

УДК 631.37

№ держреєстрації: 0111U002562

Інв. №: 2015_01

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т. Б.Хмельницького,18
тел. (0619) 42-06-94

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор НДІ МЗПУ,

д.т.н. _____ В.Т.Надикто

«__» _____ 2015 р.

ЗВІТ

про науково-дослідну роботу
(заключний)

Програма 1 «Розробити адаптовані до умов півдня України енергоощадні технології і комплекси машин на основі нових енергетичних засобів»

Завідувач відділу: _____

д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії: _____

д.т.н. Надикто В.Т.

2014

Результати роботи розглянуто НТР,
протокол № ____ від «__» _____ 2015 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець,
доктор технічних наук,
професор

В. Надикто
(реферат, вступ, розділи
1, 2, 3, 4, висновки)

Доктор технічних наук,
професор

В. Кюрчев
(розділ 1, участь у 3.1, 3.2,
висновки)

Доцент , канд. техн. наук

В. Кувачов
(2.3, 3.3, висновки)

Доцент, канд. техн. наук

А. Аюбов
(участь у 3.1)

Доцент, канд. техн. наук

Т. Чорна
(участь у 3.1)

Асистент

В. Масалабов
(2.4, 3.4, висновки)

Аспірант

О. Кістечок
(участь у 3.1)

Завідувач лабораторії

С. Шило
(участь у 3.1)

Провідний інженер

М. Григоренко
(участь у 3.1)

Провідний інженер

Т. Рева
(участь у 3.1)

Старший лаборант

О. Котов
(участь у 3.1)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 52 с. тексту, 12 рис., 3 табл., 10 джерел, 2 додатки на 10 с.

Об'єкти досліджень: машинно-тракторні агрегати на основі тракторів

ХТЗ-16132 і ХТЗ-17022, двомашинний посівний агрегат на основі трактора тягового класу 1,4, знаряддя і машини для фронтального агрегування.

Мета роботи: Розширення функціональних можливостей і ефективності використання тракторів сімейства ХТЗ-160, ХТЗ-170 і енергетичних засобів тягового класу 1,4 у складі машинно-тракторних агрегатів.

Методи досліджень: Лабораторно-польові роботи здійснювали з використанням оригінальних та стандартних методик. Обробку експериментальних даних проводили на ЕОМ із застосуванням основ математичної статистики, кореляційного та спектрального аналізів.

В результаті проведених досліджень:

- оцінено траєкторні показники посівного агрегату у складі трактора ХТЗ-17022 з подвоєними шинами і 12-рядної просапної сівалки з міжряддями 70 см «Optima». Встановлено, що за дисперсією коливань траєкторії руху досліджуваній машинно-тракторний агрегат відповідає вимогам нового частотно-дисперсійного показника, а за частотою коливань – ні;
- проведено експлуатаційно-технологічну оцінку нового агрегату на сівбі соняшнику. Встановлено, що за 8 годин змінного часу агрегатом у складі трактор ХТЗ-17022 і 12-рядної просапної сівалки з міжряддями 70 см можна обробити щонайменше 55 га;
- встановлено ущільнення ґрунту по слідах подвоєних коліс трактора ХТЗ-170;
- розрахунками встановлено потрібний рівень потужності двигуна трактора тягового класу 3;
- проведено теоретичні дослідження плавності руху ширококолісного агротехнологічного засобу;
- здійснено експлуатаційно-технологічну оцінку двома шинного посівного агрегату на основі трактора тягового класу 1,4.

Ключові слова: ТРАКТОР, СІВАЛКА, МАШИНО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ, ГРУНТ, ТРАЄТОРІЯ, ЧАСТОТНО-ДИСПЕРСІЙНИЙ ПОКАЗНИК

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ	6
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	6
2.1. Методика оцінювання траєкторних показників руху посівного МТА.....	6
2.2. Методика розрахунку потужності двигуна трактора.....	8
2.3. Методика аналітичного дослідження динаміки руху ширококолісного агротехнологічного засобу.....	9
2.4. Методика проведення експлуатаційно-технологічних випробувань двомашинного посівного агрегату на основі трактора тягового класу 1,4.....	10
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
3.1. Експлуатаційно-технологічна оцінка посівного агрегату на основі трактора ХТЗ-17022 зі здвоєними шинами.....	10
3.2. Визначення потужності двигуна трактора тягового класу 3.....	12
3.3. Результати математичного моделювання динаміки вертикального руху ширококолісного агротехнологічного засобу.....	16
3.4. Результати експлуатаційно-технологічної оцінки двомашинного посівного агрегату.....	23
3.4.1. Оцінка трудоемкості агрегування посівного МТА.....	23
3.4.2. Визначення дійсної значини показника режиму повороту МТА.....	26
3.4.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи двомашинного агрегату	30
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	39
ДОДАТКИ.....	40

ВСТУП

Той факт, що скорочення строку сівби с.-г. культур сприяє підвищенню їх врожайності, є загально відомим і цілком зрозумілим. Проте, вирішувати цю задачу можна принаймні двома шляхами: екстенсивним і інтенсивним.

Перший із них полягає у збільшенні кількості посівних агрегатів, а другий – у застосуванні широкозахватних машинно-тракторних агрегатів (МТА).

На півдні країни, де зосереджена значна частина посівів просапних культур із міжряддями 70 см, останнім часом багато сільгоспвиробників йдуть саме першим шляхом. У більшості випадків вони використовують 6-и або 8-и рядні комплекси на базі універсально-просапних тракторів тягового класу 1,4 Мінського та Дніпропетровського тракторобудівних заводів.

Свого часу вітчизняні науковці досить принципово і економічно обґрунтовано ставили питання щодо необхідності розроблення потужного універсально-просапного енергетичного засобу тягового класу 2, на базі якого можна було б реалізувати принаймні 12-и рядну систему вирощування просапних. Цей напрямок у галузі тракторобудування, по великому рахунку, так і не був реалізований.

Водночас, нині ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» освоїв виробництво орно-просапних тракторів серії ХТЗ-160, впровадження яких дає можливість отримати високопродуктивні просапні МТА на їх основі.

Результати досліджень минулого року показують, що за певних умов для реалізації 12-и рядної системи вирощування просапних культур з міжряддями 70 см можна використовувати і трактор загального призначення з шарнірно-зчленованою рамою серії ХТЗ-170.

Разом з цим, за можливості широкого використання тракторів серій ХТЗ-160 і ХТ-170 як на загальних операціях, так і в системах машин для вирощування просапних культур, потребує термінового вирішення питання обґрунтованого вибору потужності їх двигунів.

На вирішення саме цих задач і направлені науково-дослідні роботи Таврійського державного агротехнологічного університету. Програма виконуваних його фахівцями робіт з дослідження та випробування нових машинно-тракторних агрегатів на основі тракторів ХТЗ-16132 і ХТЗ-17022 обумовлена договором за №1-2009 від 28 квітня 2009 р.

1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1.1. Лабораторно-польові випробування трактора загального призначення ХТЗ-17022 на посіві соняшнику
- 1.2. Розрахунок потужності двигуна трактора тягового класу 3
- 1.3. Дослідження впливу кінематичних і силових параметрів енергетичної та технологічної частин ширококолісного агротехнологічного засобу на динаміку його руху у вертикальній площині
- 1.4. Експлуатаційно-технологічні випробування двомашинного посівного агрегату на базі трактора тягового класу 1,4

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика оцінювання траєкторних показників руху посівного МТА

Якісні показники роботи посівного (просапного) МТА суттєво залежать від прямолінійності рядків оброблюваної культури. Надмірна викривленість останніх може взагалі зробити неможливим їх механізований обробіток із заданою якістю. Звідси випливає, що динаміка руху посівних МТА має бути такою, щоб забезпечити прийнятну непрямолінійність сходів.

Як показує практика, переважна більшість усіх відхилень рядка просапної культури від прямої лінії має форму, яка задовільно описується синусоїдальною кривою з амплітудою $C/2$ і періодом h (рис. 2.1):

$$y = \frac{C}{2} \cdot \sin \frac{2\pi}{h} \cdot x$$

де x – координата точки траєкторії рядка на його вісі.

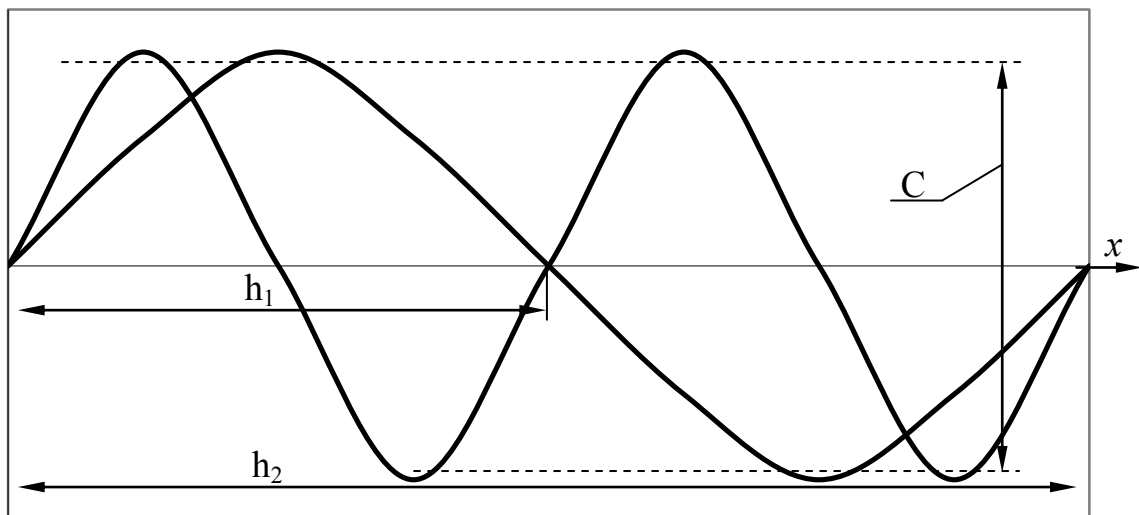


Рис. 2.1 – Траєкторії рядків з різними періодами коливань

За агротехнічними вимогами непрямолінійність сходів можна вважати прийнятною, якщо на довжині (стрілці) 50 м максимальне відхилення траєкторії рядка від його осьової лінії не перевищує 5 см.

Прийнявши для нашого випадку $C = 0,1$ м і $h = 100$ м, остаточно отримали:

$$y = 0.05 \cdot \sin \frac{\pi}{50} \cdot x \quad (1)$$

Згідно тих же агротехнічних вимог відхилення сходів просапної культури від осі рядка рекомендується вимірювати з кроком $0,5$ м. З урахуванням цього, змінюючи регресор у формулі (1) від 0 до $h = 100$ м з кроком $0,5$ м, отримали масив з 200 значин предикатора.

Далі з цього масиву даних за допомогою відомих із математичної статистики співвідношень визначали дисперсію D і спектральну щільність $S(\omega)$. У останньої згідно з методикою [1] визначали частоту зрізу $\omega_{зр}$.

Оскільки спектральна щільність характеризує розподіл дисперсії коливань D по частотах ω , то статистичні характеристики D і $\omega_{зр}$ укупі назвали частотно-дисперсійним показником прийнятної (допустимої) непрямої рядків просапної культури. У кінцевому вигляді він є таким [2]:

$$\left. \begin{array}{l} D \leq 12,50 \text{ см}^2; \\ \omega_{зр} \leq 0,25 \text{ м}^{-1}. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Методика практичного застосування нового частотно-дисперсійного показника була наступна. Вважаючи, що коливання траєкторії руху посівного агрегату разом із маркерами є стаціонарним і ергодичним процесом (що при правильному обґрунтуванні схеми та параметрів МТА як правило відповідає дійсності), на полі вибирали маркерний слід, довжиною не менше 200 м. Орієнтовно паралельно йому прокладали пряму базову лінію (рис. 2.2) і з кроком $0,5$ м заміряли відхилення від неї траєкторії маркерного сліду посівного агрегату.



Рис. 2.2 – Траєкторія та методика визначення непрямої маркерного сліду асиметричного посівного агрегату

Із отриманого масиву даних розраховували дійсні дисперсію коливань оцінюваної траєкторії (D) і нормовану спектральну щільність $S(\omega)$. Ту її значину $S(\omega_{зр})$, яка відповідає частоті зрізу коливань траєкторії маркерного сліду $\omega_{зр}$, знаходили із виразу [1]:

$$S(\omega_{зр}) = 0,05 \cdot S(\omega_0),$$

де $S(\omega_0)$ – нормована спектральна щільність коливального процесу при $\omega = 0$.

