot{\beta}_2 + A_{34} \ddot{\beta}_3 + A_{35} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{36} \beta_1 + A_{37} \beta_2 + A_{38} \beta_3 + A_{39} \beta_4 &= B_3, \\ A_{41} \ddot{y}_1 + A_{42} \ddot{\beta}_1 + A_{43} \ddot{\beta}_2 + A_{44} \ddot{\beta}_3 + A_{45} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{46} \beta_1 + A_{47} \beta_2 + A_{48} \beta_3 + A_{49} \beta_4 &= B_4, \\ A_{51} \ddot{y}_1 + A_{52} \ddot{\beta}_1 + A_{53} \ddot{\beta}_2 + A_{54} \ddot{\beta}_3 + A_{55} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{56} \beta_1 + A_{57} \beta_2 + A_{58} \beta_3 + A_{59} \beta_4 &= B_5, \\ A_{61} \ddot{y}_1 + A_{62} \ddot{\beta}_1 + A_{63} \ddot{\beta}_2 + A_{64} \ddot{\beta}_3 + A_{65} \ddot{\beta}_4 + \\ + A_{66} \beta_1 + A_{67} \beta_2 + A_{68} \beta_3 + A_{69} \beta_4 &= B_6, \end{aligned} \right\} (2.3)$$

$$W_\alpha = \frac{p^2 (F_4 \cdot p^4 + F_2 \cdot p^2 + F_0)}{p^2 (C_6 \cdot p^6 + C_4 \cdot p^4 + C_2 \cdot p^2 + C_0)}, \quad (2.4)$$

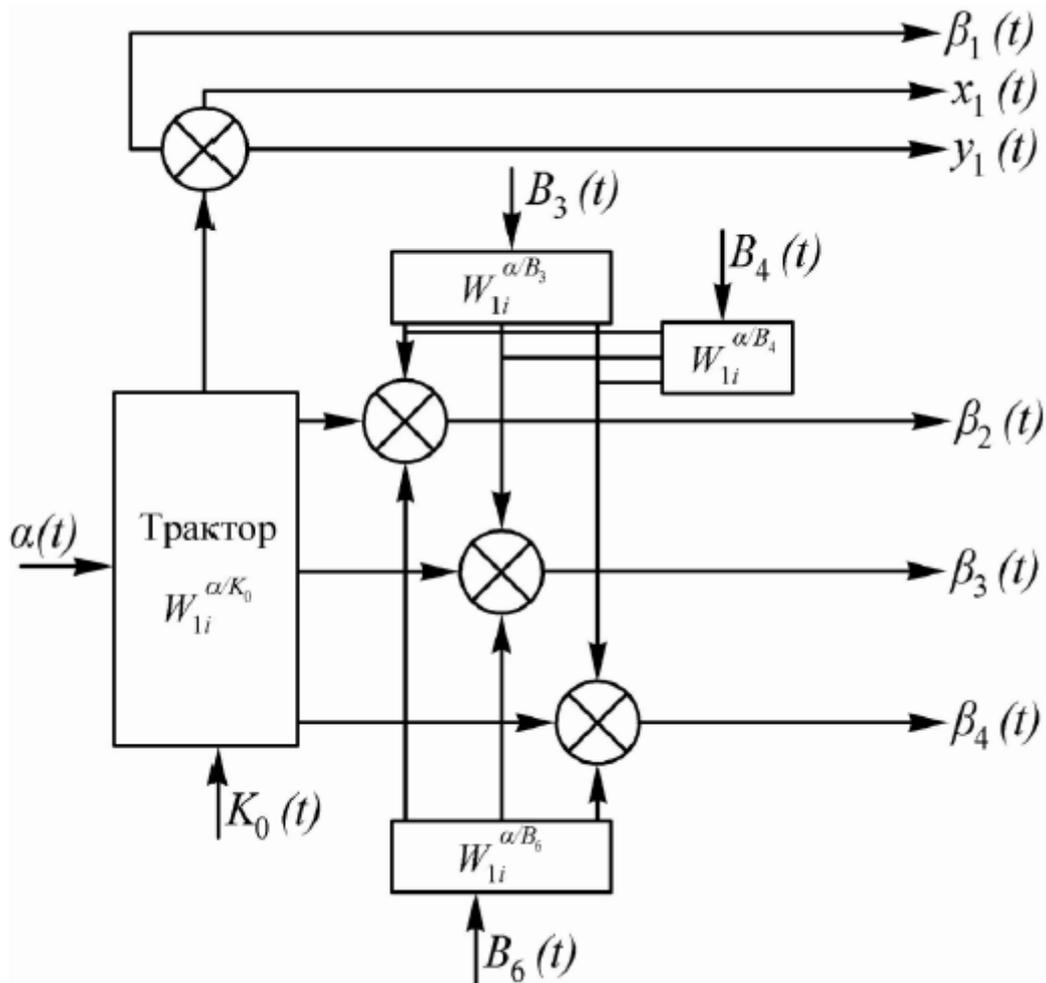


Рисунок 2.3 – Структурна динамічна схема формування лінійних та кутових відхилень траєкторій характерних точок удобрювально-посівного агрегату

Система рівнянь (2.2) та структурна динамічна схема на рис. 2.5 відображає динамічний стан досліджуемого комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату під впливом керуючого і збурювального вхідних змінних.

2.4. Методика дослідження математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Аналіз керованості руху досліджуваного агрегату будемо здійснювати за наступним алгоритмом. На основі передаточної функції (2.4) за загально відомою методикою теорії автоматичного регулювання динамічних систем розрахуємо

відповідні амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) і розглядуваного нами комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату при відпрацюванні ним керуючого впливу. Перші із них характеризують ступінь підсилення динамічною системою вхідного сигналу, а другі – величину запізнення її реакції на цей сигнал.

Оскільки за фізичною суттю даний агрегат є слідкуючою динамічною системою, то для неї заздалегідь відомі бажані (ідеальні) амплітудно-частотні характеристики і фазово-частотні характеристики. За умови відпрацювання системою коливального керуючого впливу в робочому діапазоні його частот ці характеристики мають бути такими [26]:  $AЧХ = 1$ ;  $ФЧХ = 0$ .

Багатьма попередніми науковими дослідженнями встановлено, що для сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів як слідкуючих динамічних систем, робочий діапазон частоти керуючого впливу (позначимо її  $\omega$ ) зазвичай не перевищує 0,5 Гц (або  $3,14 \text{с}^{-1}$  [28]). Звідси бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика агрегату в діапазоні частот коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора до  $3,14 \text{с}^{-1}$  має дорівнювати 1, а поза цією частотою – 0. Фізично це означає, що при зміні частоти коливань вхідного параметру  $\alpha$  від  $\omega = 0$  до  $\omega = 3,14 \text{с}^{-1}$  курсовий кут енергетичного засобу (як реакція на вхідний керуючий вплив) має дорівнювати куту повороту його керованих коліс, тобто  $\varphi = \alpha$ . За умови  $\varphi > \alpha$  або  $\varphi < \alpha$  маємо відповідно пере- або недорегулювання динамічною системою вхідного сигналу, що у однаковій мірі є небажаним.

Слід підкреслити, що реальні амплітудно-частотні характеристики, в більшості випадків, можуть відрізнятися від бажаних (ідеальних) характеристик. Але алгоритм математичного моделювання при цьому залишається однозначним і незмінним. А саме: те схемне рішення машинно-тракторного агрегату, або те значення того чи іншого конструктивно-технологічного характеру є переважним, яке наближає дійсні амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики до ідеальних. За допомогою розробленої нами розрахункової математичної моделі горизонтального руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-

тракторного агрегату керованість його руху можна оцінити з урахуванням впливу будь-якого із параметрів, що входять до коефіцієнтів  $K$  і  $A_{ij}$  системи рівнянь (2.2). Але наданому етапі розглянемо тільки наступні параметри:

– коефіцієнт опору коченню  $f$  ходової системи агрегатуючого трактора, а також тукової та зернової сівалок. У математичній моделі плоскопаралельного руху машинно-тракторного агрегату, що досліджується вказаний коефіцієнт репрезентує сили опору коченню його ланок:  $F'_{rf1}$ ,  $F_{rf1}$ ,  $F_{rf2}$  і  $F_{rf4}$ ;

–  $a_2$ ,  $a_4$  – відстані від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас (див. рис. 2.1-2.3);

–  $l_3$ ,  $l_4$  – довжини сниць тукової та зернової сівалок.

Оскільки маси причіпних машин (тукової і зернової сівалок)  $m$  і  $m_4$  відповідним чином зв'язані з тяговим класом використовуваного агрегатуючого трактора (у даному випадку – це тяговий клас трактора 1,4), то встановлення впливу зміни цих параметрів на керованість руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату даним етапом досліджень не передбачено.

## 2.5. Визначення кінематичних і конструктивних параметрів комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Аналіз отриманих фазово-частотних характеристик досліджуваної динамічної системи показав, що запізнення її реакції на керуючий вплив є постійним і рівним  $-180^\circ$  або  $3,14$  рад (рис. 2.4).

Взагалі такий перебіг фази відпрацювання керуючого впливу притаманний консервативним динамічним системам з практично відсутніми дисипативними процесами. Формально розглядувана нами система є саме такою, оскільки вплив на неї дисипативних сил нами прийнятий незначним.

Аналіз отриманих розрахунків амплітудно-частотних характеристик показує наступне. За однієї і тієї ж частоти коливань керуючого впливу коефіцієнт його підсилення динамічною системою тим більший, чим більшим є коефіцієнт опору коченню  $f$  (рис. 2.5).

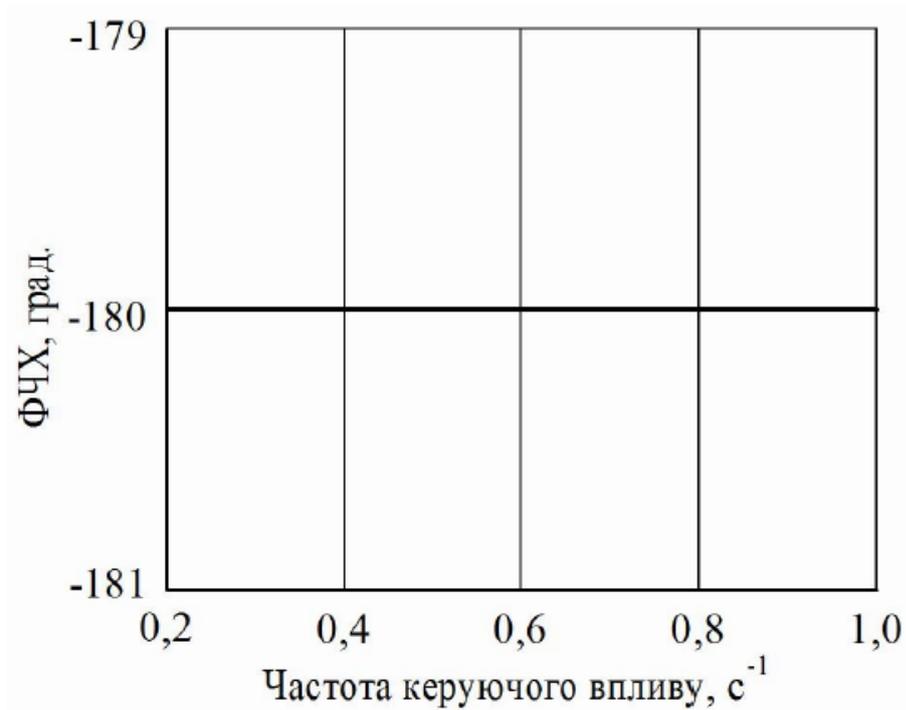


Рисунок 2.4 – Фазово-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу

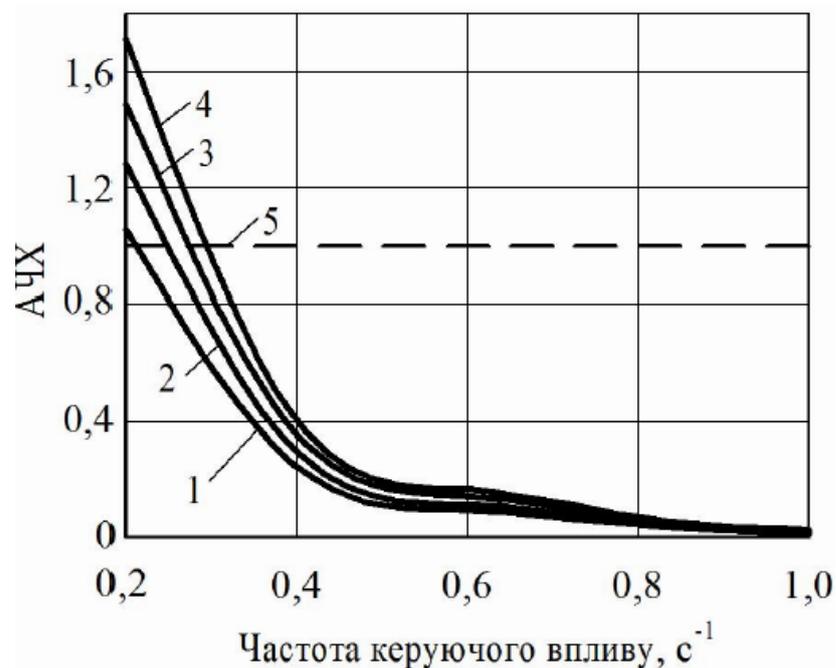


Рисунок 2.5 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різним значенням коефіцієнта опору коченню: 1 – 0,10; 2 – 0,12; 3 – 0,14; 4 – 0,16; 5 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Так, наприклад, за руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегатуна відносно твердому агротехнічному фоні ( $f = 0,10$ , крива 1

рис. 2.7) поворот передніх керованих коліс трактора з частотою  $0,2\text{c}^{-1}$  обумовлює його реакцію у вигляді зміни курсового кута з коефіцієнтом підсилення 1,1. Водночас, при роботі агрегату на розпушеному фоні ( $f=0,16$ , крива 4 рис. 2.5) коефіцієнт підсилення динамічною системою (трактором) розглядуваного вхідного сигналу тієї ж частоти (тобто  $0,2\text{c}^{-1}$ ) зростає до позначки 1,7, все більше віддаляючись при цьому від ідеального стану (крива 5, рис. 2.5).

При збільшенні частоти повороту керованих коліс агрегатуючого трактора ступінь впливу агрофону, по якому переміщується даний комбінований машинно-тракторний агрегат, зменшується. За умови  $\omega > 0,3\text{c}^{-1}$  дійсні амплітудно-частотні характеристики стають меншими за 1. Динамічна система переходить до режиму недорегулювання вхідного сигналу, що є явищем небажаним.

Водночас, для кожного стану агротехнічного фону, репрезентованого своїм значенням коефіцієнту опору коченню  $f$ , існує така бажана ( $\omega_0$ ) частота повороту керованих коліс агрегатуючого трактора, за якої дійсна амплітудно-частотна характеристика відповідає ідеальній. Графічна інтерпретація цієї залежності має вид, відображений на рис. 2.6.

Як показує аналіз графічно отриманої функції  $\omega_0 = f(f)$ , в залежності від агротехнічного фону частота коливань керуючого впливу має змінюватися в межах  $0,210 \dots 0,295\text{c}^{-1}$ .

Аналіз результатів математичного моделювання показує, що збільшення конструкційного параметру  $a_2$  з 1,15м до 3,15м на частотах коливань керуючого впливу  $\omega < 0,24\text{c}^{-1}$  бажано, а на частотах  $\omega \geq 0,3\text{c}^{-1}$  – небажано зменшує дійсні амплітудно-частотні характеристики (рис.2.7).

Так, за  $\omega = 0,2\text{c}^{-1}$  при  $a_2 = 3,15\text{м}$ , амплітудно-частотна характеристика відпрацювання динамічною системою керуючого впливу становить 1,58 (крива 1, рис. 2.7). В дійсності це означає, що курсовий кут  $\beta_l$  агрегатуючого трактора даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату (див. рис. 2.1) по відношенню до кута повороту  $\alpha$  його керованих коліс буде змінюватися з підсиленням у 1,58 разів.

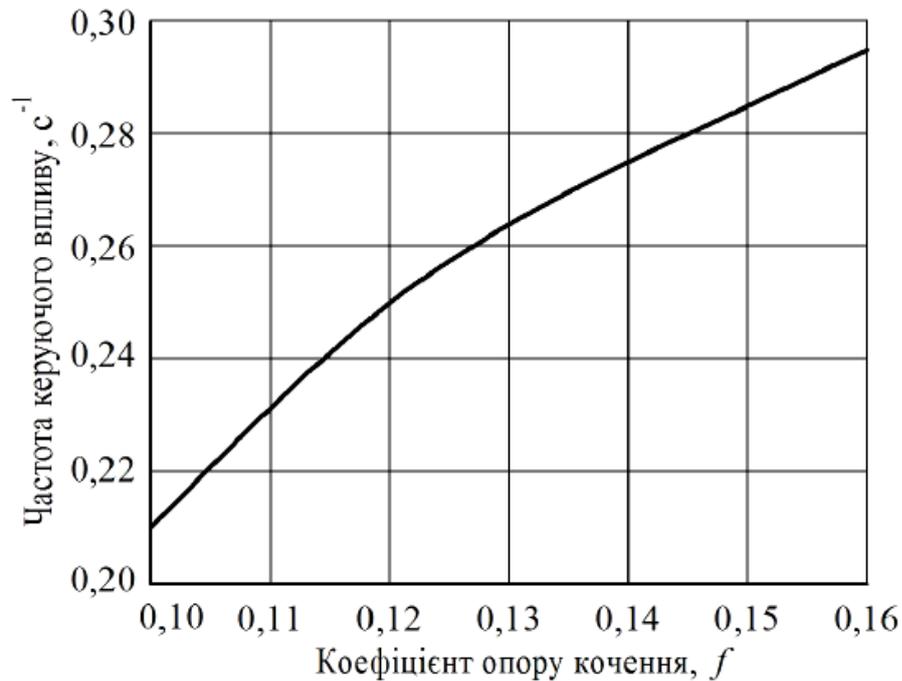


Рисунок 2.6 – Залежність бажаної частоти повороту керування коліс агрегатуючого трактора комбінованого удобрювально-посівного агрегату від умов його руху (коефіцієнта опору коченню  $f$ )

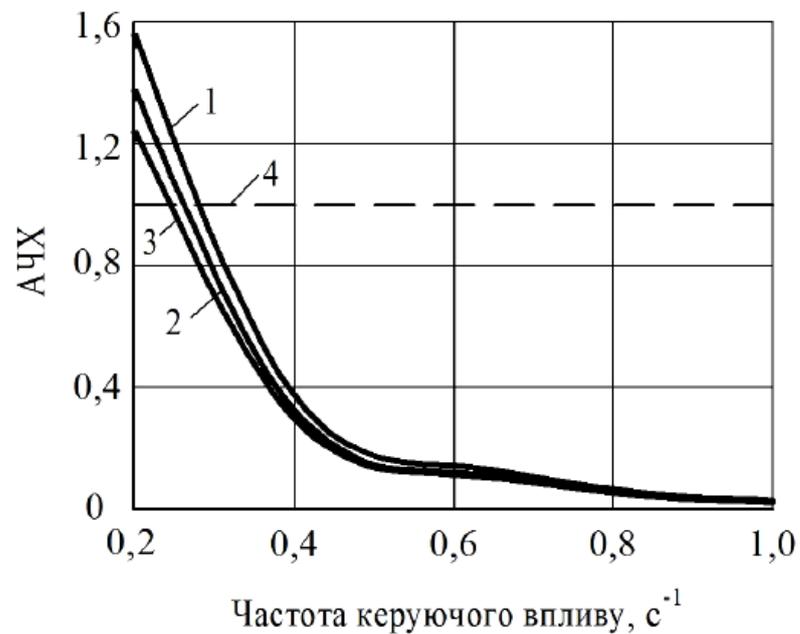


Рисунок 2.7 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різних значенням конструкційного параметру  $a_2$ : 1 – 3,15 м; 2 – 2,15 м; 3 – 1,15 м; 4 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Іншими словами, розглядувана динамічна система функціонуватиме з перерегулюванням (тобто надмірним підсиленням) вхідного сигналу на 58%, що,

як відомо із теорії автоматичного керування слідкуючих динамічних систем, небажано.