Для практичного забезпечення вимог (2) потрібен підготовлений механізатор. Для його вибору на підготовленому полі для сівби просапних культур кілька механізаторів здійснювали пробні проходи агрегатом у складі трактора ХТЗ-17022 та 12-и рядної просапної сівалки «Optima». До подальшого експерименту

вибрали того водія, під керуванням якого траєкторні показники даного посівного агрегату відповідали вищевказаним вимогам частотно-дисперсійного показника.

Оцінювання траєкторних показників дослідного посівного агрегату здійснювали одночасно із проведенням його експлуатаційно-технологічної оцінки. Нова методика її проведення викладена у додатку А.

2.2. Методика розрахунку потужності двигуна трактора

У загальному випадку потужність двигуна витрачається на виконання основного технологічного процесу, здійснення роботи в різних механізмах трактора і його взаємодію з опорною поверхнею руху. У розгорнутому вигляді баланс потужностей енергетичного засобу має наступний вид [3–12]:

$$N_e = N_{кр} + N_{тр} + N_{\delta} + N_f + N_i + N_j + N_{ввп} + N_{ком} + N_p + N_H + N_{п}, \quad (3)$$

- де N_e – встановлена (ефективна) потужність двигуна;
 $N_{кр}$ – тягова потужність трактора;
 $N_{тр}$, N_{δ} , N_f , N_i – потужності, які характеризують витрати енергії на тертя в трансмісії, буксування рушіїв, подолання опорів кочення і підйому трактора;
 N_j – потужність сил інерції;
 $N_{ввп}$ – потужність, яка передається через передній і/або задній вали її відбору;
 $N_{ком}$ – потужність, необхідна для створення комфортних умов роботи тракториста;
 N_p – потужність розсіювання, яка вбирається (поглинається) пружними елементами конструкції трактора;
 N_H – потужність, яка неповністю використовується двигуном енергетичного засобу із-за перемінного характеру тягового навантаження;
 $N_{п}$ – потужність, яка витрачається на виправлення непрямолінійного робочого руху трактора у складі МТА.

Складові балансу потужностей (3) N_i та N_j із-за знакоперемінного характеру їх дії не враховували. Тим більше, що на горизонтальних ділянках шляху складова N_i взагалі не проявляється, а N_j має місце лише при розгоні та гальмуванні машинно-тракторного агрегату. Але із-за відносно малих швидкостей робочого руху с.-г. машинно-тракторних агрегатів її вплив в загальному балансі потужностей можна вважати незначним.

З урахуванням вищевикладеного розрахунок потрібної потужності двигуна трактора тягового класу 3 (серія ХТЗ-170) здійснювали на основі виразу (3), який розглядали у наступному вигляді:

$$N_e = N_{осн} + N_{доп}, \quad (4)$$

де

$$N_{осн} = N_{кр} + N_{тр} + N_{\delta} + N_f;$$

$$N_{доп} = N_{ввп} + N_{ком} + N_p + N_H + N_{п}.$$

Розрахунок складової $N_{осн}$ здійснювали у відповідності з методикою, викладеною у роботі [13].

2.3. Методика аналітичного дослідження динаміки руху ширококолієного агротехнологічного засобу

Модель функціонування ширококолієного агротехнологічного засобу, як динамічної системи, розглянута у вигляді її реакції на вхідні збурення. Останніми є поштовхи та удари, викликані нерівностями профілю постійної технологічної колії і нерівномірністю тягового опору сільськогосподарських знарядь технологічної частини агрозасобу.

Якість відпрацювання динамічною системою вхідних змінних залежить від її характеристик. Стосовно до ширококолієного агрозасобу такими характеристиками є його схема, конструктивні, кінематичні та інші параметри. Тому, правильний вибір останніх з точки зору бажаної стійкості руху забезпечує ширококолієному агрозасобу оптимальне перетворення збурень, яких він зазнає.

В процесі теоретичних досліджень перетворюючі властивості динамічної системи були виражені передаточними функціями і частотними характеристиками. Саме такі характеристики дають найбільш повну і фізичну уяву про реакції сільськогосподарського агрегату на різні збурення, а також про перехідні та установлені процеси його роботи.

Для теоретичного аналізу частотних характеристик побудована система відповідних лінійних диференціальних рівнянь, отриманих на основі розв'язання рівнянь Лагранжа II роду, які зв'язують вихідні змінні із вхідними збуреннями, тобто математична модель самого процесу.

Для спрощення складання диференціальних рівнянь прийняті наступні положення і припущення: кутові коливання технологічної частини ширококолієного агрозасобу не розглядаються; коливання тягового опору сільськогосподарських знарядь не оказують істотного впливу на швидкість поступального руху ширококолієного агрозасобу, завдяки чому вона приймається постійною; нерівності профілю постійної технологічної колії являють собою випадкову стаціонарну ергодичну функцію шляху; нахил ширококолієного агрозасобу у поздовжньо-поперечній площині відсутній; сили опору в шинах опорних коліс приймаються пропорційними швидкості коливань, а характеристики пружних елементів – лінійними.

В основу аналізу оцінки ступеню впливу схеми та параметрів ширококолієного агрозасобу на динаміку його руху у вертикальній площині покладені амплітудні $A(\omega)$ (АЧХ) і фазові $\Phi(\omega)$ (ФЧХ) частотні характеристики:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \sqrt{\frac{a^2(\omega) + b^2(\omega)}{c^2(\omega) + d^2(\omega)}},$$

$$\Phi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = \arctg \frac{b(\omega) \cdot c(\omega) - a(\omega) \cdot d(\omega)}{a(\omega) \cdot c(\omega) + b(\omega) \cdot d(\omega)}.$$

де $a(\omega)$ і $b(\omega)$ – дійсна та уявна частина неповних і-тих визначників D_i , що складаються із коефіцієнтів (які є комплексними числами) правої та лівої частин рівнянь математичної моделі в операторній формі запису;

$c(\omega)$ і $d(\omega)$ – дійсна та уявна частина головного визначника D_Δ , що складається із коефіцієнтів (які є комплексними числами) лівих частин рівнянь матема-

тичної моделі в операторній формі запису.

Вирази для дійсної та уявної частини частотних характеристик розглядуваної динамічної системи розраховуються як:

$$U(\omega) = \frac{a(\omega) \cdot c(\omega) + b(\omega) \cdot d(\omega)}{c^2(\omega) + d^2(\omega)},$$

$$V(\omega) = \frac{b(\omega) \cdot c(\omega) - a(\omega) \cdot d(\omega)}{c^2(\omega) + d^2(\omega)}.$$

В процесі теоретичних досліджень вивчалися якісно-кількісні характеристики відпрацювання остовом ширококолісного агрозасобу та його технологічною частиною коливань нерівностей профілю постійної технологічної колії з різними параметрами шин опорних коліс і тиском у них, різною масою сільськогосподарських знарядь, а також коливань тягового опору с.-г. знаряддя при різному положенні навісного механізму. Побудовані математичні моделі, амплітудо- і фазово-частотні характеристики дозволяють оцінити вплив збурювальних впливів на динаміку руху спеціалізованого ширококолісного агрозасобу у вертикальній площині, а також його конструктивних та інших параметрів на плавність руху.

В процесі теоретичних досліджень конструктивні та інші параметри ширококолісного агрозасобу обирали, виходячи з того, що для такої системи в робочому діапазоні частот бажані АЧХ вихідних параметрів за відтворення нею збурень у робочому діапазоні частот мають бути якомога меншими (в ідеалі – рівними нулю), а фазовий зсув (ФЧХ) при цьому повинен бути, навпаки, – максимально великим. Вказані амплітудно-фазові частотні характеристики розраховували на ЕОМ у середовищі Microsoft Excel.

2.4. Методика проведення експлуатаційно-технологічних випробувань двомашинного посівного агрегату на основі трактора тягового класу 1,4

Експлуатаційно-технологічні випробування машинно-тракторного агрегату у складі трактора тягового класу 1,4, нової двомашинної зчіпки СН-7,2 та двох причіпних зернових сівалок СЗ-3,6 [9,14] здійснювали у відповідності з новою методикою, викладеною у додатку А.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Експлуатаційно-технологічна оцінка посівного агрегату на основі трактора ХТЗ-17022 зі здвоєними шинами

На сівбі просапної культури (соняшнику) трактор ХТЗ-17022 агрегували із 12-рядною просапною сівалкою «Optima». Оскільки приєднання останньої до вказаного енергетичного засобу (на відміну від трактора серії ХТЗ-160) є симетричним, то останній обладнували подвоєними штатними шинами 23,1 R26 (рис. 3.1).

Такий конструктивний захід є обов'язковим. Він призначений для того, щоб ті посівні секції сівалки, які припадають на колію трактора, здійснювали загортання насіння на ту ж задану глибину, що й інші сошники.

Під час проведення лабораторно-польових досліджень і експлуатаційно-технологічних випробувань середня значина вологості ґрунту в шарі 0...10 см становила 19,3%, а щільність – 1,22 г/см³. Сівалка була налаштована на загортання насіння на глибину 6 см. Робоча ширина захвату посівного МТА дорівнювала 8,4 м. В процесі сівби він рухався зі швидкістю, яка в середньому була 10,8 км/год. Основна (чиста) продуктивність праці становила при цьому 9,1 га.

Траєкторію руху асиметричного посівного МТА оцінювали за допомогою вищезгаданого частотно-дисперсійного показника.



Рис. 3.1 – Трактор ХТЗ-17022 зі здвоєними шинами в агрегаті з 12-рядною просапною сівалкою «Optima»

Аналіз отриманих нами експериментальних даних показав, що дисперсія коливань траєкторії маркерного сліду досліджуваного асиметричного посівного агрегату у середньому становила $D = 5,65 \text{ см}^2$.

Нормована спектральна щільність коливного процесу при $\omega = 0 \text{ м}^{-1}$ $S(\omega_0) = 1,55 \text{ м}$ (рис. 3.2). Звідси $S(\omega_{зр}) = 0,05 \cdot S(\omega_0) = 0,05 \cdot 1,55 = 0,08 \text{ м}$.

Як впливає із аналізу рис. 3.2, значині нормованої спектральної щільності $S(\omega_{зр}) = 0,08 \text{ м}$ відповідає частота зрізу $0,70 \text{ м}^{-1}$.

Порівняння отриманих (дійсних) значин дисперсії $D = 5,65 \text{ см}^2$ і частоти зрізу $\omega_{зр} = 0,70 \text{ м}^{-1}$ з бажаними (2) дозволяє зробити наступні висновки. По-перше, за дисперсією (що найважливіше) непрямої руху просапного агрегату у складі трактора загального призначення ХТ-17022 і навісної 12-рядної просапної сівалки є прийнятною.

По-друге, дисперсія коливань траєкторії руху досліджуваного посівного машинно-тракторного агрегату зосереджена у дуже вузькому діапазоні частот $0 \dots 0,70 \text{ м}^{-1}$. За швидкості його робочого руху 10,8 км/год (тобто 3 м/с) це становить $0 \dots 0,21 \text{ с}^{-1}$ або $0 \dots 0,03 \text{ Гц}$.

При цьому слід підкреслити, що за частотою зрізу $\omega_{cp} = 0,70 \text{ м}^{-1}$ досліджуванний агрегат на відповідає вимогам частотно-дисперсійного показника (2), згідно з яким згадана частота не повинна перевищувати позначки $0,25 \text{ м}^{-1}$.