Якісно схожий висновок можна зробити і стосовно вибору конструкційного параметру  $l_2$  (рис. 2.8). Відмінність при цьому полягає у тому, що частотний діапазон коливань керуючого впливу, у якому дійсні амплітудно-частотні характеристики розглядуваної динамічної системи (тобто розглядуваного комбінованого машинно-тракторного агрегату) відповідають ідеальним, є дещо вужчим. Як випливає із аналізу кривих рис. 2.8, він (діапазон) становить приблизно  $0,23...0,26\text{с}^{-1}$ .

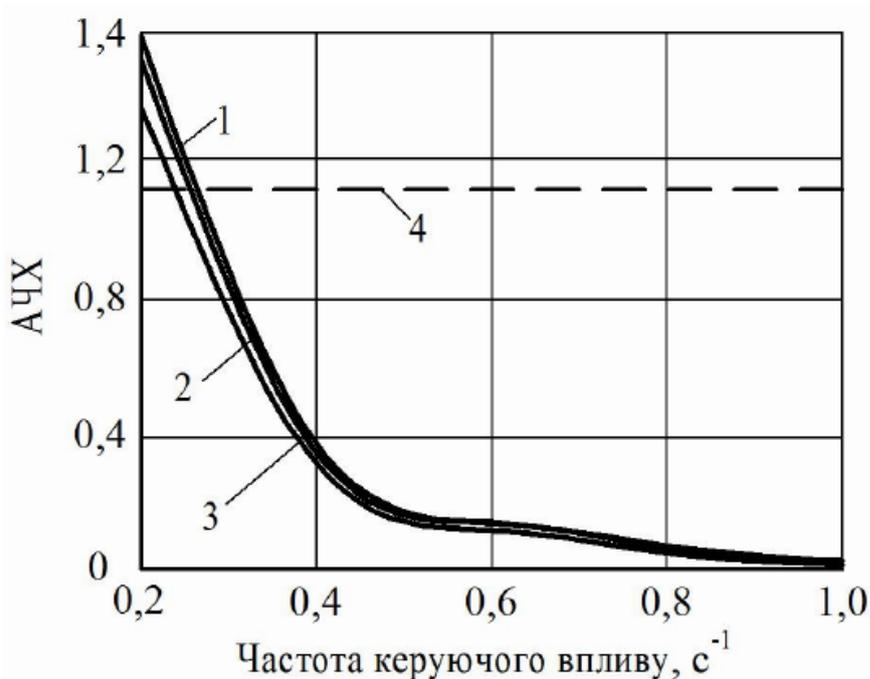


Рисунок 2.8 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різних значенням конструкційного параметру  $l_2$ : 1 – 3,15 м; 2 – 2,15 м; 3 – 4,15 м; 4 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Якщо збільшення конструкційного параметру  $a_2$  обумовлює однозначну поведінку відповідних амплітудно-частотних характеристик динамічної системи, то така ж зміна параметру  $l_2$  – ні. Так, за частоти  $\omega=0,2\text{с}^{-1}$ , наприклад, амплітудно-частотна характеристика  $f(a_2)$  є від'ємнокорельованою і майже лінійною (крива 1, рис. 2.9).

Водночас, амплітудно-частотна характеристика  $f(l_2)$  на частоті  $\omega=0,2\text{c}^{-1}$  є криволінійною і певною мірою наближеною до параболічної (крива 2, рис. 2.9). І такий характер залежності амплітудно-частотної характеристики від конструкційного параметру  $l_2$  зберігається, як впливає із аналізу рис.2.8), при збільшенні частоти коливань кута повороту керованих коліс трактора щонайменше до  $0,5\text{c}^{-1}$ .

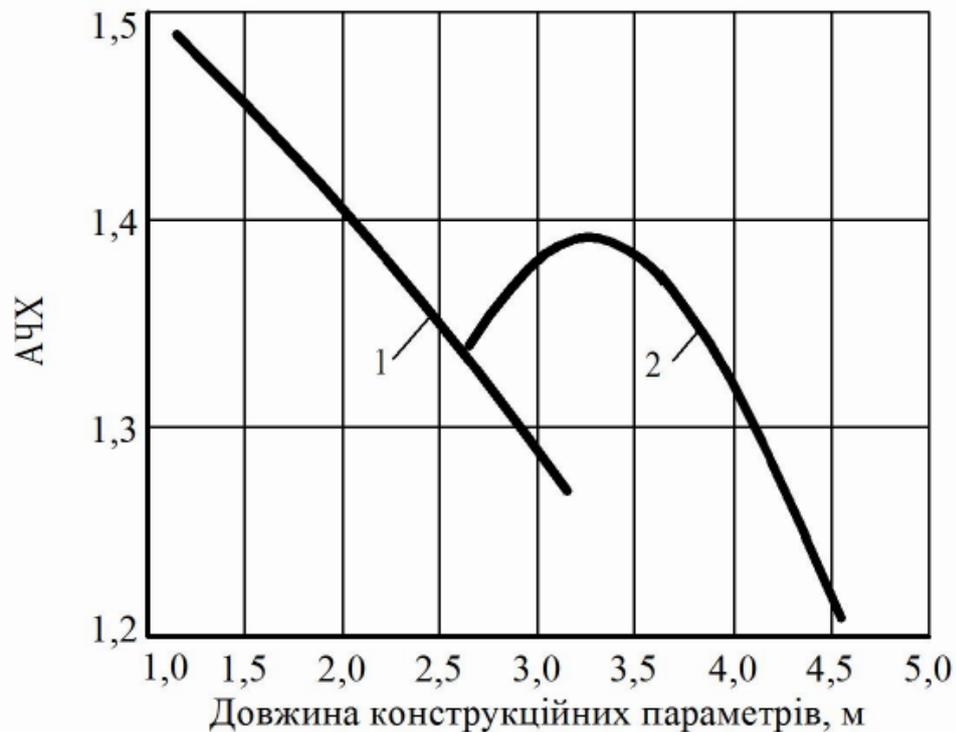


Рисунок 2.9 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу частоти  $0,2\text{c}^{-1}$  за різного значення конструкційних параметрів  $a_2(1)$  і  $l_2(2)$

Характер зміни кривої 2 (рис. 2.9) вказує на те, що при виборі конструкційного параметра  $l_2$  перевагу слід віддавати його більшим значенням. У цьому випадку значення дійсної амплітудно-частотної характеристики динамічної системи є більш близькою до 1.

Водночас, збільшення параметра  $l_2$  обумовлює поворот зернової сівалки 4 відносно тукової сівалки 2 (див. рис. 2.1) без їх зіткнення під час руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату на поворотній смузі. У підсумку це означає, що межею збільшення конструкційного

параметру  $l_2$  є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну поворотність комбінованого агрегату.

Аналіз результатів моделювання керованого руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату в горизонтальній площині показує, що вплив на цей процес конструкційних параметрів  $a_4$  і  $l_4$  (див. рис. 2.1), які конструкційних параметрів  $a_2$  і  $l_2$ , якісно і кількісно є аналогічним.

### Висновки до другого розділу

1. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині. Встановлено, що динамічна система комбінованого удобрювально-посівного агрегату є консервативною з практично відсутніми дисипативними процесами. З позиції стійкого руху розроблена математична модель його функціонування у поздовжньо-горизонтальній площині дозволяє обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри.

2. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що в залежності від поверхні оброблюваного поля частота коливань керуючого впливу – кута повороту керованих коліс комбінованого удобрювально-посівного агрегату – має знаходитися у діапазоні  $0,210...0,295\text{с}^{-1}$ . При цьому більші його значення характерні для роботи агрегату на більш розпушеному агротехнічному фоні, а менші – на більш твердому.

3. На частотах коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора менших за  $0,24\text{с}^{-1}$  бажано збільшення відстані від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас з 1,15м до 3,15м, а на частотах більших за  $0,3\text{с}^{-1}$  – небажано, оскільки динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням. Якісно схожий результат спостерігається щодо вибору довжини сниці тукової і зернової сівалок, але бажаний частотний діапазон коливань ку та повороту керованих коліс агрегатуючого трактора є дещо вужчим  $0,23...0,26\text{с}^{-1}$ . При цьому межею збільшення довжини сниці тукової сівалки є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну поворотність комбінованого агрегату.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма проведення експериментальних досліджень

Відповідно до мети і завдань роботи, визначено програму експериментальних досліджень, яка включає:

- дослідження впливу режимів роботи комбінованого агрегату на якісні показники сівби зернових культур;

- проведення експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності суміщення операцій сівби зернових культур з одночасним внесенням стартової і основної дози добрив за один прохід комбінованого агрегату.

Для цього необхідно розв'язати такі основні методичні завдання:

- обґрунтувати методику умови проведення досліджень;
- обґрунтувати методику дослідження впливу швидкості руху комбінованого агрегату та глибини сівби на якісні показники сівби;
- обґрунтувати методику визначення впливу різних схем сівби і внесення мінеральних добрив на врожайність зернових культур.

Експериментальні дослідження проводилися на дослідних ділянках СФГ «Олександр» Хмельницької області.

Об'єктом експериментальних досліджень є насіння і добрива та робочий процес внесення мінеральних добрив та сівби зернових культур запропонованим комбінованим агрегатом.

При лабораторно-польових експериментальних дослідженнях процесу сівби якості зернової культури, що висівається, вибрано ячмінь, а для кращої оцінки розподілу мінеральних добрив у борозні і з точки зору безпеки їх замінили на насіння сої.

Показником якості роботи при лабораторно-польових експериментальних дослідженнях комбінованого агрегату прийнято рівномірність розподілу насіння і мінеральних добрив по довжині рядка, коефіцієнт варіації глибини висіву насіння

зернових культур і мінеральних добрив та коефіцієнти відхилення розміщення насіння і добрив від осі рядка. При польових експериментальних дослідженнях щодо доцільності застосування у виробничих умовах запропонованого посівного агрегату в якості показника ефективності прийнято величину врожайності зернових культур в період повної зрілості.

### 3.2. Схема експериментального зразка комбінованого агрегату

Для дослідження процесу сівби зернових культур і внесення мінеральних добрив стартової і основної дози, які суміщені із сівбою зернових культур, розроблено експериментальну установку – комбінований удобрювально-посівний агрегат у складі двох зернотукових сівалок (рис. 3.1). На рис. 3.2 дано вигляд експериментальної установки під час проведення досліджень.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки

Перша сівалка даного комбінованого посівного агрегату забезпечує внутрішньогрунтове внесення необхідної основної дози мінеральних добрив на глибину 7...9 см з міжряддям 25 см, а друга – сівбу зернових культур на глибину 2...6 см з міжряддям 12,5 см із одночасним внесенням стартової дози мінеральних добрив. Отже, перша сівалка формувала висів добрив в кожен другий рядок другої сівалки, яка виконувала звичайний процес зернотукової сівалки.



Рисунок 3.2 – Експериментальна установка під час проведення досліджень

Для агрегування сівалок між собою і з трактором сконструйовано та виготовлено спеціальна зчіпка, на конструкцію якої був отриманий патент України, застосування якої дозволить забезпечувати необхідну маневреність комбінованого агрегату при роботі і транспортуванні.

Дійсна швидкість руху комбінованого посівного агрегату контролювалася під час проведення польових експериментальних досліджень за допомогою шляховимірювального колеса (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Шляховимірювальне колесо для контролю швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату

Енергетичний засіб (трактор) за своїми технічними характеристикам має забезпечувати роботу даного комбінованого удобрювально-посівного агрегату на робочих швидкостях руху 3,6 км/год. (1,0 м/с), 7,2 км/год. (2,0 м/с) та 10,8 км/год. (3,0 м/с) з забезпеченням необхідної точності дотримання швидкості руху.

### 3.3. Загальна методика експериментальних досліджень

Експериментальні польові дослідження, які визначені в програмі, передбачають застосування як стандартних, так і часткових методик:

- методику визначення умов проведення досліджень;
- методику визначення основних агротехнічних показників;
- методику проведення лабораторно-польових досліджень по визначенню впливу параметрів і режимів роботи агрегату на якість сівби;
- методику проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого посівного агрегату.

Загальна методика проведення польових експериментальних досліджень передбачала вибір необхідних приладів, устаткування, пристосування та методики, які будуть використані для фіксації та вимірюванні параметрів.

Основними засобами, які були використані при польових експериментальних дослідженнях є:

- рулетка, з точністю вимірювання 1 мм;
- лінійка металева, з точність вимірювання 1 мм;
- ваги електронні, з точністю вимірювання 0,01 г;
- твердомір Ревякіна;
- лабораторні бюкси – 30 шт.;
- шляховимірювальне колесо;
- датчик ГСП тощо.

### 3.3.1. Методика визначення умов проведення досліджень

Методика визначення умов проведення досліджень комбінованого посівного агрегату передбачає встановлення типу ґрунту, рельєфу і мікрорельєфу, вологості і твердості ґрунту та інших показників, які характеризують дослідну ділянку.

Тип ґрунту, рельєф і розмір ділянки, де проводилися експериментальні дослідження, визначалися згідно карт і даних господарства. Згідно проведеного аналізу ґрунту на дослідних ділянках встановлено його однорідність за структурою та складом і відповідність за типом чорноземам. Положення дослідних ділянок визначалися в світовій системі географічних координат із застосуванням датчика координат ГСП, який також дозволяє визначати розміри і конфігурації, а також площу дослідних ділянок.

Розміри дослідних ділянок вибиралися так, щоб забезпечити повне виконання всіх запланованих досліджень, які передбачені розробленою програмою та відповідають методиці.

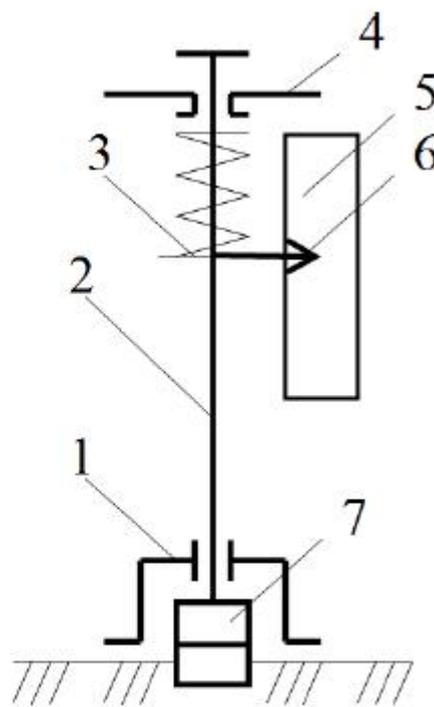
При обґрунтуванні методики визначення умов проведення експериментальних досліджень було використано стандартні методики згідно ДСТУ ISO 7256-2:2005 “Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 2. Сівалки рядкові” (ISO 7256-2:1984, IDT) та ДСТУ 7323:2013 “Сівалки тракторні. Основні показники та характеристики”.

Для визначення вологості ґрунту, що є однією із суттєвих характеристик дослідної ділянки при дослідженні процесу сівби, проводили забір проб ґрунту у лабораторні бюкси із шарів 0...5 см і 5...10 см в десятикратній повторності. Бюкси з вологим ґрунтом зважувалися на електронних лабораторних вагах з точністю вимірювань до 0,01 г. Після цього ґрунт в бюксах просушувався в сушильній шафі при температурі 105°C протягом 8 год. Після просушування та охолодження бюкси з ґрунтом повторний раз зважують і за відомими виразами визначають вологість ґрунту W%. Перевірка точності електронних лабораторних вагів здійснювали перед і після проведення досліджень згідно стандартних методик.

Твердість ґрунту вимірювали із використанням твердоміру Ревякіна (рис. 3.4) по діагоналі поля через кожні 50 м.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Твердомір Ревякіна:

а) загальний вигляд; б) схема твердоміра: 1 – опора; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – рукоятка штока; 5 – пластина; 6 – олівець; 7 – деформатор-наконечник

Засміченість дослідних ділянок визначалася до проходу агрегатів шляхом зважування бур'янів зібраних на облікових ділянках. Попередній обробіток і культуру-попередник визначали згідно сівозміни і журналу агронома.

Технологічне налаштування досліджуваного агрегату по глибині висіву насіння і глибині закладання добрив, а також норма висіву насіння та доза внесення добрив проводили у відповідності до агротехнічних вимог до сівби та особливостям на налаштувальному майданчику.

Лабораторно-польові дослідження робочого процесу агрегату проводилися при сівбі ячменю із застосуванням у якості фізичної моделі добрив насіння сої, яке за своїми властивостями дозволить якісно оцінити положення добрив у борозні рядка.

При експериментальному обґрунтуванні доцільності поєднання операцій по внесенню добрив і сівби насіння за один прохід агрегату висівали насіння ярої пшениці і ячменю.

Дослідження комбінованого удобрювально-посівного агрегату проводилися при швидкостях руху, які визначені для зазначеної операції згідно інструкції по експлуатації.

Визначення агротехнічних показників роботи агрегату передбачали контроль таких параметрів:

- робоча ширина захвату комбінованого агрегату;
- глибина висіву насіння і добрив;
- фактичну норму висіву насіння (шляхом визначення кількості насіння на 1 погонному метрі рядка);
- фактичну дозу внесення добрив за стандартною методикою.