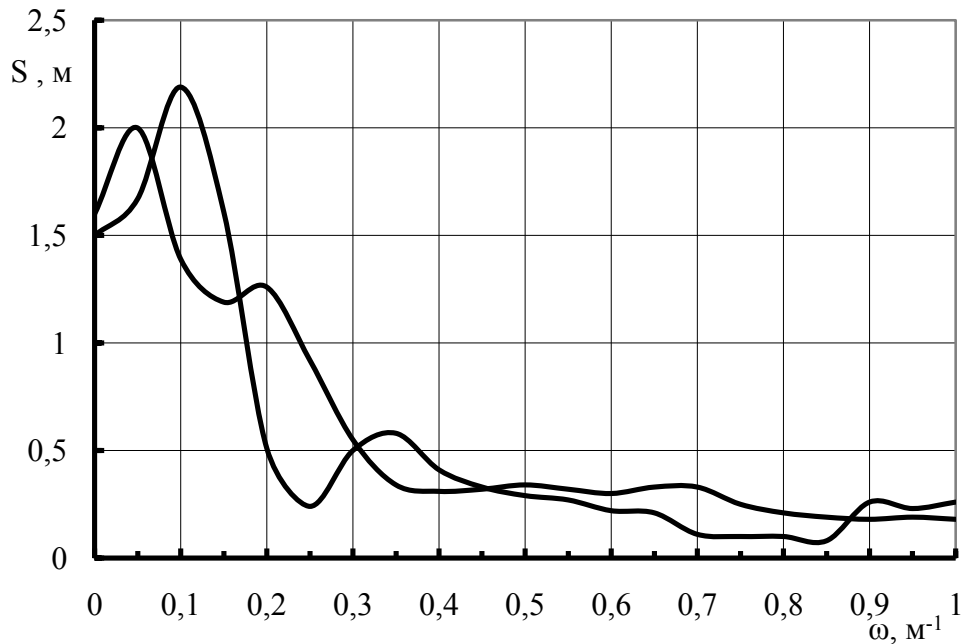


Рис. 3.2 – Нормовані спектральні щільності коливань маркерного сліду агрегату у складі трактора ХТЗ-17022 і 12-рядної просапної сівалки «Ортіма»

Але, як показує практика здійснення міжрядного обробітку просапної культури, посіяної будь-яким агрегатом, більш важливим показником є не частота зрізу нормальної спектральної щільності коливань траєкторії рядків, а їх дисперсія. З огляду на це використання трактора з шарнірно-зчленованою рамою для сівби просапної культури є можливим. Єдиною умовою при цьому має бути ретельний відбір оператора-механізатора, здатного забезпечувати бажані траєкторні показники посівного агрегату на основі такого енергетичного засобу.

Аналіз експлуатаційно-технологічних показників роботи агрегату у складі трактора ХТЗ-17022 і 12-рядної просапної сівалки, показав, що за 8 год змінного часу він здатний засіяти щонайменше 55 га (табл. 3.1).

За умови одних і тих же значин швидкості робочого руху і коефіцієнта використання часу зміни продуктивність досліджуваного МТА у порівнянні з широко розповсюдженими 8-рядними є більшою практично у 1,5 рази. Економія питомих витрат палива становить при цьому у середньому 12...15%.

Обладнання трактора ХТЗ-17022 подвоєними штатними шинами 23,1R26 сприяє зменшенню ущільнення ґрунту по слідах проходження його рушіїв. Так, після проходження трактора ХТЗ-17022 з одинарними шинами значина цього показника становила $1,32 \text{ г/см}^3$. Застосування подвоєних обумовило зменшення ущільнення ґрунту до позначки $1,24 \text{ г/см}^3$, тобто на 6,1% менше.

У порівнянні з агротехнічним фоном обладнання трактора ХТЗ-17022 подвоєними шинами обумовило збільшення щільності ґрунту, але всього лише на $0,02 \text{ г/см}^3$ або на 1,6%. У підсумку середня глибина загортання насіння соняшнику по слідах трактора становила 5,6 см. Поза слідами колії трактора цей показник дорівнював 5,8 см.

Таблиця 3.1

Експлуатаційно-технологічні показники роботи посівного МТА

Показник	Значина
Склад МТА: трактор сівалка	ХТЗ-17022 «Optima»
Умови роботи:	
- робоча ширина захвату, м	8,4
- кількість рядків	12
- ширина міжрядь, см	70
- середня робоча швидкість руху, км/год.	10,8
Продуктивність, га/год.:	
- основного часу	9,1
- змінного часу	7,0
- експлуатаційного	6,8
Витрати:	
- праці, люд.·год. /га	0,14
- палива, кг/га	5,0
Коефіцієнти використання:	
- змінного часу	0,76
- експлуатаційного часу	0,75
- надійності технологічного процесу	0,99
- використання робочих ходів	0,93

Згідно із загальновідомим F-критерієм Фішера нуль-гіпотеза про рівність цих двох оцінок не відхиляється: як на статистичному рівні 0,05, так і на рівні 0,01. Іншими словами можна сказати, що з довірчою ймовірністю 95% середні значини загортання насіння соняшнику у ґрунт основного агротехнічного фону і по слідах трактора зі здвоєними шинами репрезентують одну і ту ж генеральну сукупність.

3.2. Визначення потужності двигуна трактора тягового класу 3

Перша складова виразу (4) – це статичний баланс потужностей енергетичного засобу. Для здійснення його розрахунку враховували наступне. У роботі [6] показано, що задля збереження структури ґрунту максимальне буксування колісного трактора тягового класу 3 навіть у літньо-осінній період не повинно перевищувати 16%. Обробленням тягових характеристик таких енергетичних засобів

установлено, що за граничного буксування рушіїв $\delta = 16\%$ залежність цього показника від тягового зусилля ($P_{кр}$) є лінійною і має наступний вид:

$$\delta = A \cdot (P_{кр}/M_T \cdot g) + B,$$

де M_T – експлуатаційна маса трактора;

g – прискорення вільного падіння;

A, B – коефіцієнти апроксимації.

З урахуванням цього першу складову рівняння (4) у розкритому вигляді можна представити так:

$$N_e = f(M_T) = \frac{D_2 \cdot M_T^2 + D_1 \cdot M_T + D_0}{M_T \cdot D_3}, \quad (5)$$

де $D_2 = V_o \cdot f \cdot g \cdot (1 + B)$;

$D_1 = V_o \cdot P_{крн} \cdot (1 + 3 \cdot V_x) \cdot (1 + B + A \cdot f)$;

$D_0 = V_o \cdot A \cdot [P_{крн} \cdot (1 + 3 \cdot V_x)]^2 / g$;

$D_3 = \eta_{тр}$.

У виразі (5) прийнято наступні позначення: M_T – експлуатаційна маса трактора; V_o – робоча швидкість руху МТА; f – коефіцієнт опору коченню коліс трактора; $P_{крн}$ – номінальне тягове зусилля енергетичного засобу; V_x – коефіцієнт варіації коливань тягового навантаження трактора; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії трактора.

Оптимальну значину експлуатаційної маси трактора визначали із виразу (5) шляхом розв'язання частинної похідної $\partial N_e / \partial M_T = 0$. В результаті отримано:

$$M_T = P_{крн} \cdot \frac{(1 + 3 \cdot V_x)}{g} \cdot \sqrt{\frac{A}{f \cdot (1 + B)}}. \quad (6)$$

Визначивши експлуатаційну масу трактора із (6) і підставивши її у (5), можна розрахувати мінімально необхідну потужність його двигуна.

Для здійснення конкретних розрахунків задавалися значинами тих величин, які входять у вираз (5). У першу чергу це стосується верхньої межі робочих швидкостей руху машинно-тракторних агрегатів. Практикою встановлено, що для більшості сучасних ґрунтообробних і посівних сільськогосподарських МТА перехід на робочі швидкості вище 10 км/год. недоцільний, тому що відбувається зниження продуктивності праці і підвищення погектарної витрати пального [7 – 9].

Зазначена швидкісна межа практично дорівнює середній значині, яка рекомендується для всіх інших технологічних операцій. У Білорусії, наприклад, МТА задовільно працюють на оранці при швидкості 8...10 км/год., культивуації – 7...9 км/год., луценні стерні – 8...9 км/год., боронуванні – 9...10 км/год. Приблизно такі ж швидкісні режими характерні агрегатам, що працюють у Нечорноземній зоні Росії, на півдні України і т. д. [8].

У зв'язку з цим дійсну швидкість руху трактора, яка відповідає номінальній потужності його двигуна, прийняли рівною 10 км/год.

Після збирання врожаю с.-г. культур практично всіма технологічними регламентами передбачено проведення луцення або дискування стерні. В подальшому саме по такому агротехнічному фоні проводяться найбільш енергоємні опера-

ції, пов'язані з основним обробіткою ґрунту. В процесі їх здійснення коефіцієнт опору кочення колісних енергетичних засобів, як показує практика досліджень, становить $f = 0,10 \dots 0,14$, а коефіцієнт варіації тягового навантаження трактора змінюється в діапазоні $V_x = 4 \dots 12\%$.

Коефіцієнт корисної дії трансмісії сучасних тракторів $\eta_{\text{трт}}$ знаходиться в межах $0,88 \dots 0,93$ [4].

Згідно з ГОСТ 27021-86 (бо в Україні немає відповідного ДСТУ) номінальне тягове зусилля трактора тягового класу 3 у середньому має становити 32 кН.

При аналізі другої складової рівняння (4) $N_{\text{доп}} = N_{\text{ввп}} + N_{\text{ком}} + N_p + N_n + N_{\text{п}}$ виходили із наступних міркувань. Трактори ХТЗ тягового класу 3 нині проектується як енергетичні засоби тягової концепції. Згідно з її положеннями [10] уся потужність двигуна такого трактора практично повністю реалізується через його ходову систему. Для роботи у тягово-приводному режимі згідно з тягово-енергетичною концепцією трактор повинен мати підвищену енергонасиченість, збільшення якої забезпечується установленням двигуна більш високої потужності.

Але, ефективна експлуатація такого енергетичного засобу вимагає розроблення відповідної системи агрегування. І оскільки нині вона відсутня, то при визначенні необхідної потужності двигуна трактора тягового класу 3 складову потужності $N_{\text{ввп}}$ можна не враховувати (тобто $N_{\text{ввп}} = 0$). Методика ж складання тягово-приводного агрегату із неповним завантаженням трактора за тяговим зусиллям відома і її застосування не викликає ніяких проблем.

Головним споживачем потужності для створення комфортних умов для роботи механізатора ($N_{\text{ком}}$) є система забезпечення мікроклімату у кабіні трактора. Мінімальна потужність сучасних кондиціонерів знаходиться на рівні 4 кВт.

За умов правильного вибору схеми та параметрів машинно-тракторного агрегату витрати потужності двигуна на забезпечення прийнятних тракторних показників МТА є мінімальними. У зв'язку з цим приймаємо, що $N_{\text{п}} = 0$.

Уведення коефіцієнту V_x у рівняння (5) дозволяє урахувати потужність N_n , яка неповністю використовується двигуном енергетичного засобу із-за перемінного характеру тягового навантаження.

Величина розсіювання потужності двигуна у пружних та демпфірувальних елементах трактора (шинах, ресорах) залежить від їх розмірів, конструкції та режиму коливань. У шинах трактора К-700, наприклад, величина N_p становить $2,2 \dots 3,7$ кВт [4].

Для розрахунків потужності двигуна трактора тягового класу 3 прийmemo, що складова N_p має становити щонайменше 2 кВт.

У підсумку мінімальна значина складової $N_{\text{доп}}$ рівняння (4) є такою:

$$N_{\text{доп}} = N_{\text{ком}} + N_p = 4 + 2 = 6 \text{ кВт.}$$

Значину величини $N_{\text{доп}}$ рівняння (4) розраховували з використанням виразів (5) і (6) за таких вихідних числових даних: $V_o = 10$ км/год; $P_{\text{кр.н}} = 32$ кН; $f = 0,12$; $V_x = 0,10$; $\eta_{\text{трт}} = 0,93$; $A = 0,38$ і $B = 0,001$.

В результаті установлено, що **мінімальна** потужність трактора тягового класу 3 має становити:

$$N_{e,\text{min}} = N_{\text{осн}} + N_{\text{доп}} = 184 + 6 = \mathbf{190 \text{ кВт (258 к.с.)}}$$

Оптимальна експлуатаційна маса енергетичного засобу вказаного тягового класу дорівнює при цьому 7,55 т.

З урахуванням вищевикладеного енергонасиченість трактора тягового класу 3 дорівнюватиме $190/7,55 = 25,1$ кВт/т.

Застосування даної методики розрахунку для колісного трактора тягового класу 4 показує, що мінімальна потужність двигуна цього енергетичного засобу повинна дорівнювати **240 кВт (326 к.с.)**, експлуатаційна маса – **9,4 т**, а енергонасиченість – **25,5 кВт/т**.

3.3. Результати математичного моделювання динаміки вертикального руху ширококолісного агротехнологічного засобу

Динаміку вертикальних коливань спеціалізованого ширококолісного засобу механізації сільськогосподарського виробництва для колійної системи землеробства оцінювали на основі аналізу плавності його руху. Для цього було складено розрахункову динамічну модель ширококолісного агрозасобу (рис. 3.3), яка має три ступені вільності у вигляді вертикальних коливань: 1) передньої частини його остова (Z_1); 2) задньої частини його остова (Z_2); 3) остова технологічної частини (Z_3).

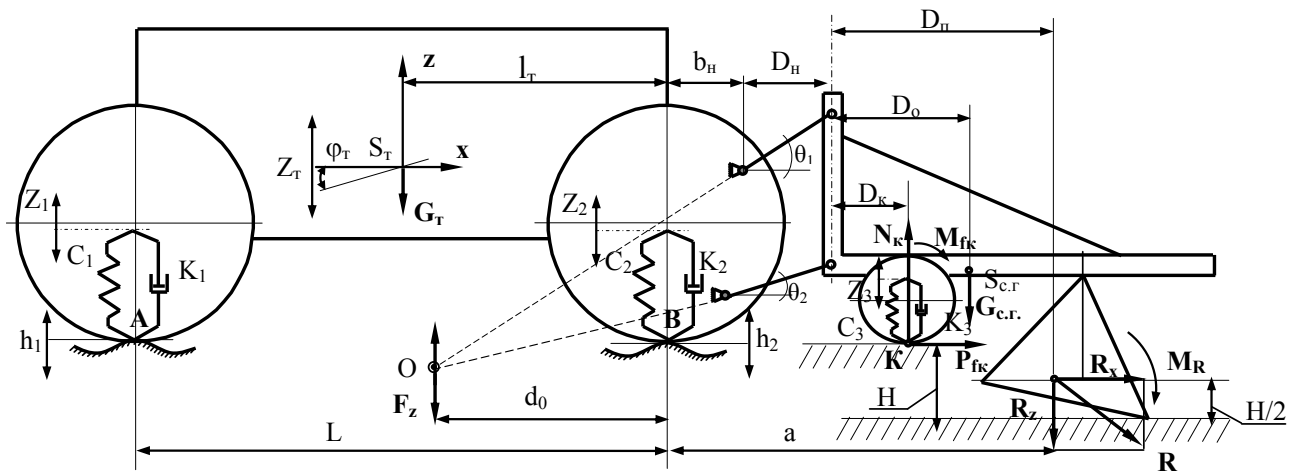


Рис. 3.3 – Схема сил, які діють на ширококолісний засіб механізації сільськогосподарського виробництва для колійної системи землеробства

Система диференціальних рівнянь, що являє собою математичну модель плоско-паралельного руху ширококолісного агрозасобу у поздовжньо вертикальній площині, побудована на основі рівнянь Лагранжу II роду, має вигляд:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{Z}_1 + A_{12} \cdot \dot{Z}_1 + A_{13} \cdot Z_1 + A_{14} \cdot \ddot{Z}_2 = f_{11} \cdot \dot{h}_1 + f_{12} \cdot h_1 + f_{13}' \cdot R_x + f_{14} \cdot R_z + f_{15} \cdot M_R + f_{16}; \\ A_{21} \cdot \ddot{Z}_2 + A_{22} \cdot \dot{Z}_2 + A_{23} \cdot Z_2 + A_{24} \cdot \ddot{Z}_1 = f_{21} \cdot \dot{h}_2 + f_{22} \cdot h_2 + f_{23}' \cdot R_x + f_{24} \cdot R_z + f_{25} \cdot M_R + f_{26}; \\ A_{31} \cdot \ddot{Z}_3 + A_{32} \cdot \dot{Z}_3 + A_{33} \cdot Z_3 = f_{31} \cdot \dot{h}_3 + f_{32} \cdot h_3 + f_{33}' \cdot R_x + f_{34} \cdot R_z + f_{35} \cdot M_R + f_{36}, \end{cases} \quad (7)$$

де $A_{11} = [M_T \cdot l_T^2 + J_{TII}] / L^2$; $A_{21} = [M_T \cdot (L - l_T)^2 + J_{TII}] / L^2$; $A_{31} = M_{c.r.}$;
 $A_{12} = K_1$; $A_{22} = K_2$; $A_{32} = K_3$;
 $A_{13} = C_1$; $A_{23} = C_2$; $A_{33} = C_3$;

де D, D_{11}, \dots, D_{15} – визначники, які визначаються наступним чином:

$$D = a_6 \cdot s^6 + a_5 \cdot s^5 + a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s^1 + a_0,$$

тут

$$a_6 = (A_{11} \cdot A_{21} - A_{14} \cdot A_{24}) \cdot A_{31};$$

$$a_5 = (A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{22}) \cdot A_{31} + (A_{11} \cdot A_{21} - A_{14} \cdot A_{24}) \cdot A_{32};$$

$$a_4 = (A_{13} \cdot A_{21} + A_{12} \cdot A_{22} + A_{11} \cdot A_{23}) \cdot A_{31} + (A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{22}) \cdot A_{32} + (A_{11} \cdot A_{21} - A_{14} \cdot A_{24}) \cdot A_{33};$$

$$a_3 = (A_{13} \cdot A_{22} + A_{12} \cdot A_{23}) \cdot A_{31} + (A_{13} \cdot A_{21} + A_{12} \cdot A_{22} + A_{11} \cdot A_{23}) \cdot A_{32} + (A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{22}) \cdot A_{33};$$

$$a_2 = A_{13} \cdot A_{23} \cdot A_{31} + (A_{13} \cdot A_{22} + A_{12} \cdot A_{23}) \cdot A_{32} + (A_{13} \cdot A_{21} + A_{12} \cdot A_{22} + A_{11} \cdot A_{23}) \cdot A_{33};$$

$$a_1 = A_{13} \cdot A_{23} \cdot A_{32} + (A_{13} \cdot A_{22} + A_{12} \cdot A_{23}) \cdot A_{33};$$

$$a_0 = A_{13} \cdot A_{23} \cdot A_{33};$$

$$D_{11} = F_{22} \cdot K_{11} \cdot K_{33} = (A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s^1 + A_{13}) \cdot (f_{21} \cdot s^1 + f_{22}) \cdot (A_{31} \cdot s^2 + A_{32} \cdot s^1 + A_{33});$$

$$D_{12} = F_{22} \cdot K_{11} \cdot K_{33} = (A_{31} \cdot s^2 + A_{32} \cdot s^1 + A_{33}) \cdot (A_{21} \cdot s^2 + A_{22} \cdot s^1 + A_{23}) \cdot (f_{11} \cdot s^1 + f_{12});$$

$$D_{13} = F_{33} \cdot K_{12} \cdot K_{21} - F_{33} \cdot K_{11} \cdot K_{22} = (f_{31} \cdot s^1 + f_{32}) \cdot (A_{14} \cdot s^2 - A_{24} \cdot s^2 - (A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s^1 + A_{13}) \cdot (A_{21} \cdot s^2 + A_{22} \cdot s^1 + A_{23}));$$

$$D_{14} = F_{24} \cdot K_{11} \cdot K_{33} - F_{14} \cdot K_{21} \cdot K_{33} = (A_{31} \cdot s^2 + A_{32} \cdot s^1 + A_{33}) \cdot ((A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s^1 + A_{13}) \cdot f_{23} - A_{24} \cdot s^2 \cdot f_{13});$$

$$D_{15} = (A_{31} \cdot s^2 + A_{32} \cdot s^1 + A_{33}) \cdot ((A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s^1 + A_{13}) \cdot f_{24} - A_{24} \cdot s^2 \cdot f_{14}).$$

Після підстановки вказаних визначників в передаточні функції $W_1 - W_5$ вигляд останніх матиме вигляд:

$$W_i(s) = \frac{b_5 \cdot s^5 + b_4 \cdot s^4 + b_3 \cdot s^3 + b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s^1 + b_0}{a_6 \cdot s^6 + a_5 \cdot s^5 + a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s^1 + a_0},$$

де $b_0 \dots b_6$ – коефіцієнти, природа яких обумовлена функціональною залежністю конструктивно-технологічних параметрів досліджуемого агрозасобу і характеристиками збурювального впливу:

- для W_1 : $b_5 = f_{21} \cdot A_{11} \cdot A_{31};$

$$b_4 = f_{21} \cdot (A_{11} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31}) + f_{22} \cdot A_{11} \cdot A_{31};$$

$$b_3 = f_{21} \cdot (A_{11} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{32} + A_{31} \cdot A_{13}) + f_{22} \cdot (A_{11} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31});$$

$$b_2 = f_{21} \cdot (A_{12} \cdot A_{31} + A_{13} \cdot A_{32}) + f_{22} \cdot (A_{11} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{32} + A_{13} \cdot A_{31});$$

$$b_1 = f_{21} \cdot A_{13} \cdot A_{33} + f_{22} \cdot (A_{12} \cdot A_{33} + A_{13} \cdot A_{32});$$

$$b_0 = f_{22} \cdot A_{13} \cdot A_{33};$$

- для W_2 : $b_5 = f_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{31};$

$$b_4 = f_{11} \cdot (A_{21} \cdot A_{32} + A_{22} \cdot A_{31}) + f_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{31};$$

$$b_3 = f_{11} \cdot (A_{22} \cdot A_{32} + A_{21} \cdot A_{33} + A_{23} \cdot A_{31}) + f_{12} \cdot (A_{21} \cdot A_{32} + A_{22} \cdot A_{31});$$

$$b_2 = f_{11} \cdot (A_{22} \cdot A_{33} + A_{23} \cdot A_{32}) + f_{12} \cdot (A_{21} \cdot A_{33} + A_{23} \cdot A_{31} + A_{22} \cdot A_{32});$$

$$b_1 = f_{11} \cdot A_{23} \cdot A_{33} + f_{12} \cdot (A_{22} \cdot A_{33} + A_{23} \cdot A_{32});$$

$$b_0 = f_{12} \cdot A_{23} \cdot A_{33};$$

- для W_3 : $b_5 = f_{31} \cdot (A_{14} \cdot A_{24} - A_{11} \cdot A_{21});$

$$b_4 = f_{32} \cdot (A_{14} \cdot A_{24} - A_{21} \cdot A_{11}) - f_{31} \cdot (A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{22});$$

$$b_3 = - f_{31} \cdot (A_{12} \cdot A_{22} + A_{13} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{23}) - f_{32} \cdot (A_{12} \cdot A_{21} + A_{11} \cdot A_{22});$$

$$b_2 = - f_{31} \cdot (A_{22} \cdot A_{13} + A_{23} \cdot A_{12}) - f_{32} \cdot (A_{21} \cdot A_{13} + A_{23} \cdot A_{11} + A_{22} \cdot A_{12});$$

$$b_1 = - f_{31} \cdot A_{23} \cdot A_{13} - f_{32} \cdot (A_{22} \cdot A_{13} + A_{23} \cdot A_{12});$$

$$b_0 = -f_{32} \cdot A_{23} \cdot A_{13};$$

- для W_4 : $b_5 = 0$;

$$b_4 = f_{23} \cdot A_{11} \cdot A_{31} - f_{13} \cdot A_{24} \cdot A_{31};$$

$$b_3 = f_{23} (A_{11} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31}) - f_{13} \cdot A_{24} \cdot A_{32};$$

$$b_2 = f_{23} (A_{13} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{32} + A_{13} \cdot A_{31}) - f_{13} \cdot A_{24} \cdot A_{33};$$

$$b_1 = f_{23} (A_{12} \cdot A_{33} + A_{13} \cdot A_{32});$$

$$b_0 = f_{23} \cdot A_{13} \cdot A_{33};$$

- для W_5 : $b_5 = 0$;

$$b_4 = A_{11} \cdot A_{31} \cdot f_{24} - A_{24} \cdot A_{31} \cdot f_{14};$$

$$b_3 = f_{24} \cdot (A_{11} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31}) - A_{24} \cdot A_{32} \cdot f_{14};$$

$$b_2 = f_{24} \cdot (A_{11} \cdot A_{33} + A_{13} \cdot A_{31} + A_{12} \cdot A_{32}) - A_{24} \cdot A_{33} \cdot f_{14};$$

$$b_1 = f_{24} \cdot (A_{12} \cdot A_{33} + A_{13} \cdot A_{32});$$

$$b_0 = f_{24} \cdot A_{13} \cdot A_{33}.$$

Динаміка вертикальних коливань ширококолісного агрозасобу обумовлюється низкою його конструктивних параметрів. У першу чергу до них відносяться параметри пневматичної шини опорних коліс, зокрема її коефіцієнт жорсткості. Збільшення основних розмірів (ширини та діаметру) пневматичного колеса агрозасобу, як було сказано раніше, з позиції максимального ККД є бажаним. Але при цьому, за відомою формулою Хедекеля, збільшується і коефіцієнт жорсткості шини, який впливає на динаміку вертикальних коливань агрозасобу. За відсутності інших елементів системи піддресорювання у ширококолісного агрозасобу можна прийняти, що $C_1 = C_{ш1}$, $C_2 = C_{ш2}$.