Робоча ширина захвату комбінованого удобрювально-посівного агрегату визначалася вимірюванням рулеткою з точністю до 1 мм ширини поля, засіяного даним агрегатом за один прохід. Для цього в декількох місцях проходу комбінованого агрегату в крайніх точках встановлювали пластини, відстань між якими і є шириною захвату агрегату.

Визначення положення добрив та насіння у ґрунті виконувалося вручну, шляхом розкриття борозни (рис. 3.5). Вимірювання глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у борозни при роботі агрегату здійснювалися також шляхом розкриття борозни на відповідно означених ділянках висіву (рис. 3.6) і вимірювання за допомогою лінійки з точністю до 1 мм глибини розміщення посівного матеріалу відносно плоскої металевої лінійки, яка укладалася поверхборозни і визначало положення поверхні ґрунту. По цій величині здійснюється контроль за дотриманням встановленої величини і нерівномірність

розподілу насіння і добрив по глибині відносно встановленої величини. Це дозволило проводити корегування регульованої величини глибини ходу сошників згідно агротехнічних вимог.



Рисунок 3.5 – Визначення положення добрив та насіння у ґрунті



а)

б)

Рисунок 3.6 – Експериментальне визначення глибини розміщення у ґрунті:  
а) насіння; б) добрив

Також шляхом замірів було проведено визначення рівномірності висіву та відхилення від осьової лінії рядка шляхом розкриття борозни на відповідну довжину з використанням лінійки з похибкою 1 мм (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Експериментальне визначення параметрів висіву насіння:  
а) рівномірності висіву; б) відхилення від осьової лінії рядка

### 3.3.2. Методика обробки результатів польових дослідів

Внаслідок аналізу відомих досліджень роботи посівних агрегатів та стандартних методик, а також на основі експертної оцінки було визначено основними факторами при лабораторно польових експериментальних дослідженнях:

- швидкість руху комбінованого посівного агрегату;
- глибина висіву насіння;
- глибина закладання добрив.

На основі проведених розрахунків, попередніх досліджень та аналізу апріорної інформації встановлено рівні варіювання факторів:

- швидкість руху агрегату: нижній – 1,0 м/с (3,6 км/год), середній – 2,0 м/с (7,2 км/год), верхній – 3,0 м/с (10,8 км/год);
- глибина висіву насіння: нижній – 2 см, середній – 4 см, верхній – 6 см;
- глибина закладання мінеральних добрив: нижній – 7 см, середній – 8 см, верхній – 9 см.

Експериментальні дослідження були реалізовані по стандартній матриці  $2 \times 3$  [29, 30, 31]. Кількість дослідів – 9. Повторність дослідів визначалася згідно

встановленої методики [29, 30, 31] для забезпечення необхідної точності досліджень і складають не менше 3.

При проведенні обробки результатів експериментальних досліджень було використано пакети прикладних програм EXCEL, STATISTICA v 10.0 та MathCAD.

3.4. Методика проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності сумісності технологічних операцій за один прохід агрегату

Для обґрунтування доцільності сумісності операцій сівби зернових культур із внесенням основної та стартової дози мінеральних добрив одним комбінованим агрегатом було поставлено польовий дослід [29, 30, 31] у виробничих умовах на дослідних полях при сівбі ярої пшениці і ячменю.

Для експериментальної сівби на даному полі було виділено ділянки, які засівали протягом одного дня за схемами:

– схема 1 – з передпосівним обробітком ґрунту без внесення гранульованих мінеральних добрив (контроль);

– схема 2 – з суцільним поверхневим внесенням стартової дози добрив, передпосівною культивацією і сівбою насіння з одночасним внесенням у ґрунт основної дози добрив;

– схема 3 – стандартний передпосівний обробіток ґрунту і сівба насіння з одночасним внесенням у ґрунт стартової і основної дози добрив.

Комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат були налаштовані на задану глибину закладення насіння у борозну, норму висіву насіння і дозу внесення мінеральних добрив згідно даних агрономічної служби.

При проведенні польових експериментальних досліджень контрольованою величиною визначено врожайність зернових культур, яку визначали шляхом укладання на відповідних ділянках поля рамки розміром 1 м × 1 м і зважуванням окремо складових отриманого врожаю. Отримане значення врожайності

порівнювалося із величиною врожаю, яка отримане при збиранні всього врожаю самохідним зернозбиральним комбайном САМПО.

### **Висновки до третього розділу**

1. Обґрунтовано загальну методику експериментальних досліджень комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, який призначений для сівби зернових культур із суміщенням в одному проході: внесення стартової і основної дози гранульованих мінеральних добрив.

2. Описано методику по визначенню умов проведення експериментальних польових досліджень і основних агротехнічних показників оцінки якості роботи даного агрегату із використанням метрологічного обладнання з достатньою точністю вимірювання, а також методику обробки отриманих дослідних даних.

Розроблена методика проведення експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності суміщення технологічних операцій в одному проході комбінованого агрегату згідно запропонованої схеми. Дана схема застосовується для різних варіантів внесення добрив, у тому ж числі із застосуванням комбінованого агрегату.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ

Експериментальні дослідження проводилися відповідно до прийнятої методики (розділ 3) і склалися з двох етапів:

- проведення лабораторно-польових досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату на якість сівби;
- проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій внесення стартової дози добрив та сівби зернових культур із внесенням основної дози мінеральних добрив за один прохід комбінованого удобрювально-посівного агрегату.

##### 4.1. Результати експериментальних досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого посівного агрегату на якість сівби

Протягом першого етапу лабораторно-польових експериментальних досліджень було проведено дослідження впливу параметрів і режимів роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату на показники якості сівби ячменю з одночасним внесенням у ґрунт стартової і основної дози мінеральних добрив.

При цьому прийнято основними факторами глибину висіву насіння і добрив, а також робочу швидкість поступального руху агрегату. Глибина висіву насіння приймалася 2 см, 4 см та 6 см, глибина висіву добрив – 7 см, 8 см та 9 см, а швидкість руху машинно-тракторного агрегату – 1,0 м/с, 1,5 м/с та 2,0 м/с (тобто, відповідно 3,6 км/год, 5,4 км/год та 7,2 км/год).

Якісним показником роботи було прийнято коефіцієнти варіації (в %) розміщення насіння і мінеральних добрив вздовж рядка (борозни), відхилення насіння і добрив відносно осі рядка та глибини укладання насіння і добрив у борозну. При цьому для контролю розміщення мінеральних добрив у борозні висівалося насіння сої.

Польові дослідження проводилися при сівбі ячменю на ділянках з попередньою оранкою і передпосівною культивуацією. Умови проведення досліджень наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Умови проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень

Показник	Значення
Попередній обробіток	передпосівна культивуація
Тип ґрунту	чорнозем
Рельєф поля	рівний
Мікрорельєф	вирівняний
Вологість ґрунту, %: у шарі 0...5 см у шарі 5...10 см	21,3...22,6 23,4...24,6
Твердість ґрунту, МПа: у шарі 0...5 см у шарі 5...10 см	0,26...0,48 1,43...1,64
Забур'яненість поля, г/кв. м	11

Ґрунтово-кліматичні умови при дослідженні комбінованого посівного агрегату були типовими для Хмельницької області.

Оцінка якості виконуваного технологічного процесу комбінованим посівним агрегатом проводилася шляхом розгортанням рядків після висіву і вимірюванням відстані між насінням в рядку, відхилення положення насіння і добрив в борозні відносно осі рядка та глибини висіву насіння і закладання добрив.

При цьому, гребенистість поверхні поля після проходження агрегату коливається в межах 2,4...5,7 см, а після проростання встановлена відносна польова схожість складає до 87%. В цілому, в процесі досліджень встановлено, що комбіновані посівні агрегати мають задовільну якість виконання технологічного процесу, процес протікав стійко, без забивання висіваючих апаратів і сошників.

Результати досліджень оброблялися і подаються у вигляді наступних функціональних залежностей:

– рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка (рис. 4.1, 4.2, 4.3):

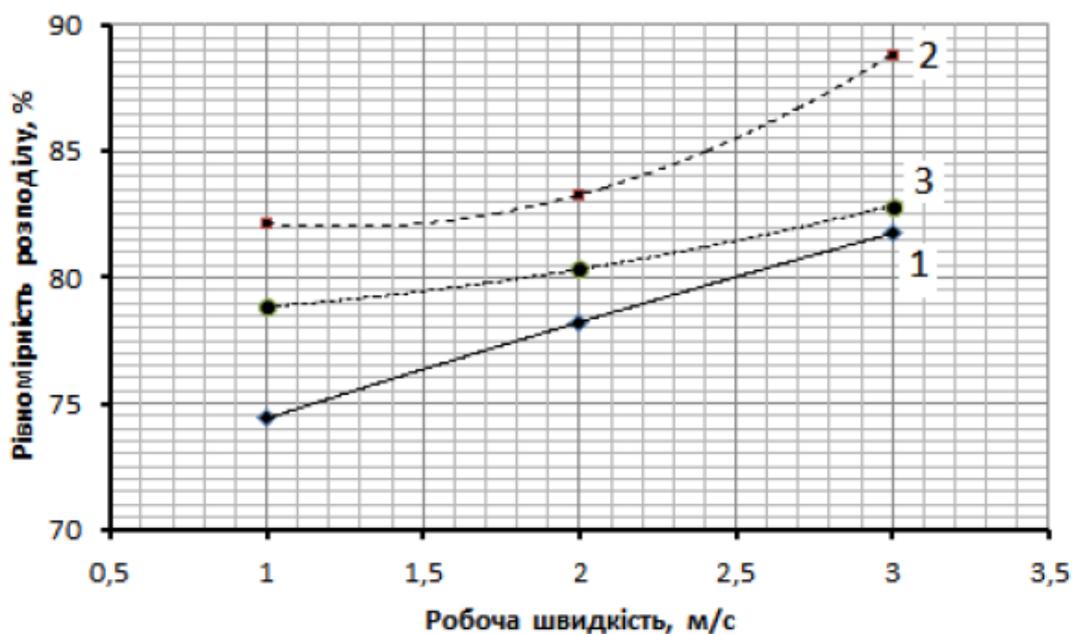


Рисунок 4.1 – Залежність рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині висіву насіння: 1 – при  $H = 2$  см; 2 – при  $H = 4$  см; 3 – при  $H = 6$  см

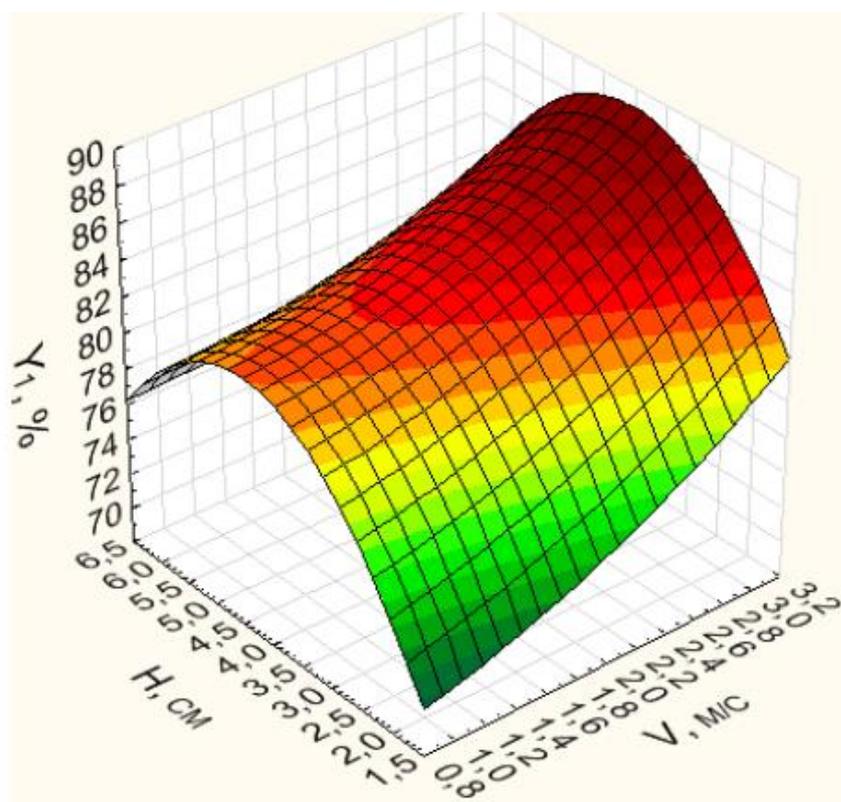
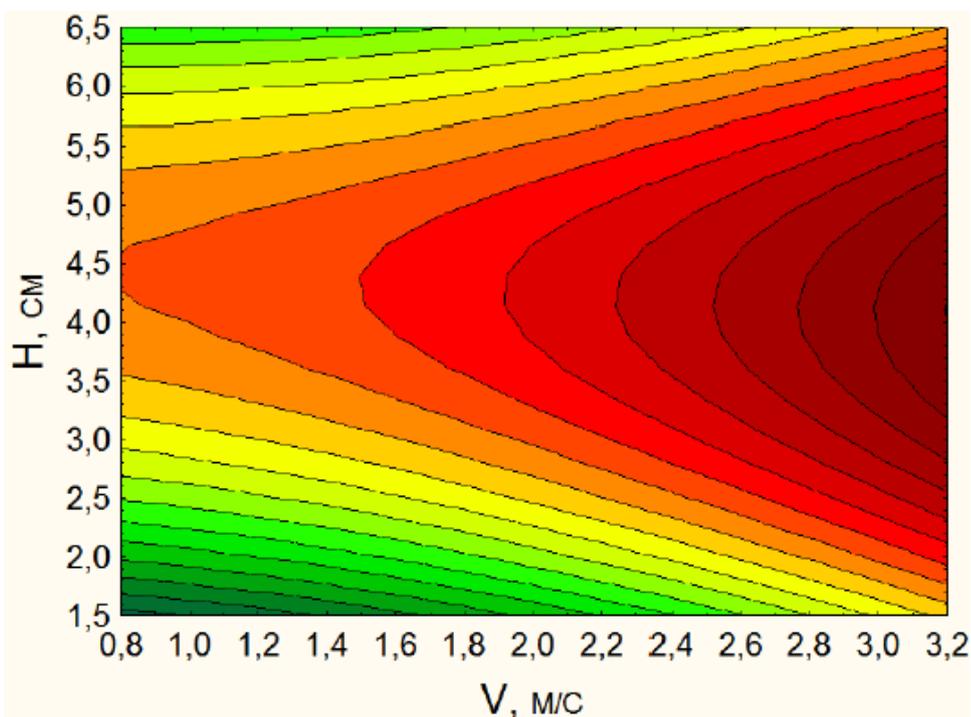


Рисунок. 4.2 – Поверхня відгуку залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибині висіву насіння

Таким чином, отримані данні польових експериментальних досліджень, в цілому, узгоджуються з результатами, що отримані попередніми дослідниками [32].



Рисуну 4.3 – Двомірний переріз залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

На основі аналізу отриманих графічних залежностей (рис. 4.1, 4.2, 4.3) можна зробити висновок, що про зростання рівномірності висіву насіння із збільшенням швидкості поступального руху удобрювально-посівного агрегату, але при збільшенні глибини висіву насіння від 2 см до 4 см цей показник якості роботи збільшуватиметься, а при подальшому збільшенні глибини – рівномірність зменшуватиметься.

Зазначена залежність описуватиметься рівнянням регресії у виді поліному другої степені наступного вигляду:

$$YI = 54,33 + 1,21 V + 12,1783 H + 0,865 V V - 0,4163 V H - 1,3388 H H. \quad (4.1)$$

– рівномірності розподілу мінеральних добрив (насіння сої) вздовж рядка (рис. 4.4, 4.5, 4.6):

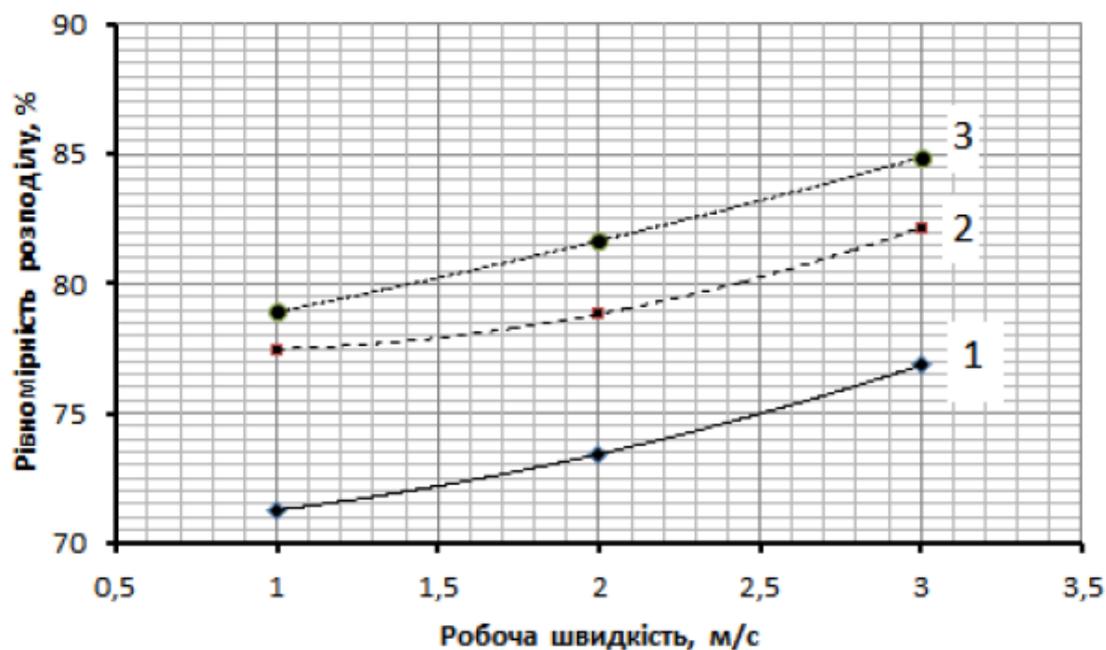


Рисунок 4.4 – Залежність рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різних глибинах закладання добрив у ґрунт: 1 –  $H = 7\text{см}$ ; 2 –  $H = 8\text{см}$ ; 3 –  $H = 9\text{см}$