У результаті математичного моделювання для згаданого фізичного об'єкту теоретичних досліджень і трьох варіантів шин його коліс (криві 1-3, рис. 3.4) було встановлено, що різниця цього параметра відрізняє між собою порівнювані АЧХ і ФЧХ фактично несуттєво, але сам характер відпрацювання коливань нерівностей профілю шляху в зоні постійної технологічної колії ширококолісним агрозасобом суттєво залежить від частоти збурювального впливу.

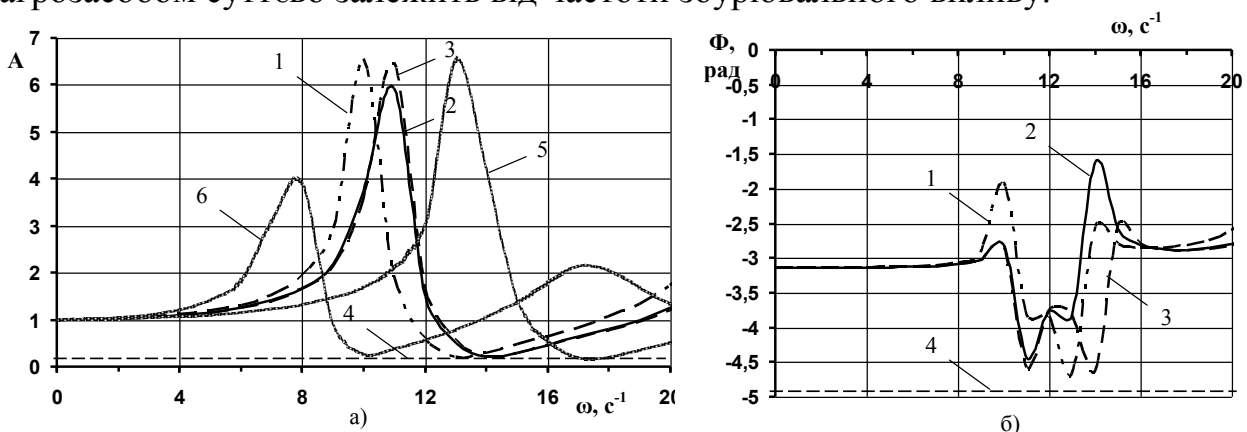


Рис. 3.4 – АЧХ (а) і ФЧХ (б) відтворення задньою частиною ширококолісного агрозасобу коливань профілю шляху з різним типорозміром шин коліс різної жорсткості: 1- шини 11,2R20 ($C_{ш2} = 254$ кН/м); 2- шини 11,2R32 ($C_{ш2} = 292$ кН/м); 3- шини 9,5R42 ($C_{ш2} = 296$ кН/м); 4- ідеальні характеристики; 5- $C_{ш2} = 450$ кН/м; 6- $C_{ш2} = 150$ кН/м

Так, на частотах до $7,0 \text{ c}^{-1}$ вплив цього параметра практично не відчувається. При $\omega > 7,0 \text{ c}^{-1}$ зростання $C_{\text{ш}}$ викликає опускання зміщенням резонансних піків АЧХ у бік більш високих частот (див. рис. 3,4а). Останні зосереджені в діапазоні $\omega=10-11 \text{ c}^{-1}$ для розглядуваних варіантів типорозмірів шин. І саме цей частотний діапазон є найбільш не бажаним для коливань нерівностей профілю постійної технологічної колії, оскільки підсилює динамічною ланкою (тобто агрозасобом) вхідний збурювальний вплив з коефіцієнт підсилення більшим за позначку 6.

Погіршення динаміки вертикальних коливань агрозасобу не вдається покращити навіть збільшенням жорсткості його шин до 450 кН/м (крива 5, рис. 3,4а). А можливе зменшення останньої до 150 кН/м зменшує АЧХ з одночасним зміщенням її резонансних піків у бік низьких частот (крива 6, рис. 3,4а).

З точки зору бажаності відпрацювання динамічною системою збурення, що розглядається, суттєве збільшення коефіцієнта жорсткості шин ширококолісного агрозасобу є ефективним тільки в тому випадку, коли дисперсії коливань нерівностей постійної технологічної колії зосереджені в частотному діапазоні $\omega=0 \dots 8 \text{ c}^{-1}$ та $\omega=16 \dots 20 \text{ c}^{-1}$. За частотою збурювального впливу $\omega \leq 8 \text{ c}^{-1}$ вертикальні коливання агрозасобу дуже мало залежать від величини коефіцієнта жорсткості його шин. При цьому, для розглядуваних трьох варіантів шин коліс агрозасобу, бажано щоб дисперсії нерівностей профілю постійної технологічної колії повинні зосереджуватися в частотному діапазоні $\omega=13-15 \text{ c}^{-1}$, в якому розглядувана динамічна система майже не реагує на вхідний збурювальний вплив. Практично досягти цього можна відповідною технологією формування слідів постійної технологічної колії, або зміною жорсткості пневматичної шини шляхом підбору такого її тиску повітря, який би забезпечував мінімальне реагування динамічної системи на вхідне збурювання. І це практично можливе, оскільки побудовані АЧХ відпрацювання коливань нерівностей профілю шляху в зоні постійної технологічної колії ширококолісним агрозасобом з різним тиском повітря в шинах коліс показав суттєву різницю бажаного частотного діапазону ω , який наближає характеристики до ідеальних (рис. 3.5).

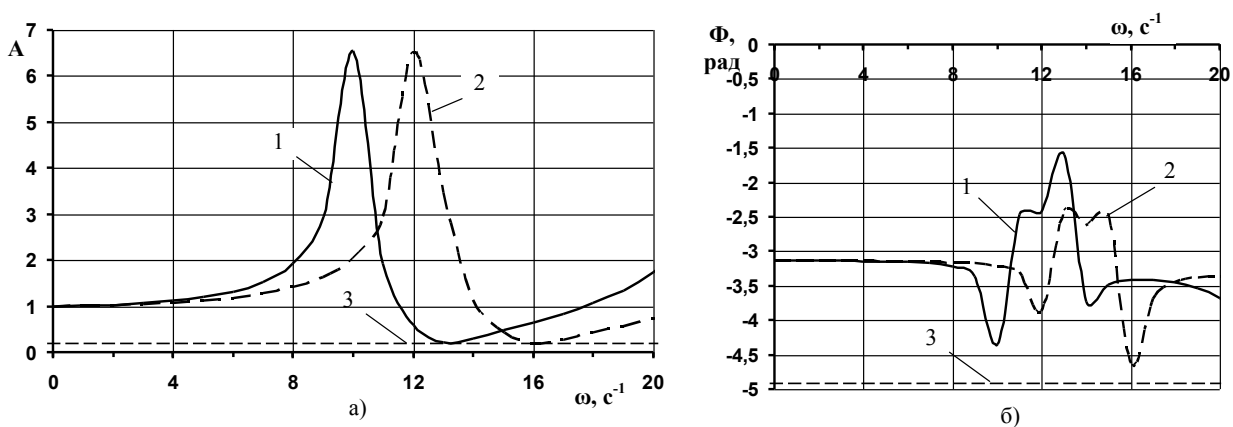


Рис. 3.5 - АЧХ (а) і ФЧХ (б) відтворення ширококолісним агрозасобом коливань профілю шляху з різним тиском в шинах 11,2R20: 1 - $p=160 \text{ кПа}$; 2- $p=240 \text{ кПа}$; 3- ідеальні характеристики

Якщо дисперсії нерівностей профілю постійної технологічної колії зосереджені в діапазоні менших частот, то зменшення жорсткості шин агрозасобу взагалі є ефективним. Наприклад, якщо зменшити жорсткість шин до 150 кН/м (крива 6, рис. 3,4а) бажаний частотний діапазон нерівностей профілю технологічної колії зміщується у бік $\omega=9-13 \text{ c}^{-1}$.

Динаміка вертикальних коливань технологічної частини ширококолісного агрозасобу обумовлюється, перш за все, жорсткістю шин опорних коліс $C_{ш3}$, якщо система підресорювання не містить інших елементів $C_3 = C_{ш3}$, та її експлуатаційною масою $M_{с.г.}$. Збільшення останньої з 300 до 500 кг призводить до небажаного підйому АЧХ відпрацювання технологічною частиною коливань профілю шляху разом із зміщенням резонансних піків у бік низьких частот (криві 2 та 3, рис. 3,6а). Якщо при цьому суттєво зменшити коефіцієнт жорсткості шин опорних коліс технологічної частини до 25 кН/м, тобто в 4 рази, (крива 5, рис. 3,6а), то резонансні піки АЧХ ще більше зменшуються в бік низьких частот, а коефіцієнт підсилення динамічною системою вхідного збурювального впливу на резонансній частоті зменшується тільки в 2 рази.

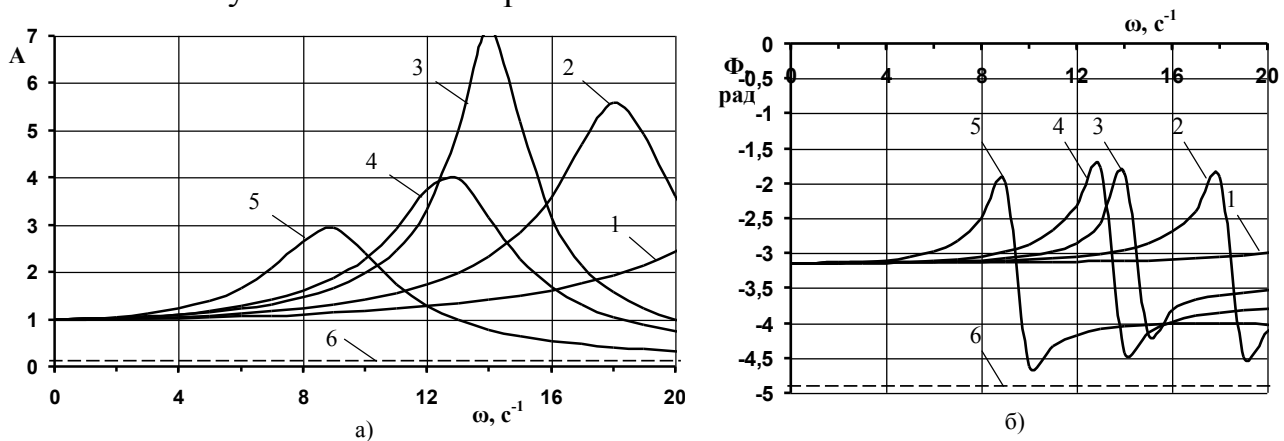


Рис. 3,6 – АЧХ (а) і ФЧХ (б) відтворення технологічною частиною коливань профілю шляху з різною масою ($M_{с.г.}$) і коефіцієнтами жорсткості шин опорних коліс ($C_{ш3}$): 1– $M_{с.г.}=300 \text{ кг}$; $C_{ш3}=200 \text{ кН/м}$; 2 – $M_{с.г.}=300 \text{ кг}$; $C_{ш3}=100 \text{ кН/м}$; 3– $M_{с.г.}=500 \text{ кг}$; $C_{ш3}=100 \text{ кН/м}$; 4– $M_{с.г.}=300 \text{ кг}$; $C_{ш3}=50 \text{ кН/м}$; 5– $M_{с.г.}=300 \text{ кг}$; $C_{ш3}=25 \text{ кН/м}$; 6– ідеальні характеристики

І лише на частотах ω більших за 13 c^{-1} АЧХ взагалі стає меншою за одиницю і наближає характеристики до ідеальних. А от збільшення жорсткості шин опорних коліс до 200 кН/м (крива 1, рис. 3,6а) навпаки – на низьких частотах (до $\omega=8..10 \text{ c}^{-1}$) відтворює технологічною частиною практично не значне підсилення вхідного збурювального впливу, лише на частоті $\omega=18 \text{ c}^{-1}$ величина коефіцієнта підсилення сягає позначки 2.

У бажаному частотному діапазоні $\omega=13-15 \text{ c}^{-1}$ коливань нерівностей профілю постійної технологічної колії для руху ширококолісного агрозасобу, як було зазначено раніше, зміна жорсткості шин опорного колеса технологічної частини призводить до наступного. При великій жорсткості шини $C_{ш3}=200 \text{ кН/м}$ (крива 1,

рис. 3,6а) АЧХ має підсилення вхідного збурювального впливу з коефіцієнтом не більшим за 1,5.

Подальше збільшення жорсткості шини, і навіть використання жорсткого обіду, наближає АЧХ до 1, т.б. динамічна система копіює нерівності профілю шляху. Зменшення жорсткості шини з 200 кН/м до 100 кН/м (крива 2, рис. 3,6а) для у вказаному частотному діапазоні збільшує АЧХ до амплітудних значень $A = 3$, віддаляючи амплітудну характеристику від ідеальної.

Зменшення жорсткості шини з 100 кН/м до 50 кН/м (крива 4, рис. 3.6а) ще більше погіршує динаміку руху технологічної частини у вертикальній площині у вказаному частотному діапазоні, навіть створюючи резонансне явище, оскільки резонансна частота припадає саме на $\omega = 13 \text{ c}^{-1}$. І лише зменшення коефіцієнта жорсткості шини до 25 кН/м наближає характеристики в частотному діапазоні $\omega = 13-15 \text{ c}^{-1}$ до ідеальних (крива 5, рис. 3,6а).

Практично мати таку низьку жорсткість пневматичної шини дуже складно. Наприклад, як показали розрахунки за відомою формулою Хедекеля з оцінки коефіцієнта жорсткості шини, при цьому ширина останньої повинна бути не більшою за 0,06 м, її діаметр – не більший за 0,1 м, а тиск повітря – не більший за 80 кПа. Навіть шина 4,00-10, яка є першою у типорозмірному ряду за ГОСТ 7463-2003 «Шини пневматичні для тракторів і с.-г. машин», за теоретичною оцінкою має коефіцієнт жорсткості не менший за 70кН/м.

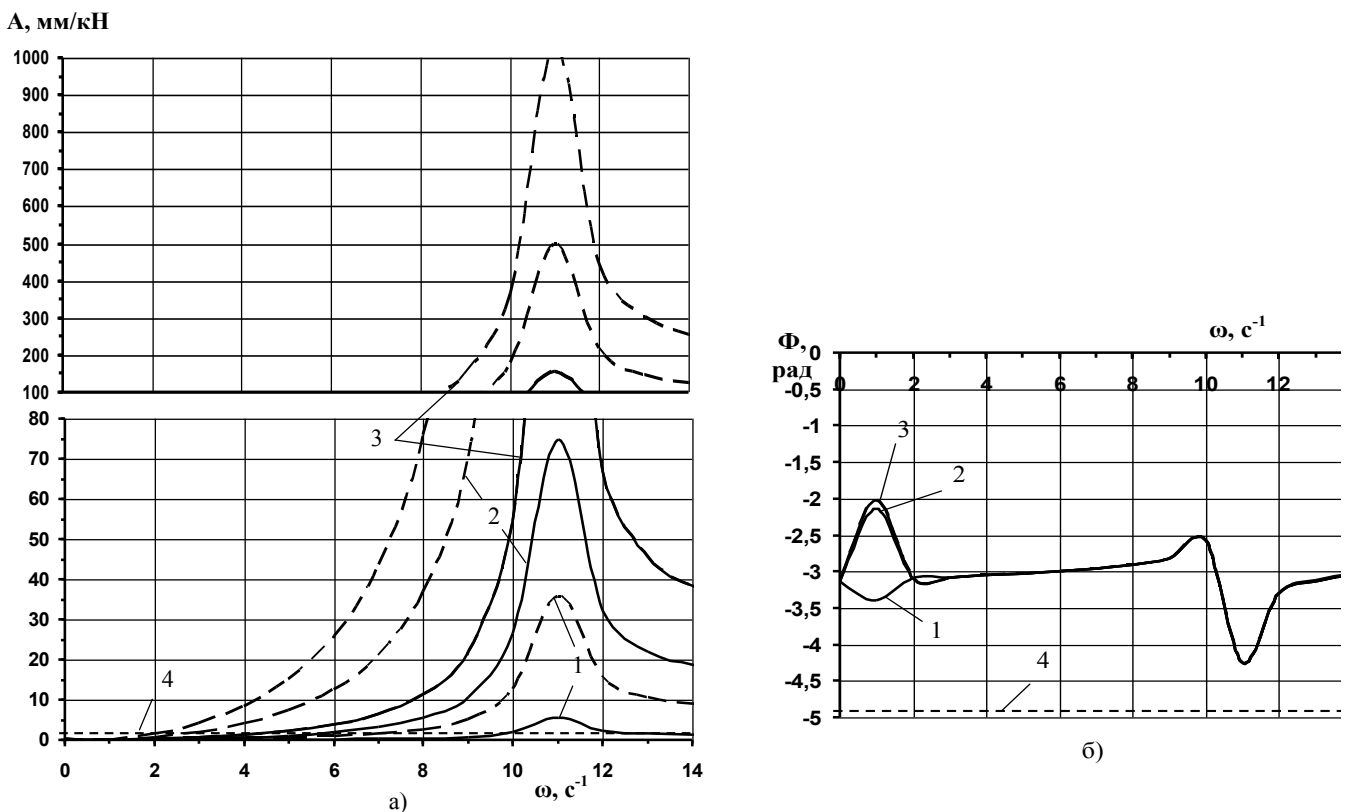


Рис. 3.7 – АЧХ (а) і ФЧХ (б) впливу коливань горизонтальної R_x (—) та вертикальної R_z (-----) складових тягового опору с.-г. знаряддя технологічної частини на коливання агрозасобу за різною відстанню виносу навісного механізму від-

носно його опорних коліс (конструктивний параметр b_n): 1- $b_n=1\text{м}$; 2- $b_n=0\text{м}$; 3- $b_n=-1\text{м}$; 4- ідеальні характеристики

Виходячи із вищевикладеного аналізу можна констатувати, що збільшення експлуатаційної маси технологічної частини недоцільне. Також, якщо основний спектр дисперсій нерівностей постійної технологічної колії буде зосереджений у високочастотному діапазоні $\omega=13-15\text{ с}^{-1}$, то значина коефіцієнта жорсткості його шин $C_{ш3}$ має бути не більшою за 25 кН/м . В протилежному випадку – використання опорних коліс технологічної частини з коефіцієнтом жорсткості шин близьким до 200кН/м і більше є бажаним для її динаміки руху у вертикальній площині.

Характер відпрацювання коливань тягового опору с.-г. знаряддя технологічної частини ширококоліїним агрозасобом суттєво залежить від відстані виносу навісного механізму відносно його опорних коліс (конструктивний параметр b_n) (рис. 3.7). Із аналізу отриманих АЧХ маємо, що зміщення відстані приєднання технологічної частини із заднього навішування с.-г. знарядь (крива 1, рис. 3.7а) в міжколісний простір агрозасобу, тобто центральне навішування с.-г. знарядь, (крива 3, рис. 3.7а) взагалі погіршує динаміку руху у вертикальній площині. Так, підсилення збудовального впливу при зміні конструктивного параметра b_n з 1м до -1м на резонансній частоті $\omega=11\text{ с}^{-1}$ для горизонтальної складової тягового опору R_x сягає майже в 20 разів, а для вертикальної R_z - в 30 разів.

Найбільш прийнятним з точки зору динаміки вертикальних коливань ширококоліїного агрозасобу є варіант заднього навішування с.-г. знарядь його технологічної частини. В такому випадку, в характерному для більшості с.-г. знарядь діапазоні частот коливань їх ($\omega=0\dots 14,0\text{ с}^{-1}$), на кожний 1кН тягового опору припадає від 5 до 35 мм амплітуди вертикальних коливань ширококоліїного агрозасобу (крива 1, рис. 3.7а).

Що стосується фазового зсуву відпрацювання динамічною системою збудовального впливу коливань тягового опору с.-г. знаряддя, то характер ФЧХ практично не суттєво залежить від конструктивного параметру b_n (рис. 3.7б). Додатковою ознакою в динаміці вертикальних коливань агрозасобу є наближення ФЧХ до ідеальних на резонансній частоті $\omega=11\text{ с}^{-1}$.

3.4. Результати експлуатаційно-технологічної оцінки двомашинного посівного агрегату

3.4.1. Оцінка трудоемкості агрегування посівного МТА

Процес агрегування дослідного машинно-тракторного агрегату полягав у оцінюванні трудоемкості його переведення із транспортного положення у робоче.

Транспортне положенні даного машинно-тракторного агрегату таке, коли за трактором цугом приєднані зчіпка, і дві сівалки СЗ-3,6 (рис. 3.8).

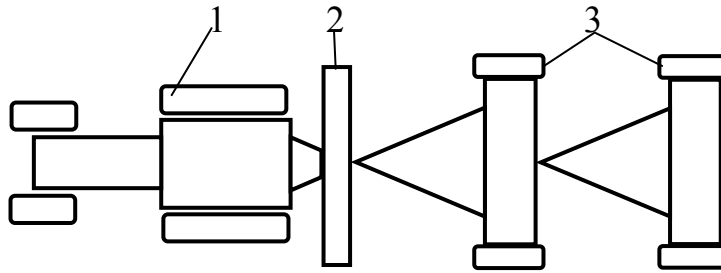
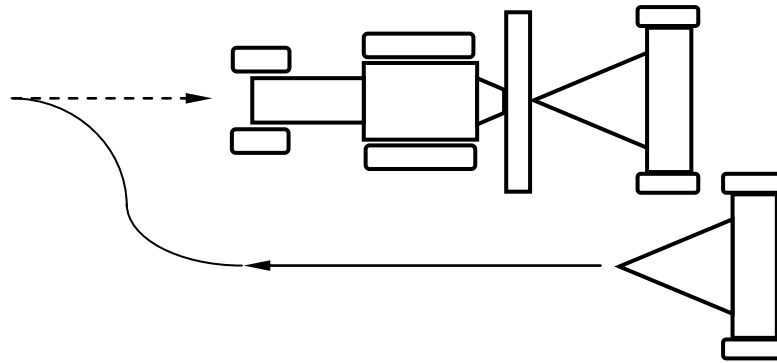


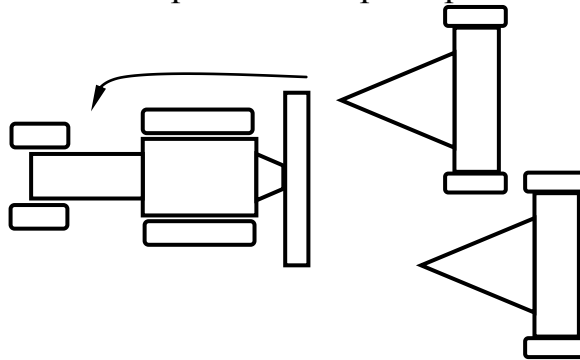
Рис. 3.8 – Схема транспортного положення посівного МТА:
1 – трактор; 2 – напівнавісна зчіпка; 3 – сівалки СЗ-3,6

Після прибуття агрегату на вихідну позицію (край поля) процес його агрегування включав наступні операції (табл. 4.2):

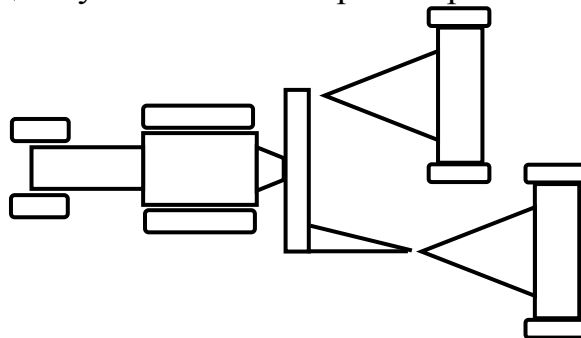
1. Від'єднання лівої сівалки і переміщення трактора вправо (приблизно на 3,5...4 м) і вперед (на 3 м) разом зі зчіпкою та приєднаною до неї правою посівною машиною:



2. Від'єднання правої сівалки і переміщення трактора вліво (приблизно на 2 м):



3. Переведення подовжувача зчіпки із транспортного положення у робоче:



4. Приєднання сніці правої сівалки до рами зчіпки, а гідравлічної системи – до гідророзподільника трактора.
5. Приєднання сніці лівої сівалки до подовжувача зчіпки, а гідравлічної системи – до гідророзподільника трактора.

Вказані операції виконували два механізатори. Як виявилось, весь процес агрегування зайняв менше 5 хв. Його загальна трудомісткість дорівнює 0,077 люд.-год. Найбільшу (43%) частку часу агрегування займає від'єднання лівої сівалки і переміщення трактора вправо і вперед разом зі зчіпкою та приєднаною до неї правою посівною машиною.