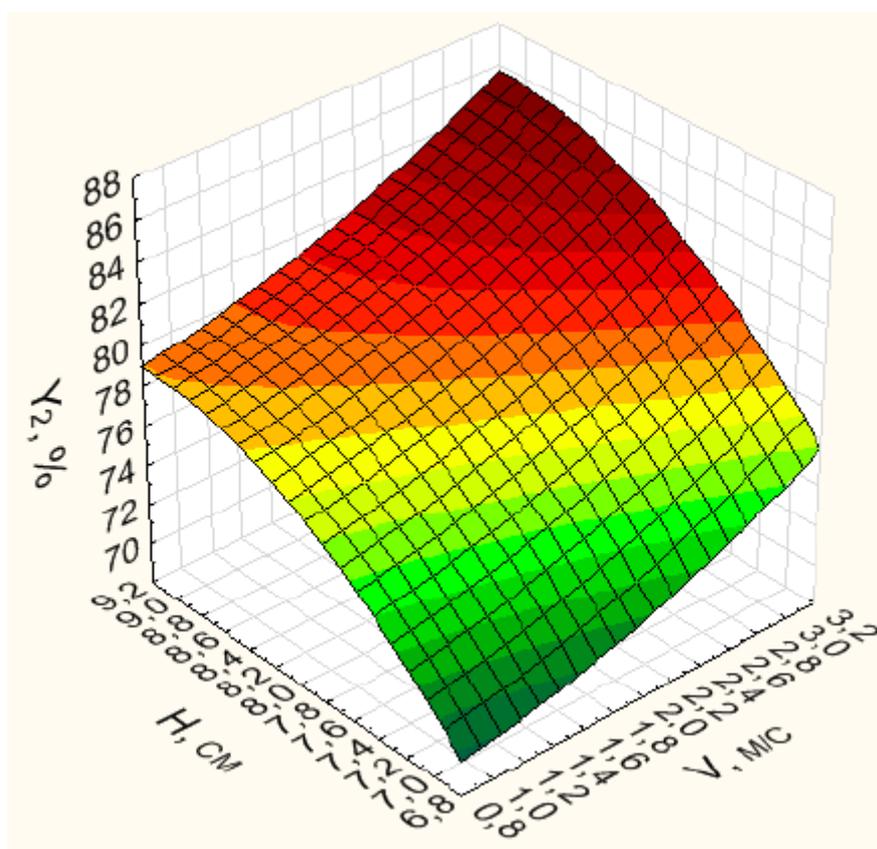


Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку залежності рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

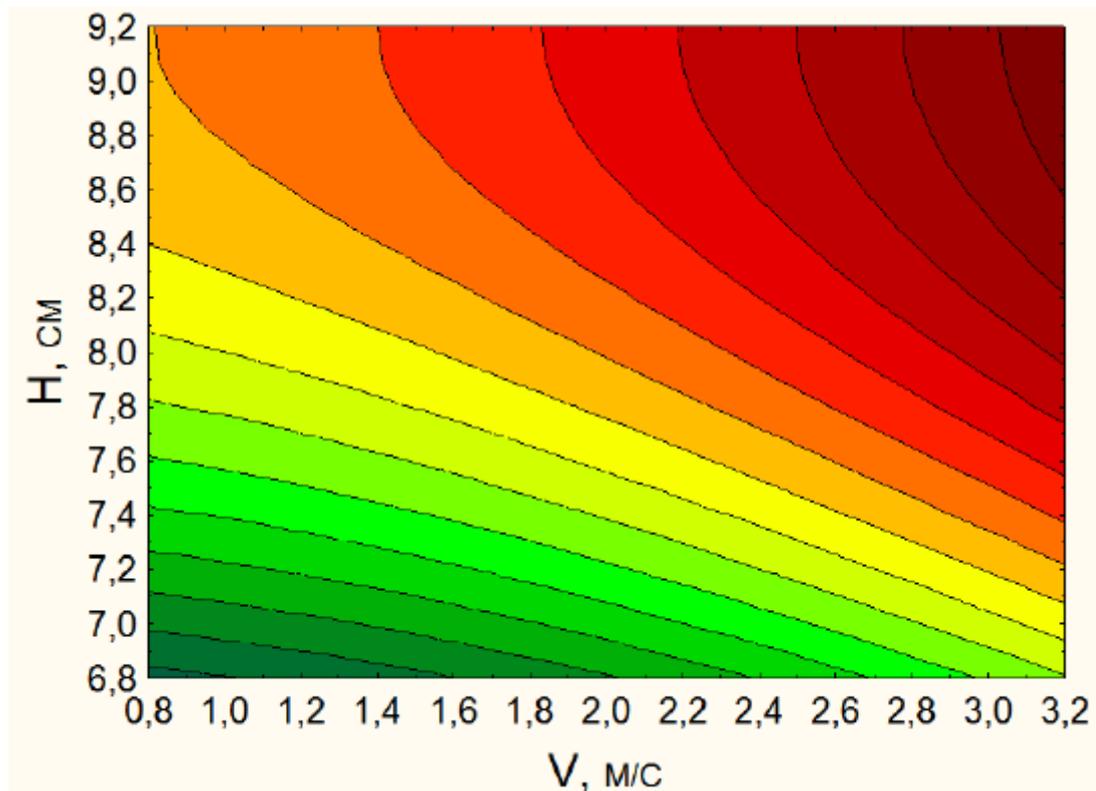


Рисунок 4.6 – Двомірний переріз залежності рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт.

В результаті досліджень (рис. 4.4, 4.5, 4.6) встановлено, що із збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт рівномірність їх розподілу на дні борозни збільшуватиметься.

Рівняння регресії, що описуватиме цю залежність, матиме такий вигляд:

$$Y_2 = -60,6811 - 0,4867 V + 30,41 H + 0,6167 V V + 0,09 V H - 1,6633 H H. \quad (4.2)$$

– коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю (рис. 4.7, 4.8, 4.9):

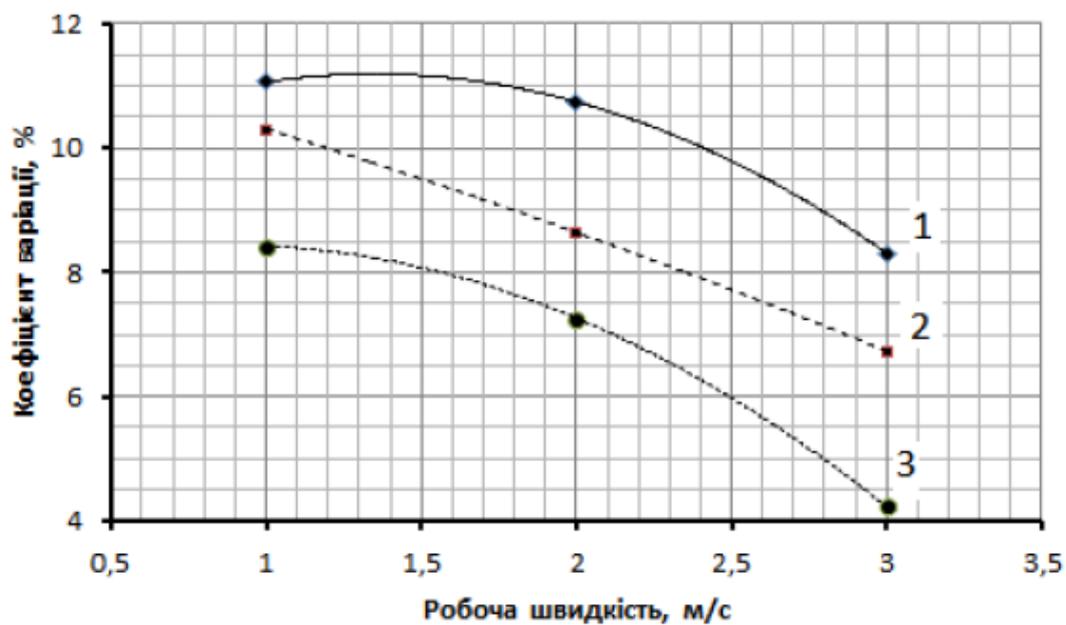


Рисунок 4.7 – Залежність коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині висіву насіння: 1 –  $H = 2$  см; 2 –  $H = 4$  см; 3 –  $H = 6$  см

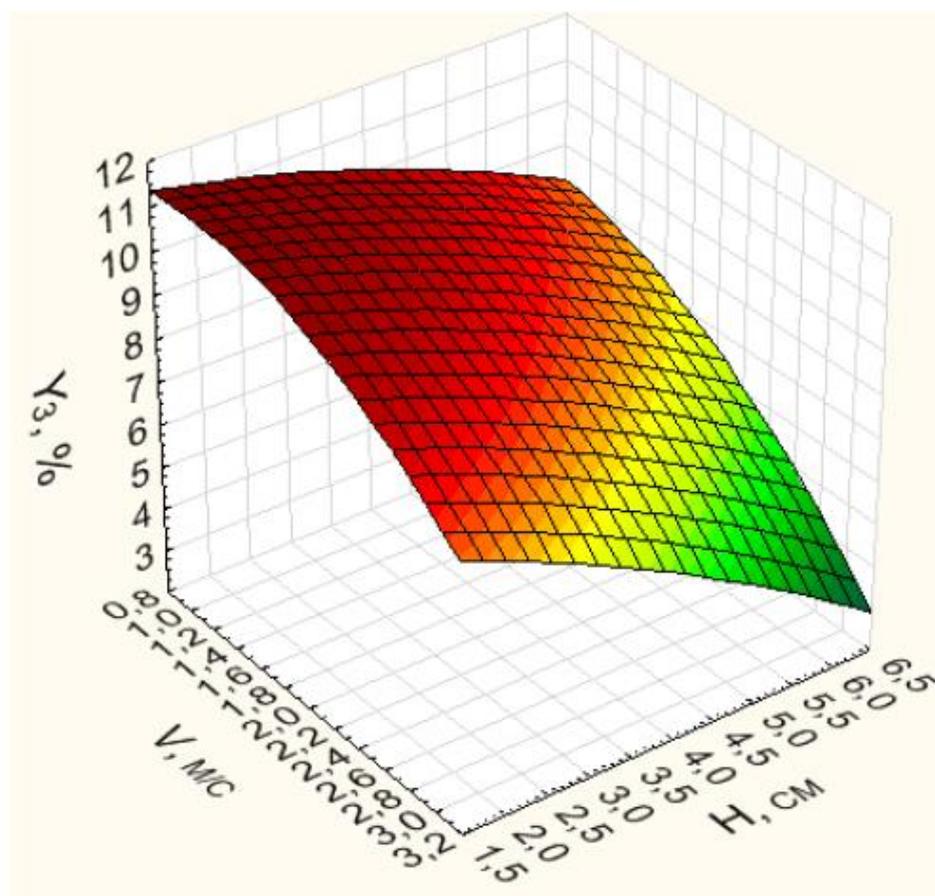


Рис. 4.8 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

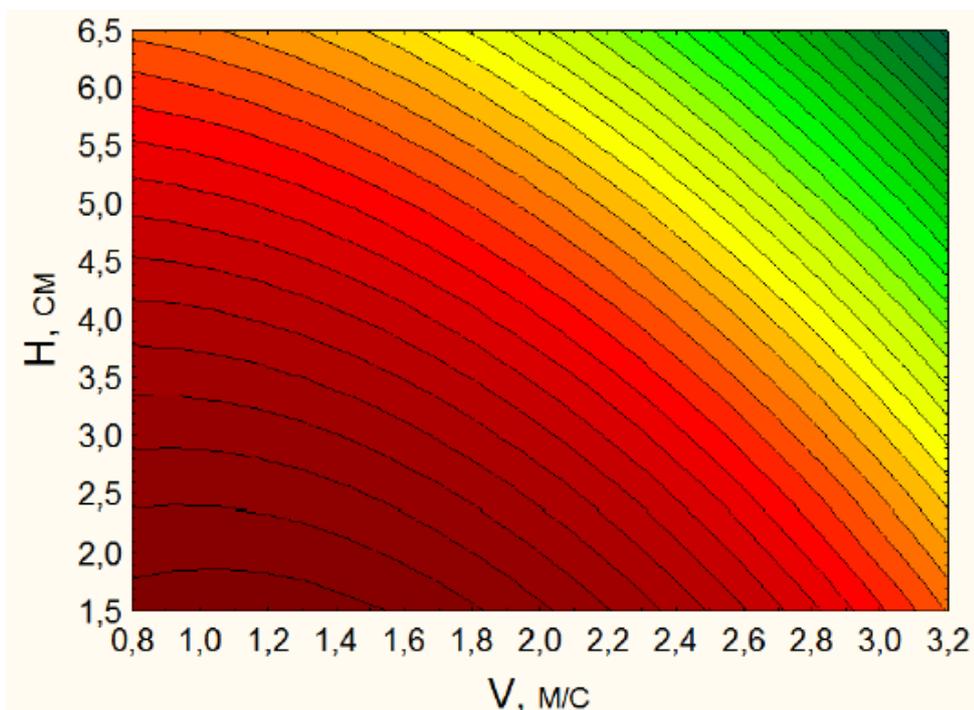


Рисунок 4.9 – Двомірний переріз залежності коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

Аналіз одержаних результатів (рис. 4.7, 4.8, 4.9) визначають зменшення відхилення глибини висіву насіння від встановленого із збільшенням швидкості руху агрегату і глибини висіву насіння.

Функціональна залежність для даного випадку матиме наступний вигляд:

$$Y_3 = 10,79 + 1,7883 V - 0,05 H - 0,705 V V - 0,18 V H - 0,055 H H \quad (4.3)$$

– коефіцієнту варіації глибини висіву мінеральних добрив (насіння сої) (рис. 4.10, 4.11, 4.12):

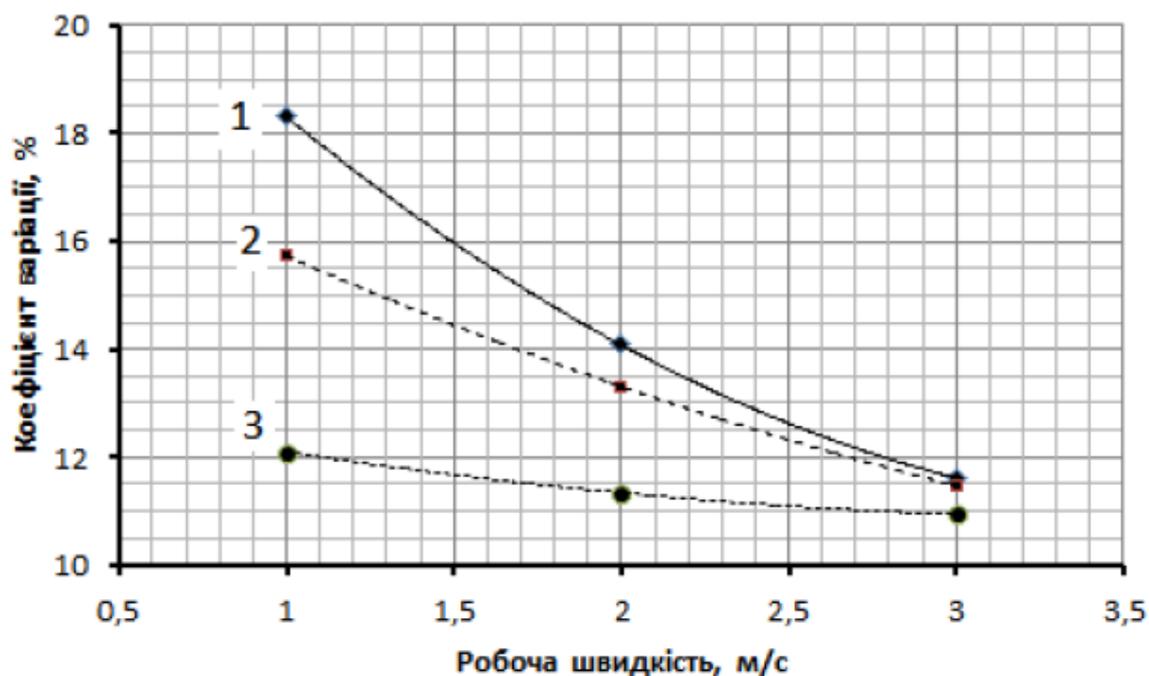


Рисунок 4.10 – Залежність коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині закладання добрив у ґрунт: 1 –  $H = 7$  см; 2 –  $H = 8$  см; 3 –  $H = 9$  см

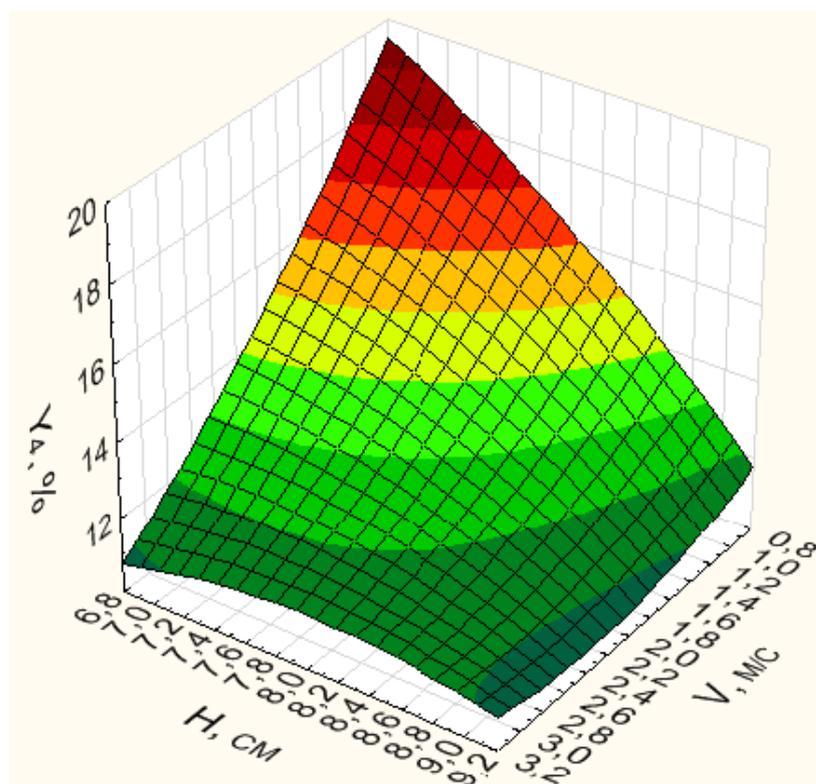


Рисунок 4.11 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

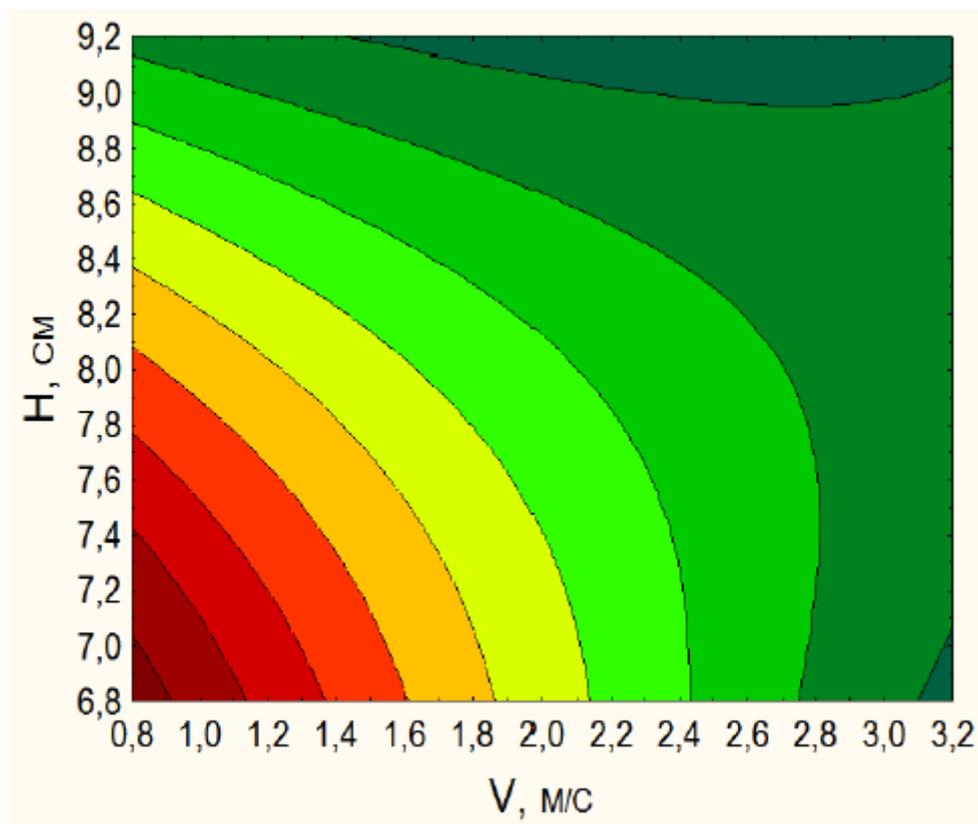


Рисунок 4.12 – Двомірний переріз залежності коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

Аналогічно як і для насіння ячменю, зменшення відхилення глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт від встановленого досягається збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт (рис. 4.10, 4.11, 4.12).

Рівняння регресії цієї залежності матиме такий вигляд:

$$Y_4 = 25,7444 - 14,89 V + 2,6967 H + 0,4533 V V + 1,3825 V H - 0,4417 H H. \quad (4.4)$$

– коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю (рис. 4.13, 4.14, 4.15):

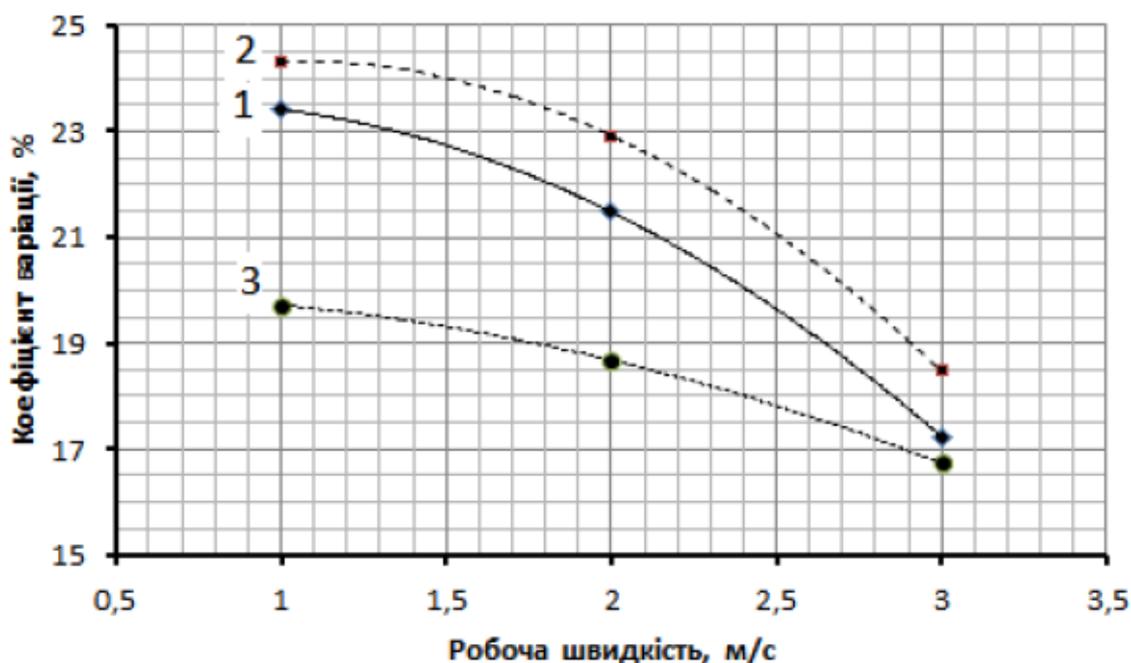


Рисунок 4.13 – Залежність коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині висіву насіння: 1 –  $H = 2\text{см}$ ; 2 –  $H = 4\text{см}$ ; 3 –  $H = 6\text{см}$

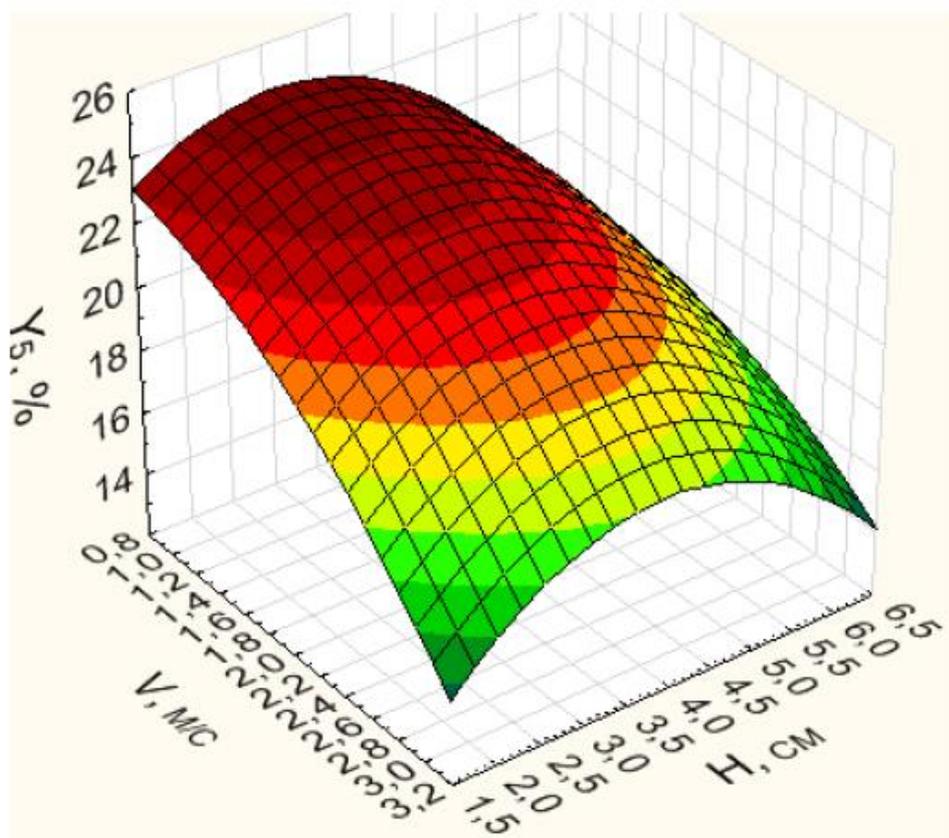


Рисунок 4.14 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

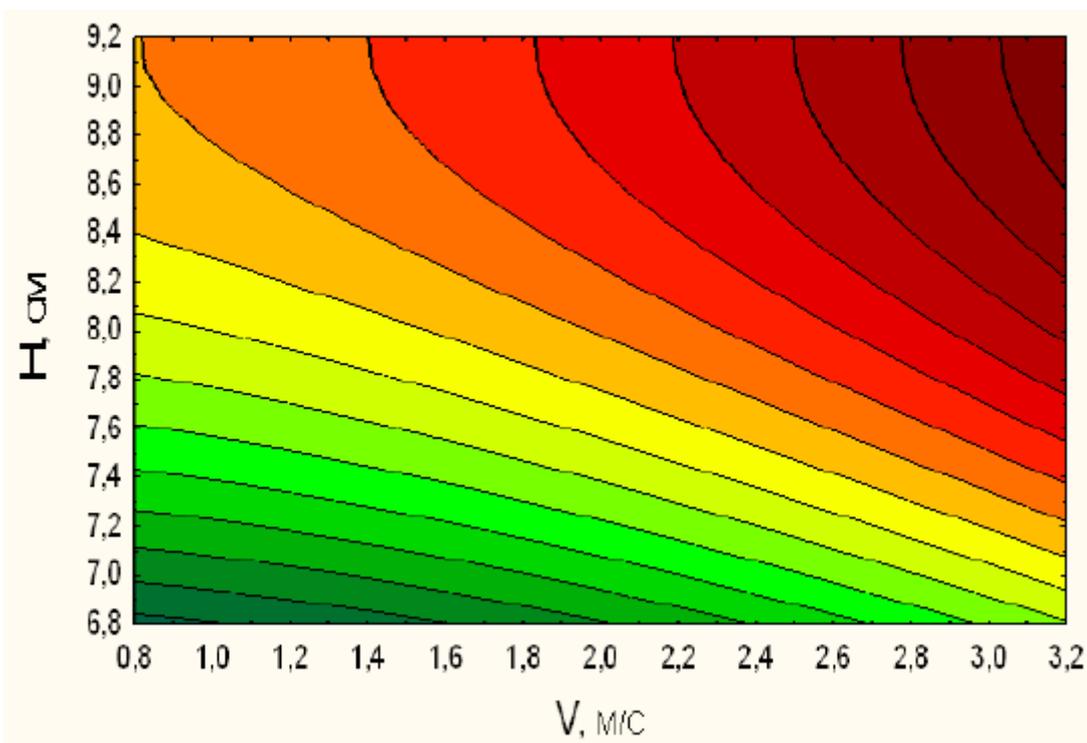


Рисунок 4.15 – Двомірний переріз залежності варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

Результати досліджень (рис. 4.13, 4.14, 4.15) визначають зниження коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю із збільшенням швидкості удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Але зі збільшенням глибини висіву від 2 см до 4 см коефіцієнт варіації зростає, а при подальшому збільшенні глибини – коефіцієнт варіації зменшується.

Рівняння регресії цієї залежності представлено у наступному вигляді:

$$Y_5 = 19,5111 + 0,07 V + 3,3433 H - 1,0417 V V + 0,3987 V H - 0,5904 H H. \quad (4.5)$$

– коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) (рис. 4.16, 4.17, 4.18):

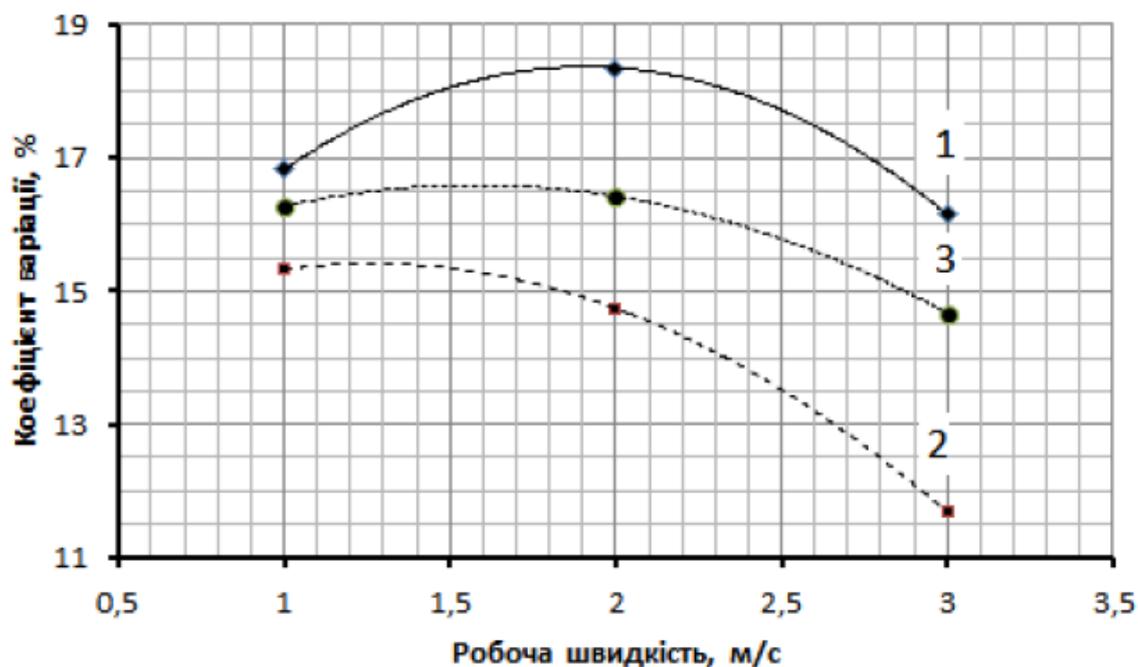


Рисунок 4.16 – Залежність коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині закладання добрив у ґрунт: 1 –  $H = 7\text{см}$ ; 2 –  $H = 8\text{см}$ ; 3 –  $H = 9\text{см}$

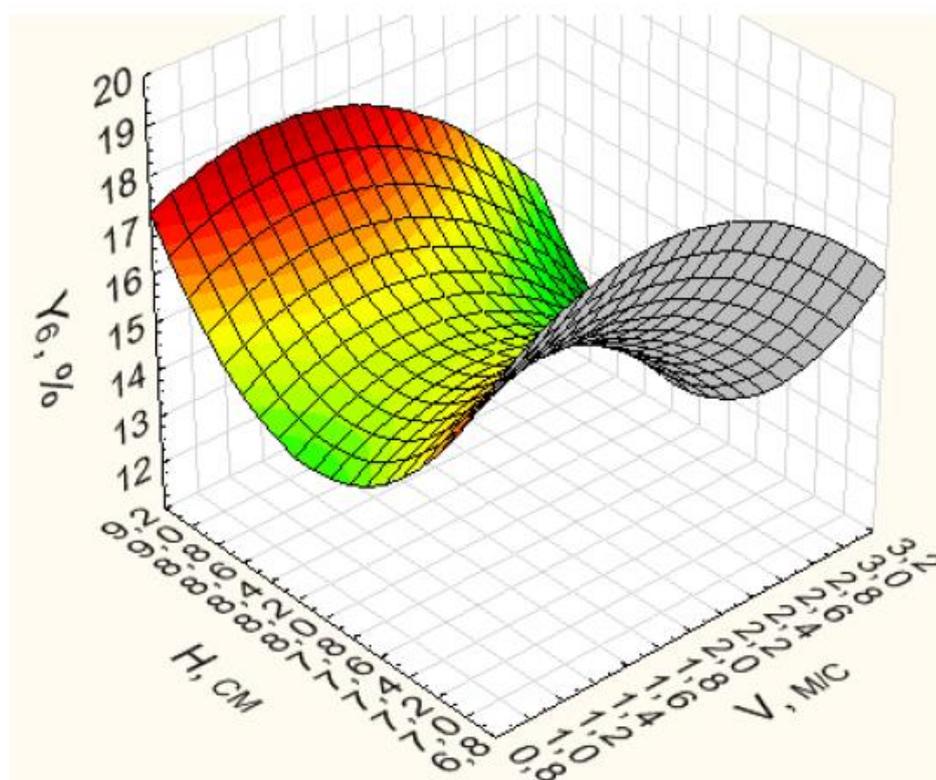


Рисунок 4.17 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

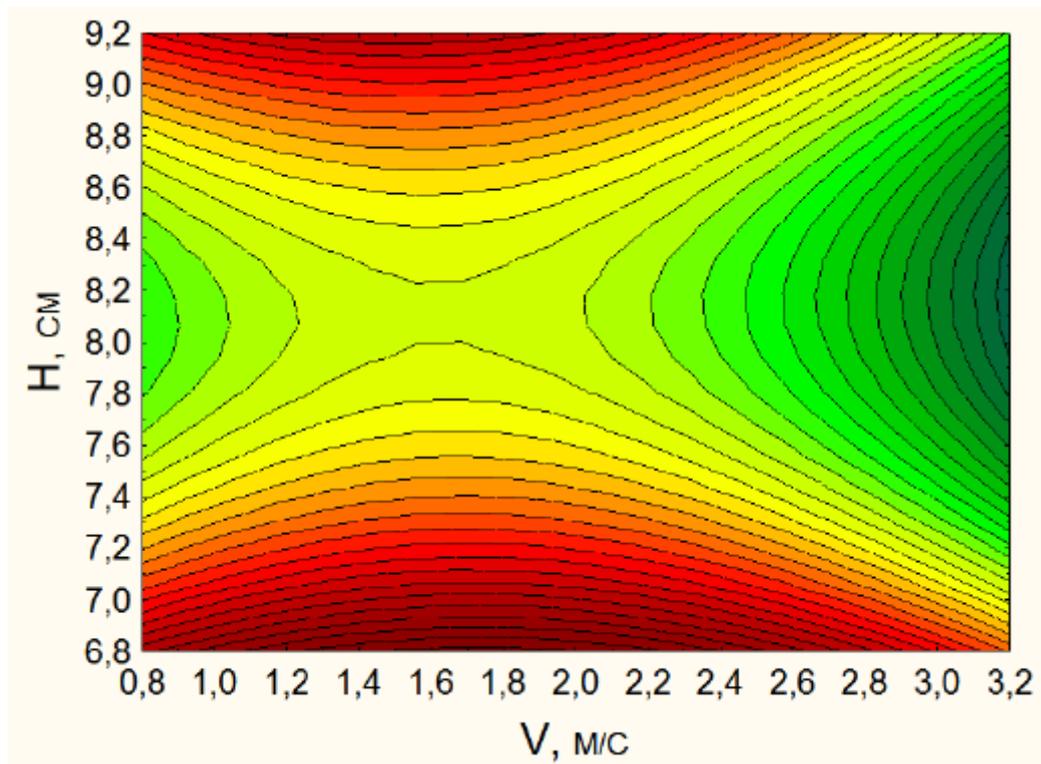


Рисунок 4.18 – Двомірний переріз залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

Рівняння регресії для цієї залежності матиме такий вигляд:

$$Y_6 = 175,0711 + 6,2817 V - 40,7283 H - 1,3517 V V - 0,2325 V H + 2,5333 H H. \quad (4.6)$$

Наведені графічні (рис. 4.1 – 4.18) і функціональні залежності (4.1) – (4.6) визначають зменшення коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка добрив (насіння сої) із збільшенням швидкості руху агрегату. Але збільшення глибини закладання насіння із 7 см до 8 см призводить до зменшення коефіцієнту варіації, при збільшенні глибини до 9 см – коефіцієнт варіації збільшуватиметься. Зазначені емпіричні математичні моделі (4.1) – (4.6), які описують зміну показників якості сівби комбінованим удобрювально-посівним машинно-тракторним агрегатом, адекватні в факторному просторі:  $V \in [1,0 \dots 3,0]$  м/с,  $H \in [2 \dots 9]$  см.