Налаштування даного машинно-тракторного агрегату із робочого положення у транспортне здійснюється га такою схемою:

- причіпні сівалки від'єднуються від зчіпки, а їхні гідравлічні системи – від гідравлічного розподільника трактора;
- подовжувач напівнавісної зчіпки переводиться із робочого положення в транспортне. Цю операцію здійснюють дві особи;
- шляхом відповідного маневрування трактор, разом із навішеною на нього зчіпкою, агрегується з однією (правою) із сівалок. Остання приєднується до скоби, яка розташована в центральній частині рами зчіпки;
- трактор, разом з навішеною зчіпкою і приєднаною причіпною сівалкою, агрегується з другою посівною машиною. Вона своєю сніцею приєднується до причіпної скоби першої сівалки.

Таблиця 4.2

Трудомісткість агрегування посівного МТА

№ п/п	Назва операції	Тривалість, с	Трудомісткість, люд.·год.
Від'єднання лівої сівалки і переміщення трактора вправо			
1.	Від'єднання сівалки	15	0,004
2.	Переміщення трактора вперед і вправо	30	0,008
3.	Рух трактора зі зчіпкою та сівалкою заднім ходом	75	0,021
Всього:		120	0,033
Від'єднання правої сівалки і переміщення трактора вліво			
4.	Від'єднання сівалки	15	0,004
5.	Переміщення трактора зі зчіпкою вліво	25	0,007
Всього:		40	0,011
Перевід подовжувача зчіпки із транспортного положення у робоче			
6.	Вивільнення фіксатора вертикального положення зчіпки	10	0,003
7.	Опускання подовжувача зчіпки в робоче положення	15	0,004
Всього:		25	0,007
Приєднання правої сівалки			
8.	Приєднання сніці сівалки до рами зчіпки	10	0,003
9.	Приєднання гідросистеми сівалки	35	0,010
Всього:		45	0,013
Приєднання лівої сівалки			
10.	Приєднання сніці сівалки до подовжувача зчіпки	10	0,003

11.	Приєднання гідросистеми сівалки	35	0,010
		Всього:	45
		Разом по процесу:	275
			0,013
			0,077



Рис. 3.9 – Дослідний МТА у робочому положенні

3.4.2. Визначення дійсної значини показника режиму повороту МТА

Рух машинно - тракторного агрегату з оптимальним радіусом повороту можливий тоді, коли показник режиму цього маневру (K_{Π}) відповідним чином пов'язує між собою конструктивні і кінематичні параметри МТА:

$$K_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{\omega} = 2 \cdot [l_T / \operatorname{tg} \varphi_3 + l_{CH} / \sin \varphi_3 - l_{CH} / 2]^2 \cdot \varepsilon_{\max} / L, \quad (8)$$

$$\text{де } \varphi_3 = 90 - \arccos[(l_{CH} - r_k) / R_1].$$

Кінематичні параметри агрегату – це, як випливає із виразу (8), – швидкість його руху на поворотній смузі V_{Π} і кутова швидкість повороту керованих коліс трактора ω .

На час проведення експериментальних досліджень конструктивні параметри, що ходять до виразу (4.1), були такими: $l_T = 1,04$ м; $l_{CH} = 2,15$ м; $l_{CH} = 3,6$ м; $L = 2,37$ м; $r_k = 0,59$ м; $R_1 = 2,52$ м; $\varepsilon_{\max} = \pi/2$ – для петльових поворотів; $\varepsilon_{\max} = \pi/4$ – для безпетльових поворотів.

Підставивши ці значини у (8), встановлюємо, що дійсна значина показника режиму повороту даного машинно-тракторного агрегату дорівнює:

- при здійсненні петльового повороту – 11,9 м/рад;
- при здійсненні безпетльового повороту – 5,9 м/рад.

Водночас, як було встановлено в процесі математичного моделювання, при віддаленні рами зчіпки від осі задніх коліс трактора на відстань $l_T = 1,95$ м дійсна значина показника режиму повороту машинно-тракторного агрегату може дорівнювати оптимальній $K_{\Pi_{\text{opt}}} = 11,4$ м/рад.

Рух дослідного посівного двомашинного МТА здійснювали на поворотній смузі, ширину якої (E_{Π}) для кожного із двох аналізованих видів повороту (безпетльового та петльового) знаходили із виразу:

$$E_{\Pi} = \operatorname{Int} (E_{\Pi_{\min}} / B_p) \cdot B_p, \quad (9)$$

де $E_{\Pi_{\min}}$ – мінімальна ширина поворотної смуги, м;

B_p – робоча ширина захвату МТА, м.

Мінімальну ширину поворотної смуги визначали наступним чином:

- для безпетльового повороту

$$E_{\min} = R_y + E + d_k;$$

- для петльового повороту:

$$E_{\min} = 2,7 \cdot R_y + E + d_k.$$

У цих формулах прийнято такі позначення: R_y – умовний радіус повороту, м. Згідно з визначенням, це такий радіус, з яким МТА здійснював би маневр виключно по колу, тобто без наявності перехідних ділянок входження агрегату у поворот і виходу із нього; E і d_k – довжина виїзду та кінематична ширина машинно-тракторного агрегату, м.

На практиці під довжиною виїзду МТА (E) мають на увазі прямолінійний шлях на поворотній смугі, який проходить кінематичний центр агрегату (т. А, рис. 3.10) до того моменту, коли останній ряд робочих органів його машини/машин вийде на контрольну лінію.

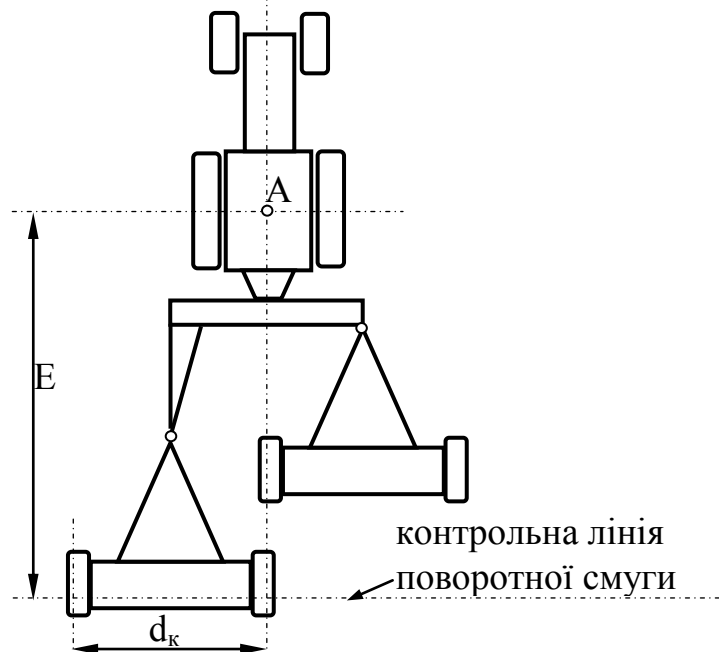


Рис. 3.10 – Схема для визначення кінематичних параметрів посівного МТА

Суть кінематичної ширину агрегату зрозуміла із рис. 3.10. Для несиметричних агрегатів вона, певна річ, різна. В даному випадку з достатньою для практики точністю можна прийняти, що цей параметр дорівнює ширині захвату сівалки. Тобто $d_k = 3,6$ м.

Що стосується величини E , то для даного МТА вона дорівнює 5,95 м.

За визначенням умовний радіус повороту можна виразити так:

$$R_y = R_{a_{\min}} + \frac{K_{\pi} \cdot L}{\pi \cdot R_{a_{\min}}}.$$

Проте, оскільки

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{K_{\Pi} \cdot L}{2 \cdot \varepsilon_{\max}}},$$

то

$$R_y = \sqrt{\frac{K_{\Pi} \cdot L}{2 \cdot \varepsilon_{\max}}} + \frac{K_{\Pi} \cdot L}{\sqrt{\frac{K_{\Pi} \cdot L}{2 \cdot \varepsilon_{\max}}}}.$$

З урахуванням конкретної значини величини ε_{\max} маємо:

- для безпетльового повороту

$$E_{\min} = R_y + E + d_k;$$

$$R_y = \sqrt{\frac{2 \cdot K_{\Pi} \cdot L}{\pi}} + \frac{K_{\Pi} \cdot L}{\sqrt{\frac{2 \cdot K_{\Pi} \cdot L}{\pi}}};$$

- для петльового повороту:

$$E_{\min} = 2,7 \cdot R_y + E + d_k;$$

$$R_y = \sqrt{\frac{K_{\Pi} \cdot L}{\pi}} + \frac{K_{\Pi} \cdot L}{\sqrt{\frac{K_{\Pi} \cdot L}{\pi}}}.$$

Після проведення відповідних розрахунків було встановлено, що для безпетльового способу повороту $E_{\min} = 16,15$ м, а для петльового $E_{\min} = 27,37$ м.

З урахуванням виразу (9) і того, що $B_p = 7,2$ м, остаточно маємо:

- для безпетльового повороту:

$$E_{\Pi} = \text{Int}(16,15/7,2) = 21,60 \text{ м};$$

- для петльового повороту:

$$E_{\Pi} = \text{Int}(27,37/7,2) = 28,80 \text{ м}.$$

Саме на смугах такої ширини в процесі реальної експлуатації і повинен здійснювати повороти дослідний машинно-тракторний агрегат.

Проте, в умовах експериментальних досліджень маневрування МТА спочатку здійснювали на смугах, ширина кожної із яких дорівнювала E_{\min} . Тільки за цієї умови можна відслідкувати вплив на процес повороту показника його режиму. Особливо при виконанні безпетльового повороту.

Аби упевнитися у цьому, розглянемо розрахункові і дійсні значини ширини кожної поворотної смуги. Для безпетльового повороту різниця між $E_{\Pi} = 28,80$ м і $E_{\min} = 27,37$ м становить всього 1,43 м. Водночас, для безпетльового повороту маємо $E_{\Pi} - E_{\min} = 21,60 - 16,15 = 5,45$ м. При цьому можна передбачати, що динаміка процесу повороту дослідного МТА на смузі шириною 16,15 м може суттєво відрізнятися від характеру цього процесу на смузі шириною, більшою на 5,45 м.

Як виявилось під час експериментальних досліджень, здійснення петльового (грушоподібного) повороту дослідним агрегатом відбувалося з середньою швидкістю $V_{\Pi} = 1,88$ м/с. Середня значина кутової швидкості повороту керованих коліс трактора (ω) становила при цьому $\omega = 0,155$ рад/с.

В результаті двомашинний посівний агрегат здійснював поворот, дійсна значина показника режиму якого була $1,88$ (м/с)/ $0,155$ (рад/с) = $12,1$ м/рад. Це лише на

1,7% більше за розрахункову значину величини K_{π} , яка для даного виду повороту даним МТА становить 11,9 м/рад. Навіть по відношенню до оптимальної (11,4 м/рад) дійсна значина показника режиму повороту більша всього на 6,1%.

Інша справа виявилася при здійсненні безпетльового повороту. В цьому випадку фази входу агрегату в поворот і виходу із нього є більш короткими, ніж при петльовому маневрі. Із-за цього, а також із-за меншої ширини поворотної смуги механізатор повинен за однієї і тієї ж швидкості переміщення МТА більш інтенсивно впливати на кермо трактора, що, в кінцевому рахунку, і обумовлює більш низьку значину показника режиму повороту агрегату – K_{π} .

Так, в умовах досліду за швидкості руху МТА на повороті $V_{\pi} = 1,90$ м/с величина кутової швидкості обертання керма під час входження агрегату у поворот і виходу із нього становила 0,30 рад/с. Лише такий режим зміни керуючого впливу дозволив вписатися в поворотну смугу шириною 16,15 м. Це обумовило здійснення маневру з показником режиму $K_{\pi} = 6,3$ м/рад. У порівнянні з розрахунковим (5,9 м/рад) він більший на 6,8%. Водночас, по відношенню до оптимальної дійсна значина показника K_{π} становить лише 55,3%. Тобто майже вдвічі менша.

Слід сказати, що дійсна значина кутової швидкості повороту керованих коліс трактора (0,30 рад/с) була на 36% більша за рекомендовану (0,22 рад/с). Проте, в іншому випадку, тобто при зменшенні величини ω , вписатися у ширину поворотної смуги 16,15 м не вдалося. Звідси випливає, що зменшити значину кутової швидкості повороту керованих коліс трактора ω до такого рівня, аби забезпечити виконання безпетльового повороту з оптимальною значиною показника режиму K_{π} , – на практиці немає можливості.