На основі факторного аналізу одержаних рівнянь регресії (4.1) – (4.6) встановлено, що раціональними значеннями швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є 2,5...3,0 м/с, глибини висіву насіння – 4...5 см і глибини закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

#### 4.2. Результати експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

При обґрунтуванні доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату на початковому етапі були проведені польові порівняльні експериментальні дослідження якісних показників роботи стандартної сівалки (базовий варіант) і досліджуваного удобрювально-посівного агрегату (модернізований варіант).

Дослідження проводилися при сівбі ячменю. Умови проведення польових експериментальних досліджень наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Умови проведення польових експериментальних досліджень

Показник	Значення
Попередній обробіток	передпосівна культивуація
Тип ґрунту	чорнозем
Рельєф поля	рівний
Мікрорельєф	вирівняний
Вологість ґрунту, %: у шарі 0...5 см у шарі 5...10 см	17,4...18,7 20,1...22,3
Твердість ґрунту, МПа: у шарі 0...5 см у шарі 5...10 см	0,20...0,35 1,38...1,57
Забур'яненість поля, г/кв. м	13

На основі результатів лабораторно-польових експериментальних досліджень встановлено раціональні значення параметрів виконання процесу:

глибина висіву насіння – 5 см, глибина висіву добрив – 8 см і швидкість руху удобрювально-посівного агрегату – 10 км/год (2,78 м/с).

Показниками якості виконання операцій прийнято коефіцієнт варіації глибини висіву насіння (%), рівномірність розподілу насіння в рядку (%) та схожість насіння (%).

Для цього в процесі сівби піднімалися загортачі і шляхом вимірювання в п'яти точках поля з п'ятикратною повторністю контролювали глибину висіву насіння і кількість насінин на 1 погонному метрі рядка.

Після отримання сходів (рис. 4.19) розкривався рядок в п'яти точках поля і визначали кількість пророщеного та не пророщеного насіння.

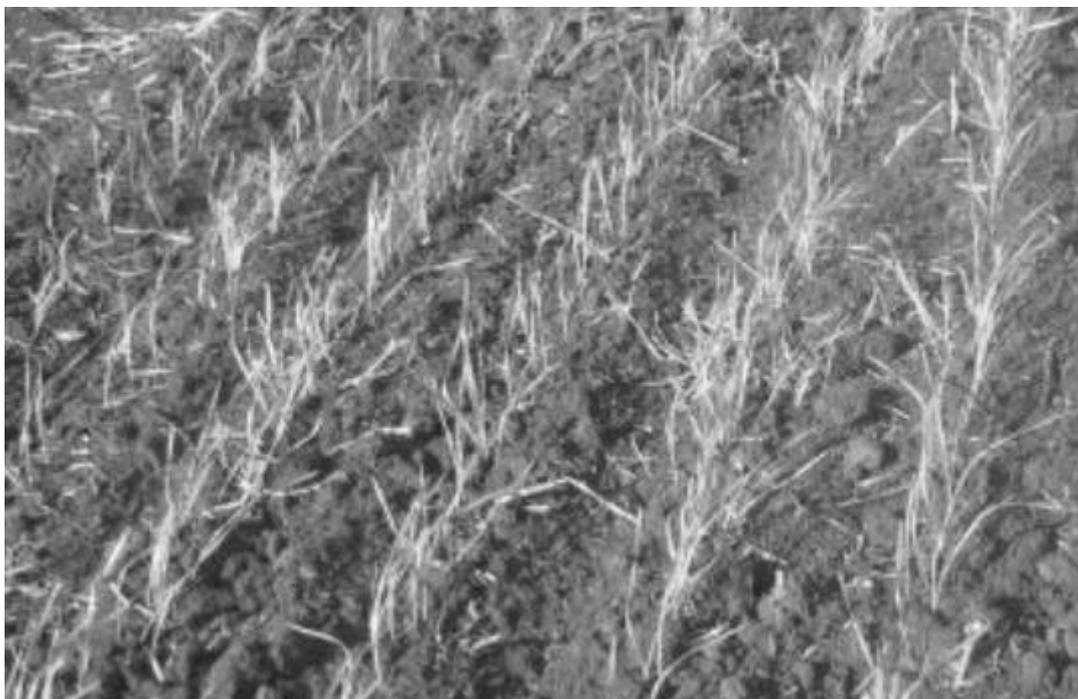


Рисунок 4.19 – Стан посівів в період визначення схожості

При дослідженнях в польових умовах встановлено можливість огрівів взаємного розміщення рядків проходів двох сівалок даного удобрювально-посівного агрегату внаслідок недосконалої конструкції зчіпки.

Результати досліджень занесені до таблиці. 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння показників якості сівби

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Модернізований варіант
Коефіцієнт варіації глибини висіву насіння	%	8,2	4,7
Рівномірність розподілу насіння в рядку	%	63,8	84,9
Схожість насіння	%	80,4	87,3

Також були проведені дослідні ділянки, на яких виконувалася сівба ярої пшениці і ячменю за трьома основними схемами:

- 1) сівба після культивації без внесення добрив (контроль = схема I);
- 2) суцільне внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом + передпосівна культивація + комбінована сівба з одночасним внесення основної норми добрив (схема II);
- 3) передпосівна культивація + комбінована сівба дослідним посівним агрегатом з одночасним внесення стартової і основної норми добрив (схема III).

Оцінку ефективності проводили по величині врожайності (ц/га), що визначали за стандартною методикою в період повної зрілості шляхом їх ручного збирання із площі, яка обмежується рамкою (1 м) × (1 м) і зважуванням.

Результати дослідів наведені у вигляді діаграм (рис. 4.20, 4.21).

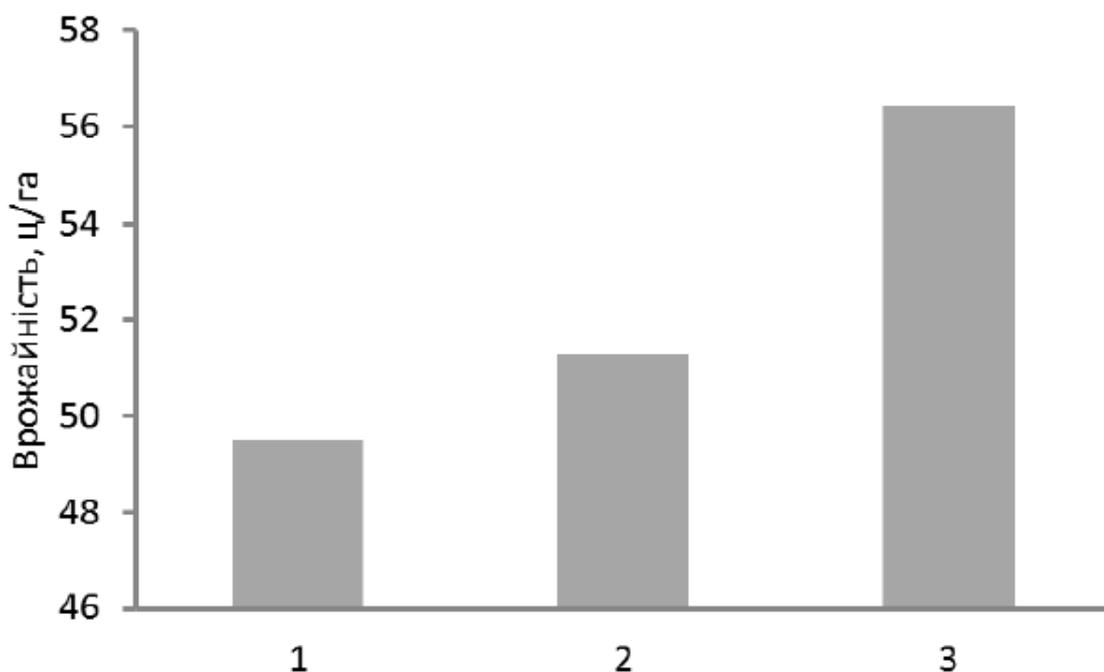


Рисунок 4.20 – Діаграма врожайності ярої пшениці при сівбі за прийнятими схемами

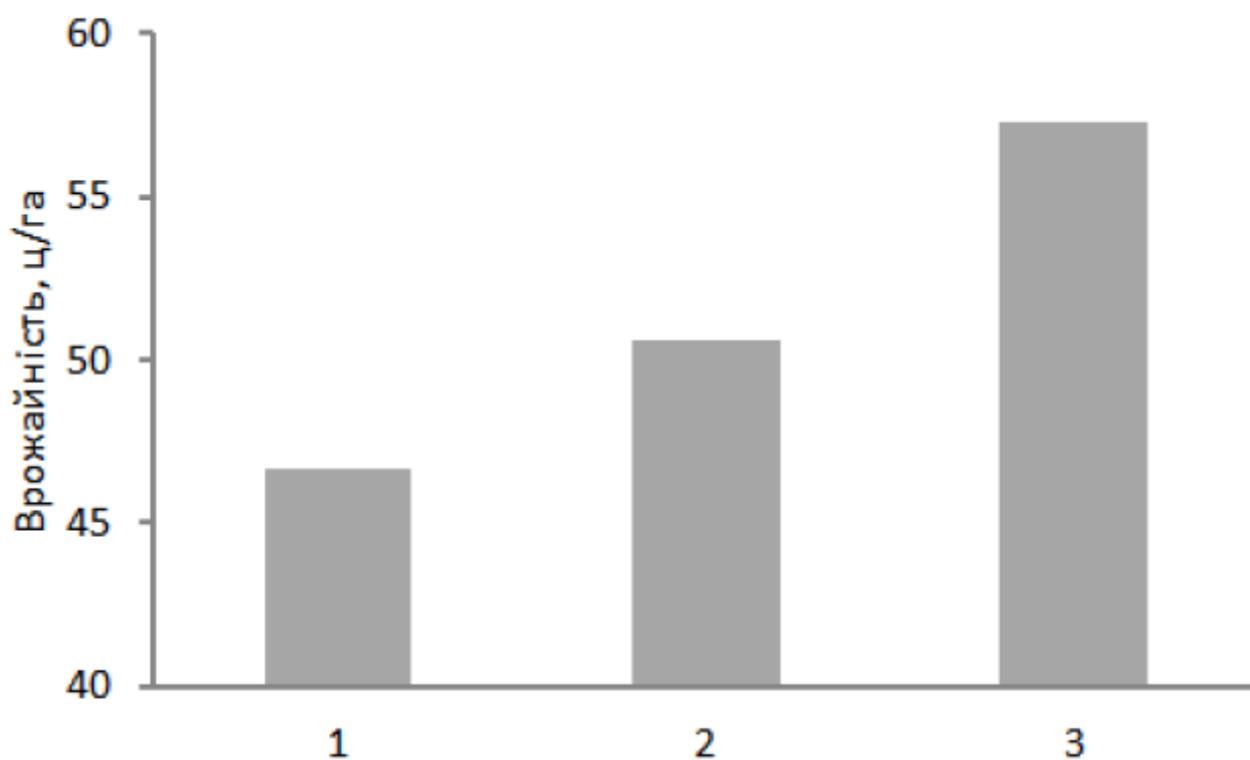


Рисунок 4.21 – Діаграма врожайності ячменю при сівбі за прийнятими схемами

В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням

стартової і основної дози мінеральних добрив врожайність ярої пшениці складає 56,4 ц/га, а ячменю – 57,3 ц/га. При цьому, у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивації та комбінованої сівби з одночасним внесення основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га. Збільшення ж врожайності при модернізованій схемі сівби у порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив складає відповідно для ярої пшениці – 6,9 ц/га, а для ячменю – 10,6 ц/га.

При проведенні польових експериментальних досліджень шляхом хронометражу та спеціально проведених вимірювань із застосуванням рулетки були також визначені деякі маневрові та експлуатаційні показники даного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, значення яких занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технологічні та експлуатаційні показники комбінованого удобрювально-посівного агрегату

Показник	Значення
Радіус повороту, м	6,5...8,9
Тривалість розвороту, с	18,4...24,7
Середня швидкість на поворотній смузі, м/с	1,78
Середнє відхилення траєкторії другої сівалки відносно траєкторії першої, см: при повороті при робочому ході	23,7 3,6
Питомі витрати палива, л/га	3,77
Коефіцієнт використання часу зміни	0,85

Як бачимо з даних таблиці 4.4 радіус повороту даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату не перевищує 9 м, що заперечить петльові його повороти, а відхилення траєкторії другої сівалки відносно першої також має незначну величину і складає 23,7 см.

Зазначені результати польових експериментальних досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

### **Висновки до четвертого розділу**

1. На основі проведених лабораторно-польових експериментальних досліджень впливу швидкості руху комбінованого посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої норми та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка отримано рівняння регресії та обґрунтовано раціональні значення параметрів сівби насіння ячменю комбінованим удобрювально-посівним машинно-тракторним агрегатом:

- швидкість руху агрегату – 2,5...3,0 м/с;
- глибина висіву насіння – 4...5 см;
- глибина закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

2. В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасного сівби із внесенням стартової і основної норми мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми добрив. У порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 6,9 ц/га, а ячменю – на 10,6 ц/га.

3. Отримані результати польових досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій сівби насіння зернових культур із внутрішньогрунтовим внесенням стартової і основної норми добрив в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування комбінованого посівного агрегату визначалися згідно стандартних методик [33], а також ДСТУ 4397:2005 “Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування”, ДСТУ 4387:2005 “Трактори та машини сільськогосподарські. Методи економічної оцінки” тощо.

Для розрахунку економічної ефективності за базовий варіант приймемо технологію із застосуванням напівпричіпного розкидача гранульованих мінеральних добрив МВУ-5, який агрегується з трактором МТЗ-82.1, а для реалізації сівби – зерно-тукову сівалку Астра-3,6 виробництва “Елворті” з трактором МТЗ-82.1.

За модернізований варіант приймемо комбінований посівний агрегат у складі двох зерно-тукових сівалок Астра-3,6 з трактором МТЗ-82.1.

Прямі експлуатаційні витрати  $C$  (грн/га) визначаються як сума затрат на оплату праці –  $C_1$ , на паливо-мастильні матеріали –  $C_2$ , на реновацію машини і енергетичного засобу (трактора) –  $C_3$ , а також на їх ремонт і технічне обслуговування –  $C_4$ .

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \text{ грн/га.} \quad (5.1)$$

Складові прямих експлуатаційних витрат визначаються:

– на оплату праці:

$$C_1 = \frac{\sum L_i C T_i}{W_3}, \text{ грн/га,} \quad (5.2)$$

$L_i$  – кількість робітників відповідного класу, зайнятих на цій роботі, люд.;

$C T_i$  – погодинна ставка робітника цього класу, грн/год. люд.;

$$C_2 = N q n \zeta_{\Pi}, \text{ грн/га,} \quad (5.3)$$

де  $n$  – коефіцієнт використання потужності трактора ( $n = 0,8$ );

$C_{II}$  – комплексна вартість пального, грн/кг.

Прийmemo при розрахунку ціну 1 л дизельного пального для сільгоспвиробників – 60 грн/л.

$$C_3 = \frac{B_T a_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M a_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.4)$$

де  $a_T, a_M$  – норма відрахувань на реновацію трактора і машини ( $a_T = a_M = 16,6\%$  або  $0,166$ ).

$$C_4 = \frac{B_T b_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M b_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.5)$$

де  $b_T, b_M$  – норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування трактора і машини ( $b_T = 34\%$  або  $0,34$ ,  $b_M = 15\%$  або  $0,15$ ).

Тоді, приведені експлуатаційні витрати розраховуються таким чином:

$$П = e \cdot K + C, \text{ грн/га,} \quad (5.6)$$

де  $e$  – нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ( $e = 0,15$ );

$K$  – розмір капітальних вкладень, грн/га.

$$K = \frac{B_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.7)$$

де  $B_T, B_M$  – балансова вартість трактора і машин, грн;

$Q_M$  – сезонне навантаження машин, га.

Тоді, загальний економічний ефект від впровадження комбінованого посівного агрегату визначається як сума зменшення прямих експлуатаційних затрат модернізованого варіанту у порівнянні з базовим та ефект від зростання врожайності при цьому

$$E_{заг} = (П_{\delta} - П_{м}) - E_{\delta\delta\delta}, \text{ грн/га,} \quad (5.8)$$

де  $П_{\delta}, П_{м}$  – приведені експлуатаційні затрати базового і модернізованого варіантів, грн/га;

$E_{\delta\delta\delta}$  – додатковий ефект від застосування агрегату, грн/га.

Визначається як добуток приросту врожайності на закупівельну ціну 1 ц зерна.

При цьому прийmemo ціну 1 ц зерна ярої пшениці – 520 грн, а ячменю – 455 грн.

Результати розрахунків, проведених згідно вказаних залежностей та прийнятих показників, занесемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку показників економічної ефективності

Показник	Базовий варіант		Модернізований варіант
	– розкидання добрив	– сівба	
Продуктивність, га/год.	12	2,52	2,52
Питома витрата палива, л/га	2,12	2,94	3,77
Затрати на оплату праці, грн/га	3,77	5,46	5,46
Затрати на ПММ, грн/га	41,72	57,86	74,19
Затрати на реновацію, грн/га	61,44	95,49	138,33
Затрати на ремонт і ТО, грн/га	62,53	119,64	184,64
Сумарні прямі експлуатаційні затрати, грн/га	169,46	278,65	402,62
Розмір капітальних вкладень, грн/га	370,34	575,54	1009,09
Приведені експлуатаційні витрати, грн/га	225,01	364,98	553,98
Зменшення приведених експлуатаційних витрат, грн/га	36,00		
Економічний ефект від збільшення врожайності, грн/га	2652,00/3048,50		
Загальний економічний ефект, грн/га	2688,00/3084,50		

### Висновки до п'ятого розділу

Отже, в результаті розрахунків встановлено, що загальний економічний ефект від використання комбінованого посівного агрегату із урахуванням ефекту від збільшення врожайності складає 2688,00 грн/га при вирощуванні ярої пшениці і 3084,50 грн при вирощуванні ячменю.

Виробнича перевірка і впровадження причіпного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату здійснено на площі 120 га у СФГ «Олександр» Хмельницької області.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У кваліфікаційній роботі наведене нове вирішення наукового завдання, суть якого полягає у підвищенні техніко-економічних показників роботи двомашинного комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби зернових культур із внесенням у ґрунт основної і стартової норми гранульованих мінеральних добрив шляхом обґрунтування його схеми його схеми та конструктивно-технологічних параметрів. На основі проведених досліджень зроблено такі основні висновки.

1. Підвищення ефективності використання основної дози мінеральних добрив доцільно здійснювати шляхом її розміщення у ґрунті нижче одночасно висіяного насіння у вигляді стрічки, тобто в зоні розміщення кореневої системи зернових культур. Для практичної реалізації цього напрямку потрібний комбінований двомашинний удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат, конструкція якого забезпечувала б підвищення техніко-економічних показників роботи.

2. Обґрунтована схема удобрювально-посівного агрегату включає агрегатуєчий трактор, сівалку для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив, до рами якої шарнірно приєднана сниця сівалки сільськогосподарських культур. Завдяки такому виконанню комбінованого агрегату для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур стартова доза мінеральних добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині тому у вологому ґрунті, що забезпечує їх розчинення і ефективне використання рослинами.

3. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині.

Встановлено, що динамічна система комбінованого удобрювально-посівного агрегату є консервативною з практично відсутніми дисипативними процесами. З позиції стійкого руху розроблена математична модель його функціонування у поздовжньо-горизонтальній площині дозволяє обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри.

4. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що в залежності від поверхні оброблюваного поля частота коливань керуючого впливу – кута повороту керованих коліс комбінованого удобрювально-посівного агрегату – має знаходитися у діапазоні  $0,210 \dots 0,295 \text{ с}^{-1}$ . При цьому більші його значення характерні для роботи агрегату на більш розпушеному агротехнічному фоні, а менші – на більш твердому.

5. На частотах коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора менших за  $0,24 \text{ с}^{-1}$  бажано збільшення відстані  $a_2$  від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас з  $1,15 \text{ м}$  до  $3,15 \text{ м}$ , а на частотах більших за  $0,3 \text{ с}^{-1}$  – небажано, оскільки динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням. Якісно схожий висновок можна зробити і стосовно вибору довжини сніці тукової і зернової сівалок. Відміна при цьому полягає у тому, що бажаний частотний діапазон коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора є дещо вузьким  $0,23 \dots 0,26 \text{ с}^{-1}$ . При цьому межею збільшення довжини сніці тукової сівалки є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну поворотність комбінованого агрегату.

6. За результатами лабораторно-польових експериментальних досліджень, які були проведені на розробленій експериментальній установці згідно прийнятої методики, отримано математичні моделі впливу швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка. Згідно аналізу отриманих результатів було обґрунтовано раціональні значення параметрів сівби насіння ячменю комбінованим удобрювально-посівним агрегатом: швидкість

руху агрегату – 2,5...3,0 м/с; глибина висіву насіння – 4...5 см; глибина закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

7. В результаті польових досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми добрив розкидним способом, передпосівної культивації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми мінеральних добрив. У порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 6,9 ц/га, а ячменю – на 10,6 ц/га відповідно. Отримані результати польових досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій сівби насіння зернових культур із внутрішньогрунтовим внесенням основної і стартової норми мінеральних добрив в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

8. Загальний економічний ефект від використання комбінованого удобрювально-посівного агрегату із урахуванням ефекту від збільшення врожайності складає 2688,00 грн/га при вирощуванні ярої пшениці і 3084,50 грн/га при вирощуванні ячменю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наумов Ю.Ф., Усенко А.В. Енергоспоживання в Україні. Організаційно-економічні проблеми розвитку АПК: Колективна монографія у чотирьох частинах / Заред. П.Т. Саблука. Київ : ІАЕ, 2011. С. 321-323.
2. Бондар С.М., Мельник І.І. Основні проблеми машиновикористання в сучасних технологіях обробітку ґрунту Полісся України. Науковий вісник НАУ, Вип. 33. Київ : НАУ. 2000. С. 101-107.
3. Наумов Ю.Ф., Усенко А.В. Деякі аспекти енергопотреби в сучасних умовах. Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, «Єлтон-2». – 2011, № 9. С. 34-37.
4. Наумов Ю.Ф., Усенко А.В. Енергозбереження в сільському господарстві України. Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол.: Д.О. Мельничук та ін. Вип. 44. Київ : НАУ, 2011. Ч.4 : Ціноутворення та інфраструктура ринку. С. 229-231.
5. Усенко А.В. Тенденції та закономірності енергоспоживання в сільському господарстві Луганської області. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, «Єлтон-2». 2013, №11. С. 167-169.
6. Усенко А.В. Нормування витрат сукупної енергії при вирощуванні овочевих культур. Економіка АПК. 2013, № 10. С. 96-97.
7. Наумов Ю.Ф., Усенко А.В. Стан і шляхи покращення енергетичної ефективності виробництва продукції АПК. Проблеми ефективного функціонування АПК в умовах нових форм власності та господарювання: Кол. монографія в двох томах / за ред. : П.Т. Саблука, В.Я. Амбросова, Г.Є. Мазнева. Київ : ІАЕ, 2011. Т.1. С. 321-324.
8. Бондар С.М., Мельник І.І. Основні проблеми машиновикористання в сучасних технологіях обробітку ґрунту Полісся України. Науковий вісник НАУ, Вип. 33. Київ : НАУ. 2000. С. 101-107.

9. Павлишин М. Комбіновані енергетичні системи з нетрадиційними джерелами енергії. Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. 2009, №1. С. 10-13.
10. Самородов В., Надикто В. Перспективний напрямок створення комбінованих та ширококозахватних МТА. Техніка АПК. 2006, №4. С. 6-9.
11. Перспективи використання комбінованих машинно-тракторних агрегатів / В. Кюрчев та ін. Наукове видання. Варна (Болгарія), 2013. Т. XXI, Вип. 5 (142). С. 104-108.
12. Кюрчев В.М., Панченко А.І., Надикто В.Т. Комбіновані машинно-тракторні агрегати на базі трактора ХТЗ-120. Техніка АПК. 2003. №8. С. 13-14.
13. Абдула С.Л., Надикто В.Т. Використання трактора ХТЗ-120 у складі комбінованих агрегатів. Вісті академії інженерних наук України. 2004. №1. С. 19-22.
14. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160. Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. 2010. №12. С. 9-12.
15. Надикто В. Комбіновані агрегати перед рушієм. FARMER. 2010. №6. С. 80-82.
16. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160. Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. 2010. №12. С. 9-12.
17. Кюрчев В. Ґрунтообробні агрегати на основі тракторів ХТЗ. Пропозиція. 2007. № 10. С. 84-95.
18. Бондар С.М. Моделювання комплексів машин для основного обробітку ґрунту в системі сівозмін: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11. УААН. Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сільськ. госп." (ННЦ "ІМЕСГ"). Глеваха, 2005. 22 с.
19. Чорна Т.С. Математична модель асиметричного просапного агрегату. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 8, т. 2 Мелітополь: ТДАТУ, 2008. С. 136-146.
20. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації. Техніка і технології в АПК. 2011, №9. С. 8-11.

21. Адамчук В.В. Дослідження руху комбінованого посівного агрегату з одночасним унесенням мінеральних добрив. Вісник аграрної науки, 2015, № 3. С. 27-32.
22. Адамчук В.В., Петриченко Є.А. Теоретичне дослідження плоскопаралельного руху комбінованого посівного агрегату. Загальнодержавний збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства” ННЦ “ІМЕСГ”, Вип. №2 (101), Глеваха, 2015. С. 13-21.
23. Адамчук В.В., Петриченко Є.А. Теорія руху причіпного комбінованого посівного агрегату. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”, Вип. 163, Харків, 2015. С. 195-212.
24. Петриченко Є.А. Розробка конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь : ТДАТУ, 2016. вип. 6, Том 3. С. 178-184.
25. Петриченко Є.А. Дослідження агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою. Вісник аграрної науки, 2017, № 1. С. 68-71.
26. Петриченко Є.А. Результати експериментальних досліджень нового комбінованого машинно-тракторного агрегату. Всеукраїнський науково-технічний журнал : Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017, Випуск 1 (96). С. 24-29.
27. Петриченко Є.А. Експериментальне дослідження показників роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату. Вісник аграрної науки, 2017, № 4. С. 70-73.
28. Theory of movement of the combined seeding unit / Hristo Beloev, Boris Borisov, Valerii Adamchuk, Ivgenii Petrychenko. Agriculture and Agricultural Science

- Procedia. Volume 7 (2015) Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, (Gembloux, Belgium). p.p. 21-26.
29. Study plane-parallel motion movement combined seeding unit / V. Adamchuk, I. Petrychenko, M. Korenko, H. Beloev, B. Borisov. MECHANIZATION IN AGRICULTURE. International scientific, scientific applied and informational journal. Year LXI, ISSN 0861-9638, issue 2/2015, Bulgaria, Sofia. p.p. 3-6.
  30. Патент України №110432, МПК А01С 21/00. Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою сільськогосподарських культур / В.В. Адамчук, В.А. Насонов, О.Ф. Говоров, Є.А. Петриченко, В.К. Мойсеєко. 201408883; заявл. 06.08.2014; опубл. 25.12.2015. Бюл. № 24.
  31. Study of plane-parallel motion of machine combination / Valerii Adamchuk, Ievgenii Petrychenko, Jüri Olt, Alexander Liyvaruu. Proceedings of the 3rd International Conference “Optimization and Analysis of Structures” III. Tartu, Estonia, August 23-25, 2015. Editors: J. Lellep, E. Puman. p.p. 10-16.
  32. Петриченко Є.А. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого посівного та удобрювального машинно-тракторного агрегату. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Підготовка ґрунту в системі ресурсозберігаючих технологій”. Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 34-35.
  33. Петриченко Є.А. Польові випробування агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції за результатами досліджень 2015 року “Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК”. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. С. 131-132.
  34. Петриченко Є.А. Експериментальні дослідження нового агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою. Тези доповідей Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБіП, 2017. С. 24-25.

35. Грушецький С.М., Здоровик О.А. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Матеріали V Всеукр. наук.-прак. конф., “Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь” : зб. наук. праць / за заг. ред. С.С. Добранський. Житомир : АТК, 2019. С. 48-51.
36. Грушецький С.М., Здоровик О.А. Схема експериментального зразка комбінованого агрегату. Матеріали XIII Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, “Перші наукові кроки – 2019” : зб. наук. праць / за заг. ред. Ю.І. Панцира, Т.Л. Білик, О.М. Семенова. – Кам’янець-Подільський, 2019. – С. 33.
37. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
38. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
39. Левицька Ю. О. та ін. Основи агрономії. Київ : Аграрна освіта, 2008. 382 с.
40. Кравченко М. С. Томашевський З. М. Практикум із землеробства. Київ : Мета, 2003.
41. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярового в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Аналітичний огляд та результати дослідження : монографія. Суми : Унів. кн., 2007. 228 с.
42. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівному обробітку. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
43. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
44. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.
45. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
46. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам’янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.

47. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І.Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
48. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
49. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового вирощування». 2-ге видання доп. і перероб. І. М. Бендера, та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
50. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.
51. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю. І. Панцир, А. В. Рудь, В. І. Дуганець, В. І. Дуганець, С. П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.

## ДОДАТОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
 КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ І СИСТЕМОТЕХНІКИ  
 ІМЕНІ МИХАЙЛА САМОКИША



## Кваліфікаційна робота

на тему:

### «ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ»

здобувач вищої освіти освітнього ступеня «Магістр»  
 освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
 спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання  
**ФУГ Дмитро Михайлович**

Науковий керівник:  
 кандидат технічних наук, доцент  
**ГРУШЕЦЬКИЙ Сергій Миколайович**

м. Кам'янець-Подільський, 2025 р.

2

## МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Метою дослідження** є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів. Для досягнення сформульованої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- розробити математичну модель функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату у складі агрегатуючого трактора і послідовно начеплених позаду двох сівалок;
- провести числове моделювання на ПК складеної системи диференціальних рівняння руху комбінованого машинно-тракторного агрегату і визначити його оптимальні конструктивні і кінематичні параметри;
- провести експериментальні дослідження комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та визначити його експлуатаційно-технологічні параметри;
- розробити рекомендації з вибору режимів роботи та провести техніко-економічне обґрунтування застосування машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур;
- здійснити впровадження результатів проведеного дослідження для отримання відповідного економічного ефекту.

**Об'єкт дослідження** – процес функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу схеми, конструктивно-технологічних і кінематичних параметрів на плоскопаралельний рух та експлуатаційно-технологічні показники роботи комбінованого машинно-тракторного агрегату.

### АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ КОМБІНОВАНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

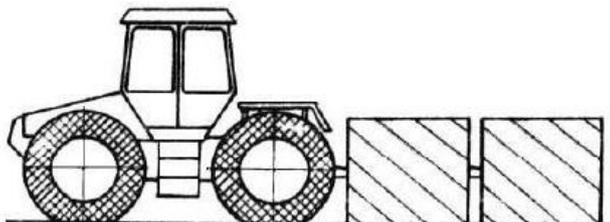


Рисунок 1 – Комбінований агрегат, що складається шляхом послідовного з'єднання одноопераційних машин за допомогою зчпних пристроїв

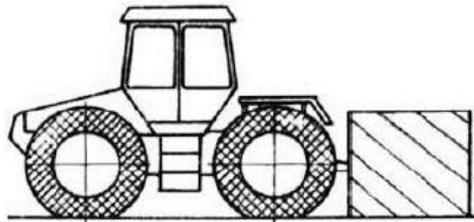


Рисунок 2 – Комбінована машина, що має загальну раму, на якій встановлені різні за призначенням робочі органи

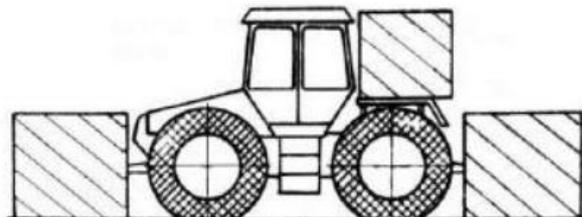
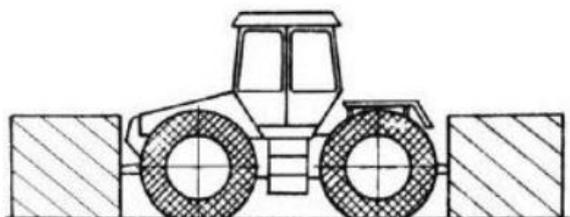
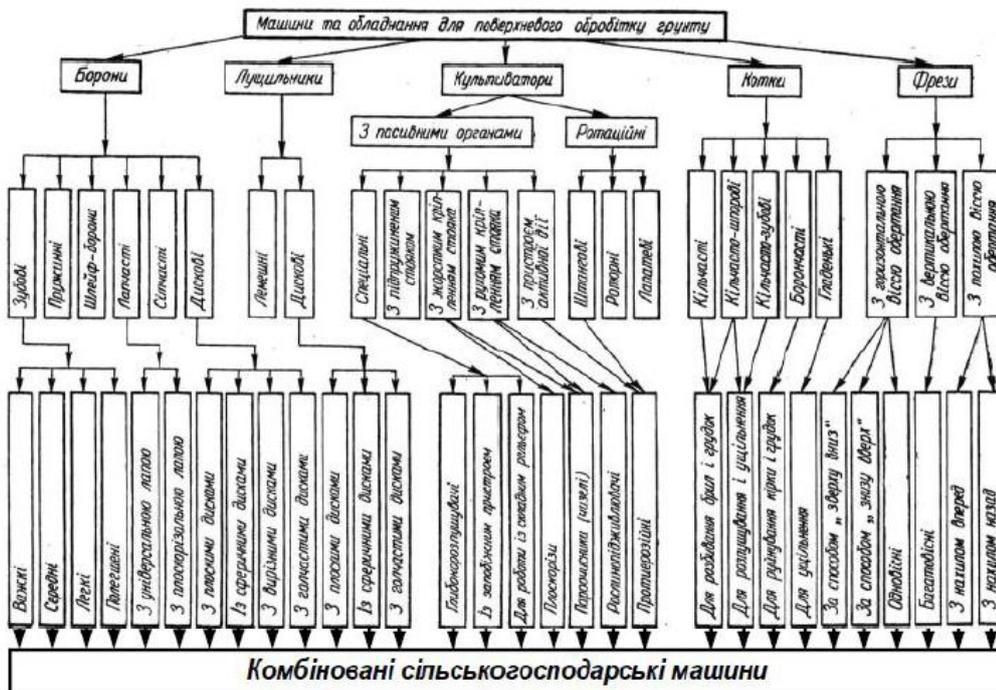
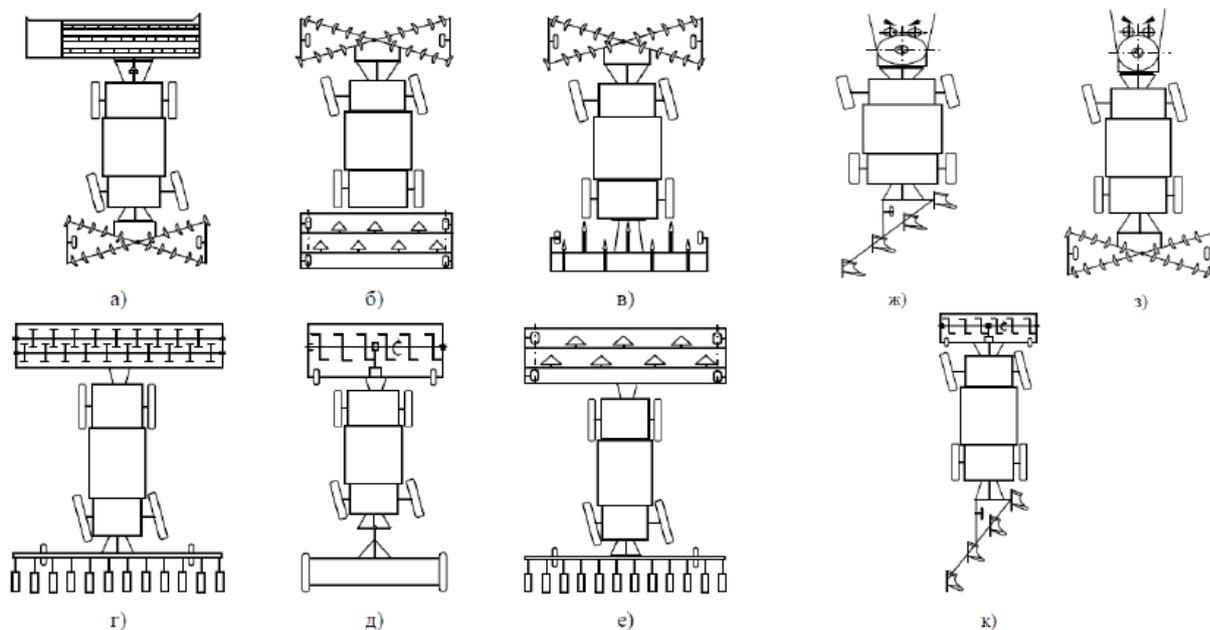


Рисунок 3 – Комбіновані агрегати, які складаються з однієї або багатоопераційних машин за допомогою трактора, що має передній і задній начіпні пристрої

### РІЗНОВИД МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ КОМБІНОВАНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

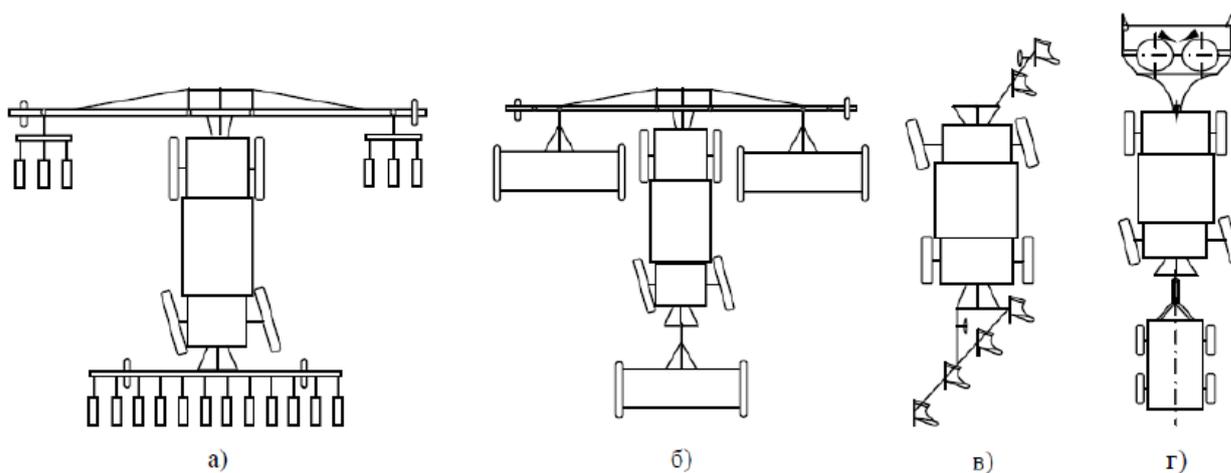


## СХЕМИ КОМБІНОВАНИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ ОРНО-ПРОСАПНИХ ТРАКТОРІВ ХТЗ-16131



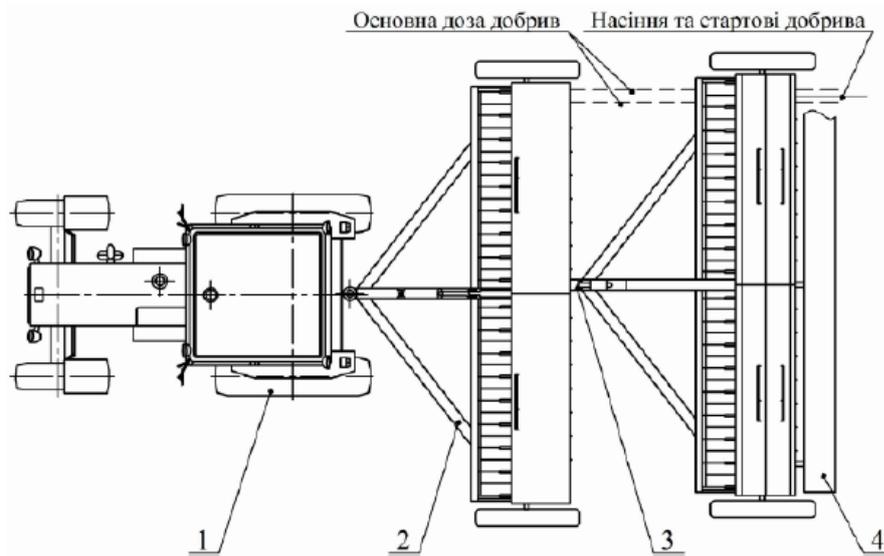
а) жнивально-лушильний; б) дисковочно-культиваторний; в) дисковочно-чизельний;  
г) коткувально-посівний; д) фрезерно-посівний; е) культиваторно-посівний; ж) орний з внесенням добрив;  
з) дисковочний з внесенням добрив; к) подрібнювально-орний

## СХЕМИ ШИРОКОЗАХВАТНИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ ТРАКТОРІВ СІМЕЙСТВА ХТЗ-121/160



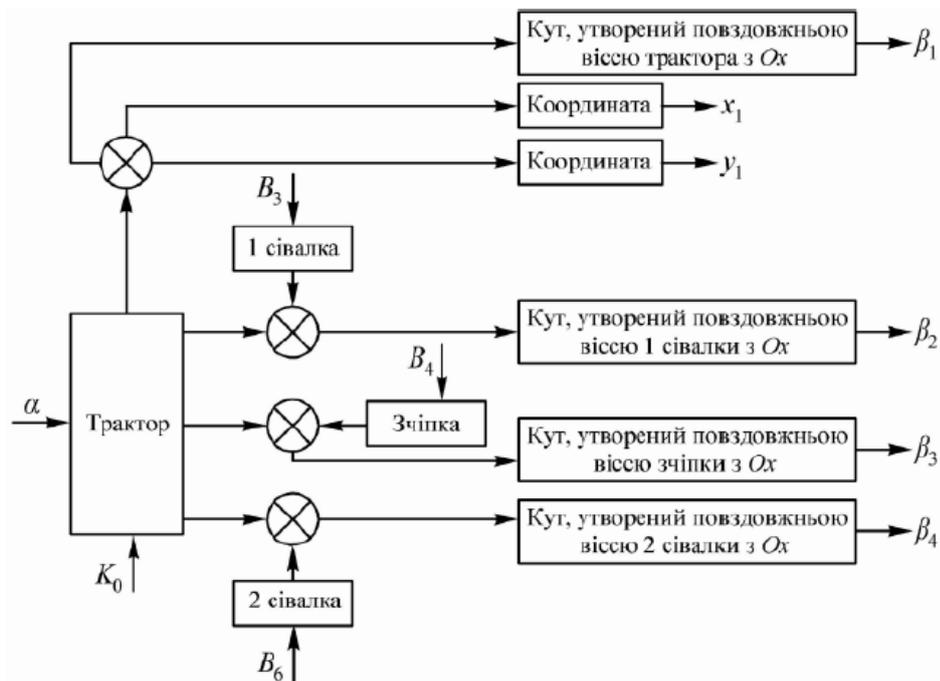
а) 18-ти рядний просапний (міжряддя –70см); б) посівний (зчіпка + 3 СЗ-3,6);  
в) орний за схемою «push-pull»; г) кормозбиральний

## КОМБІНОВАНИЙ УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНИЙ МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ



- 1 – колісний агрегуючий трактор; 2 – сівалки для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив стрічковим способом; 3 – начіпний пристрій; 4 – сівалка зернових культур з пристроєм для одночасного внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив

## СХЕМА УТВОРЕННЯ ВЗАЄМНИХ ЛІНІЙНИХ ТА КУТОВИХ ВІДХИЛЕНЬ ПІД ЧАС РУХУ УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ



## ЗАЛЕЖНОСТІ

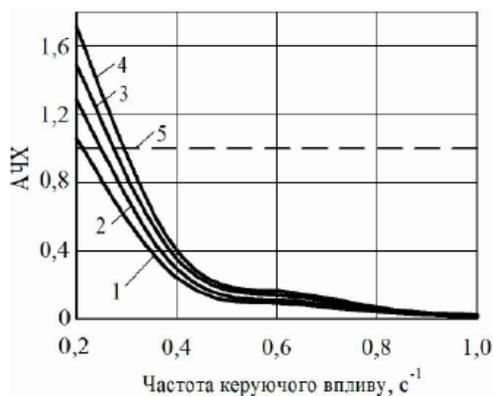


Рисунок 1 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різними значеннями коефіцієнта опору коченню: 1 – 0,10; 2 – 0,12; 3 – 0,14; 4 – 0,16; 5 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

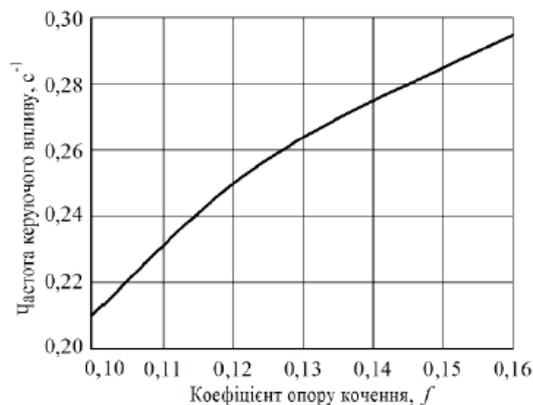


Рисунок 2 – Залежність бажаної частоти повороту керованих коліс агрегатуючого трактора комбінованого удобрювально-посівного агрегату від умов його руху (коефіцієнта опору коченню  $f$ )

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ



а)

б)

Рисунок 1 – Експериментальне визначення глибини розміщення у ґрунті: а) насіння; б) добрив



а)

б)

Рисунок 2 – Експериментальне визначення параметрів висіву насіння: а) рівномірності висіву; б) відхилення від осьової лінії рядка

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

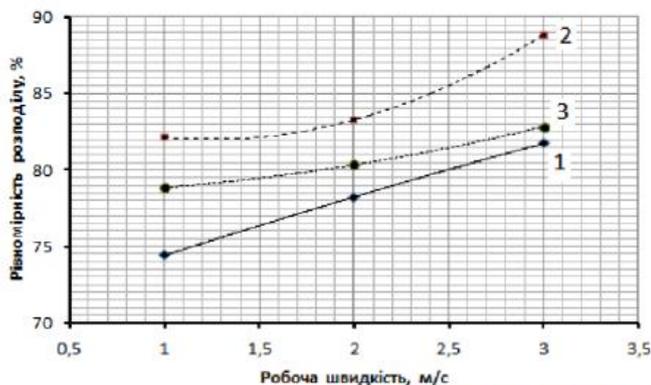


Рисунок 1 – Залежність рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різних глибинах висіву насіння: 1 – при  $H = 2$  см; 2 – при  $H = 4$  см; 3 – при  $H = 6$  см

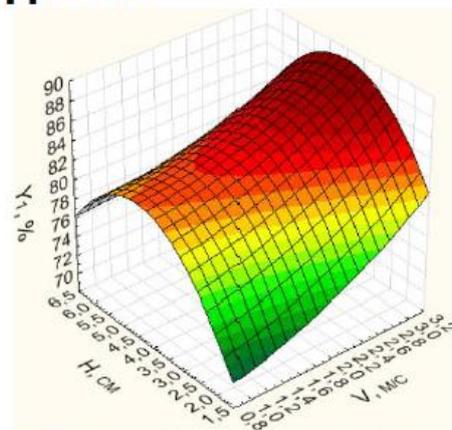


Рисунок 2 – Поверхня відгук залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

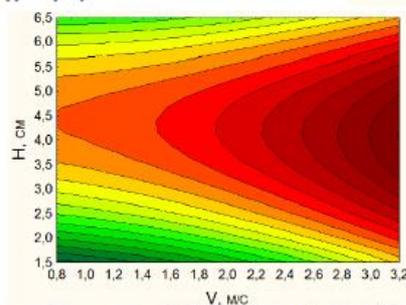


Рисунок 3 – Двовірний переріз залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порівняння показників якості сівби

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Модернізований варіант
Коефіцієнт варіації глибини висіву насіння	%	8,2	4,7
Рівномірність розподілу насіння в рядку	%	63,8	84,9
Схожість насіння	%	80,4	87,3

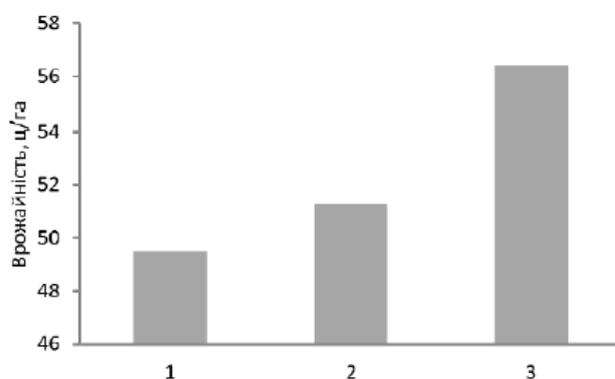


Рисунок 1 – Діаграма врожайності ярої пшениці при сівбі за прийнятими схемами

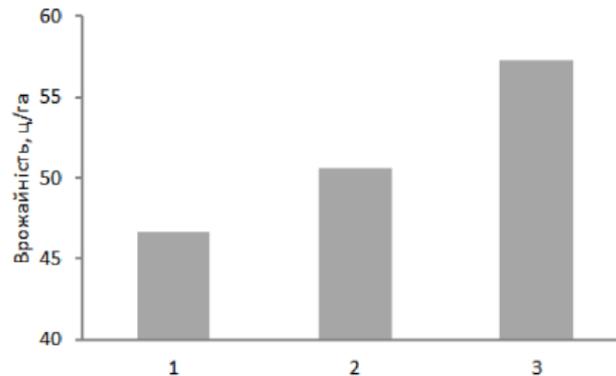


Рисунок 2 – Діаграма врожайності ячменю при сівбі за прийнятими схемами

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Показник	Базовий варіант		Модернізований варіант
	– розкидання добрив	– сівба	
Продуктивність, га/год.	12	2,52	2,52
Питома витрата палива, л/га	2,12	2,94	3,77
Затрати на оплату праці, грн/га	3,77	5,46	5,46
Затрати на ПММ, грн/га	41,72	57,86	74,19
Затрати на реновацію, грн/га	61,44	95,49	138,33
Затрати на ремонт і ТО, грн/га	62,53	119,64	184,64
Сумарні прями експлуатаційні затрати, грн/га	169,46	278,65	402,62
Розмір капітальних вкладень, грн/га	370,34	575,54	1009,09
Приведені експлуатаційні витрати, грн/га	225,01	364,98	553,98
Зменшення приведених експлуатаційних витрат, грн/га	36,00		
Економічний ефект від збільшення врожайності, грн/га	2652,00/3048,50		
Загальний економічний ефект, грн/га	2688,00/3084,50		

## АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ІДУ»  
 НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ  
 ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
 ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»  
 ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛІ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА  
 НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
 СТУДЕНТІВ ТА  
 МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

**«Перші наукові кроки – 2025»**

17 квітня 2025 р.



Кам'янець-Подільський  
2025

Міністерство освіти і науки України  
 Ministry of Education and Science of Ukraine  
 Вищий навчальний заклад «Подільський державний університет»  
 Higher Educational Institution-Podilia State University  
 Інженерно-технічний факультет  
 Faculty of Engineering and Technology  
 Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
 Department of Technical Service and General Technical Subjects  
 Варшавський університет природничих наук  
 Warsaw University of Life Sciences  
 Університет прикладних наук у Тарномі  
 University of Applied Sciences in Tarnobrzeg  
 Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонташа  
 University of Agriculture in Krakow  
 Державна академія прикладних наук у Хельмі  
 State Academy of Applied Sciences in Schem  
 Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі  
 International Academy of Applied Sciences in Lomza  
 Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва  
 National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
 Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва  
 Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the  
 National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
 Вінницький національний аграрний університет  
 Vinnytsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:  
 виклики і можливості»**  
**«Modern Technologies and Technical Service:  
 Challenges and Opportunities»**

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ  
 CONFERENCE PROCEEDINGS**

1 Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції  
 1st International Scientific and Practical Internet Conference



16 жовтня 2025 року  
 October 16, 2025  
 м. Кам'янець-Подільський  
 Kamianets-Podilskyi

## ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ  
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»  
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
СТУДЕНТІВ ТА  
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

**«Перші наукові кроки – 2025»**

*17 квітня 2025 р.*



*Кам'янець-Подільський  
2025*



Міністерство освіти і науки України  
Ministry of Education and Science of Ukraine  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Higher Educational Institution «Podillia State University»



Інженерно-технічний факультет  
Faculty of Engineering and Technology  
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Department of Technical Service and General Technical Subjects

Варшавський університет природничих наук  
Warsaw University of Life Sciences

Університет прикладних наук у Тарнові  
University of Applied Sciences in Tarnow

Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая  
University of Agriculture in Krakow

Державна академія прикладних наук у Хелмі  
State Academy of Applied Sciences in Chelm

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі  
International Academy of Applied Sciences in Lomza

Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва  
Національної академії аграрних наук України  
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the  
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Вінницький національний аграрний університет  
Vinnitsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:  
ВИКЛАНКИ І МОЖЛИВОСТІ»**

**«Modern Technologies and Technical Service:  
Challenges and Opportunities»**

## **ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ CONFERENCE PROCEEDINGS**

**I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції  
1st International Scientific and Practical Internet Conference**



16 жовтня 2025 року  
October 16, 2025

м. Кам'янець-Подільський  
Kamianets-Podilskyi

## СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА КОМБІНОВАНОГО АГРЕГАТА

Фуг Д.М. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»  
Керівник – канд. техн. наук, доцент *Грушецький С.М.*

*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»*



Численними попередніми дослідженнями встановлено, що внесення мінеральних добрив одночасно з сівбою зернових та інших сільськогосподарських культур, коли стартові дози добрив вносяться на рівні ложа для насіння, а основна доза добрив вноситься нижче рівня загортання насіння зі зміщенням у горизонтальній площині, дозволяє досягти економії добрив на 30...45% [1].

Для дослідження процесу сівби зернових культур і внесення мінеральних добрив стартової і основної дози, які суміщені із сівбою зернових культур, розроблено експериментальну установку – комбінований удобрювально-посівний агрегат у складі двох зернотукових сівалок (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд експериментального зразка комбінованого агрегата

Перша сівалка даного комбінованого посівного агрегату забезпечує внутрішньогрунтове внесення необхідної основної дози мінеральних добрив на глибину 7...9 см з міжряддям 25 см, а друга – сівбу зернових культур на глибину 2...6 см з міжряддям 12,5 см із одночасним внесенням стартової дози мінеральних добрив. Отже, перша сівалка формувала висів добрив в кожен другий рядок другої сівалки, яка виконувала звичайний процес зернотукової сівалки.

Для агрегаткування сівалок між собою і з трактором сконструйовано та виготовлено спеціальна зчіпка, на конструкцію якої був отриманий патент України, застосування якої дозволить забезпечувати необхідну маневреність комбінованого агрегату при роботі і транспортуванні.

**Висновки.** Обґрунтовано загальну методику експериментальних досліджень комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, який призначений для сівби зернових культур із суміщенням в одному проході: внесення стартової і основної дози гранульованих мінеральних добрив.

### Список використаних джерел

Грушецький С.М., Здоровик О.А. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів. *Матеріали V Всеукр. наук.-прак. конф., «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* : зб. наук. праць / за заг. ред. С.С. Добранський. Житомир : АТК, 2019. С. 48-51.