Не можна практично досягти цього і в тому випадку, якщо віддалити раму зчіпки від осі задніх коліс трактора. Справа в тому, що згідно з результатами математичного моделювання, зростання значини цього параметра дозволяє зменшити радіус повороту МТА. Але, тільки до тих пір, поки не будуть порушені умови маневру машинно-тракторного агрегату. В нашому випадку це актуально для лівостороннього повороту МТА, при якому радіус R_a можна зменшувати до тих пір, поки не виникне загроза контакту лівого колеса лівої сівалки з рамою зчіпки.

При досягненні максимально можливих значин кутів α і φ_3 отримаємо мінімальну значину радіусу повороту МТА – $R_{a_{\min}}$. Після цього подальше віддалення рами сівалки від трактора викликатиме, як випливає із виразу (8), зростання показника режиму повороту K_{π} . Проте відбуватиметься це за рахунок збільшення радіусу $R_{a_{\min}}$.

Таким чином, виконання безпетльових поворотів досліджуваний машинно-тракторного агрегат може здійснюватиме з показником режиму, який майже вдвічі більший за оптимальну значину. Але ж це тільки тоді, коли б дійсна ширина поворотної смуги (E_{π}) дорівнювала б мінімально потрібній (E_{\min}).

В реальних умовах експлуатації виявилось, що за дійсної, розрахованої вище, ширини поворотної смуги в 21,60 м дослідний машинно-тракторний агрегат навіть безпетльовий спосіб повороту може здійснювати з показником режиму, близьким до оптимального. Так, під час маневру МТА на смузі вказаної ширини зі швидкістю 1,92 м/с кутова швидкість повороту керованих коліс трактора склала 0,185 рад/с. Дійсна значина показника K_{π} дорівнювала при цьому 10,4 м/рад, що

лише на 8,7% менше від оптимальної (11,4 м/рад). Машинно-тракторний агрегат при виконанні маневру, тобто безпетльового повороту, повністю вписувався в ширину поворотної смуги 21,60 м.

З викладеного вище аналізу можна дійти висновку, що практичної потреби у збільшенні відстані між рамою напівнавісної зчіпки і віссю задніх коліс трактора немає. Тим більше, що таке рішення певною мірою ускладнює конструкцію машинно-тракторного агрегату. Це по-перше. По-друге, з одного боку збільшення величини l_T обумовлює зменшення радіусу повороту МТА, а з другого – призводить до зростання довжини його виїзду на поворотній смузі. В результаті час здійснення маневру може при цьому залишитися практично таким же.

3.4.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи двомашинного агрегату

Під час експлуатаційно-технологічних випробувань новим машинно-тракторним агрегатом здійснювали підживлення сходів озимої пшениці аміачною селітрою (рис. 3.11, 3.12). Умови і режим роботи були наступними:

- вологість ґрунту в шарі 0...15 см – 17,5 %;
- щільність ґрунту в шарі 0...15 см – 1,23 г/см³;
- спосіб руху на поворотній смузі – петльовий човниковий;
- середня швидкість руху на поворотній смузі – 1,9 м/с.



Рис. 3.11 – Двомашинний МТА на підживленні сходів озимої пшениці



Рис. 3.12 – Дослідний двомашинний агрегат під час повороту

Для порівняння випробовуваний машинно-тракторний агрегат працював на полі разом з аналогічним у складі трактора МТЗ-80 та однієї сівалки СЗ-3,6. Для організації роботи порівнюваних МТА поле було розділено на ділянки. При довжині гону L_{Γ} її ширину (C_d) для випробування нового агрегату визначали із наступного розрахунку. Априорі передбачали, що за швидкості руху V_p , робочої ширини захвату B_p , тривалості зміни $T_{зм}$ год і коефіцієнті її використання τ визначена ділянка поля буде повністю оброблена.

Аби не допускати більш-менш значного перекриття робочих проходів машинно-тракторного агрегату при внесенні добрив, трактор був обладнаний системою GPS-навігації CenterLine 220.

Застосування маршрутизатора руху дало можливість при розрахунках величини C_d вважати робочу ширину захвату агрегат B_p вважати рівною конструктивній (7,2 м). Передбачалося, що робоча швидкість руху дослідного МТА становитиме 2,5 м/с (9,0 км/год). Крім цього приймали, що $T_{зм} = 7$ год, а за нормальної організації технологічного процесу $\tau = 0,8$.

В результаті отримали, що

$$C_d = 1000 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{зм} \cdot \tau / L_{\Gamma} = 1000 \cdot 7,2 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 0,8 / 885 = 410 \text{ м.}$$

В кінцевому рахунку величину розраховану величину C_d приводили до цілого числа ($C_{дк}$), кратного ширині захвату МТА (B_p):

$$C_{дк} = \text{Int}(C_d / B_p) \cdot B_p = \text{Int}(410 / 7,2) \cdot 7,2 = 410,4 \approx 410 \text{ м.}$$

Саме на таких ділянках (410x885 м) працював дослідний двомашинний агрегат під час підживлення озимої пшениці аміачною селітрою. Аналіз хронометражних даних його роботи показав наступне. У порівнянні з контрольним швидкість робочого руху нового МТА була меншою лише на 2,2% (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Експлуатаційно-технологічні показники роботи посівних МТА

№ п/п	Показник	Значина для МТА	
		нового	базового
1.	Умови та режим роботи: - довжина гону, м	885	

	- швидкість руху, км/год	8,8	9,0
	- робоча ширина захвату, м	7,2	3,6
	- об'єм виконаної роботи, га	100	56
2.	Продуктивність праці 1 за годину: основного часу, га	6,3	3,2
	- змінного часу, га	4,9	2,5
	- експлуатаційного часу, га	4,8	2,4
3.	Питомі витрати палива, кг/га	3,05	3,80
4.	Експлуатаційно-технологічні показники:		
	- коефіцієнт використанні часу зміни	0,78	0,79
	- коефіцієнт використання експлуатаційного часу	0,76	0,75
	- коефіцієнт надійності технологічного процесу	1,0	1,0
	- середній час одного повороту, с	44	38

Практично рівними виявилися і експлуатаційно-технологічні показники порівнюваних машинно-тракторних агрегатів. Наявна різниця їх значин є статистично випадковою.

Водночас, за рахунок вдвічі більшої ширини захвату продуктивність праці дослідного агрегату за одну годину зміни була в 1,96 разів вищою. Експлуатаційна продуктивність його роботи виявилися більшою рівно вдвічі.

Як показали виробничі випробування, новий машинно-тракторний агрегат виявився більш економічним. Застосування нової зчіпки дозволило знизити питомі витрати палива з 3,80 л/га – у базового МТА до 3,05 л/га – у нового агрегату. Тобто економія склала 20%. Цілком зрозуміло, що добитися цього вдалося завдяки використанню двох сівалок в одному агрегаті замість однієї.

Під час експлуатаційно-технологічних випробувань було встановлено, що швидкість руху дослідного МТА знаходилась на рівні 1,90 м/с, а кутова швидкість повороту керованих коліс – 0,16 с⁻¹. В результаті показник режиму повороту становив $K_{\pi} = 1,90/0,16 = 11,9$ м/рад., що лише на 4,4% більше за оптимальну значину (11,4 м/рад) для цього (тобто петльового) виду повороту.

Як показали результати польових досліджень, середній час повороту дослідного машинно-тракторного агрегату був більшим в середньому на 15,8%. Водночас, питомі витрати часу на повороти зросли при цьому мало. Згідно з методикою ГОСТ 24055-88 вони (τ_{21}) визначаються із виразу:

$$\tau_{21} = \frac{10 \cdot T_{21} \cdot W_0}{L_r \cdot B_p},$$

де T_{21} – час на повороти, год;

W_0 – продуктивність роботи МТА за 1 годину основного часу, га/год.

Величину загального часу на повороти, здійснені новим агрегатом, можна знайти наступним чином:

$$T_{21} = \frac{\sum L_{\pi}}{V_{\pi}},$$

де $\sum L_{\pi}$ – сумарний шлях руху МТА на поворотних смугах, м;

V_n – середня швидкість руху агрегату на поворотній смузі, м/с.

Сумарний шлях руху МТА під час виконання ним петльових поворотів можна знайти із наступної залежності:

$$\sum L_n = (n - 1) \cdot (6 \cdot R_y + 2 \cdot L),$$

де n – кількість робочих проходів агрегату;

$n - 1$ – кількість петльових поворотів, здійснених МТА;

L – база трактора, м.

В свою чергу, величину n можна знайти із виразу:

$$n = C_{дк} / B_p = 410,4 / 7,2 = 57.$$

Звідси маємо, що дослідний МТА під час внесення мінеральних добрив на відведеній ділянці поля здійснить 56 петльових поворотів з умовний радіусом:

$$R_y = \sqrt{\frac{K_n \cdot L}{\pi}} + \frac{K_n \cdot L}{\sqrt{\frac{K_n \cdot L}{\pi}}}.$$

Раніше ми наголошували, що дослідний МТА виконував повороти з показником режиму $K_n = 11,9$ м/рад. В результаті маємо:

$$R_y = \sqrt{\frac{11,9 \cdot 2,37}{3,14}} + \frac{11,9 \cdot 2,37}{\sqrt{\frac{11,9 \cdot 2,37}{3,14}}} = 12,4 \text{ м}.$$

Після цього визначаємо сумарний шлях руху МТА на поворотних смугах:

$$\sum L_n = (57 - 1) \cdot (6 \cdot 12,4 + 2 \cdot 2,37) = 4432 \text{ м}.$$

Оскільки швидкість руху агрегату на поворотній смузі була 1,9 м/с, то загальний час, який мав витратити МТА на повороти, дорівнює:

$$T_{21} = 4432 / 1,9 = 2322 \text{ с} = 0,65 \text{ год}.$$

Як показали результати хронометражних спостережень, показник T_{21} на протязі однієї зміни для нового МТА становив 0,65 год, а для базового – 0,60 год.

В результаті отримали:

- для базового агрегату:

$$\tau_{21} = \frac{10 \cdot 0,60 \cdot 3,2}{0,885 \cdot 3,6} = 6,0;$$

- для нового МТА:

$$\tau_{21} = \frac{10 \cdot 0,65 \cdot 6,2}{0,885 \cdot 7,2} = 6,3.$$

Як бачимо, збільшення значини показника τ_{21} у нового агрегату в порівнянні з базовим становить лише 5%.

При внесенні мінеральних добрив дослідним машинно-тракторним агрегатом випадків зіткнення його сівалок під час маневрування на поворотній смузі не було. Не мали місце і випадки контакту правої причіпної сівалки з рамою зчіпки при здійсненні машинно-тракторним агрегатом лівостороннього повороту. В цілому технологічний процес протікав надійно, про що свідчить максимальна значина відповідного коефіцієнту, яка дорівнює 1 (див. табл. 3.3).

В принципі практиці відомі спроби використання трактора тягового класу 1,4 та двох сівалок типу СЗ-3,6 з причіпною зчіпкою. Для цього, наприклад, підходить центральна частина СП-16. Проте, довжина виїзду такого агрегату (Е) становить уже 9,35 м. Це на 57% більше, ніж у розробленого нами МТА на основі напівнавісної зчіпки.

В результаті слід очікувати наступні наслідки. Згідно з виразом (8) при виконанні, наприклад, петльових поворотів показник режиму K_p для серійного агрегату на основі причіпної зчіпки зростає до 24,8 м/рад. Із-за цього величина умовного радіусу повороту R_u для нього становить 17,9 м, а питомі витрати часу на повороти $\tau_{21} = 8,75$. Це на 38,8% більше, ніж питомі витрати часу на повороти дослідним МТА.

3.5. Основні результати досліджень за попередні роки

У 2011 році:

- запропоновано нову методику оцінки технологічної придатності тракторів для роботи у складі комбінованих МТА;
- розроблено блок-схему моделювання складу МТП для реалізації колійної системи землеробства;
- виявлено умови агрегування трактора серії ХТЗ-160 з серійним плугом ПЛН-5-35, модернізовано вказане орне знаряддя, визначено експлуатаційно-технологічні показники орного МТА у складі трактора ХТЗ-16132 і п'ятикорпусного переробленого плуга ПЛН-5-35;
- здійснено агрегування трактора серії ХТЗ-160 з 12-и рядною просапною сівалкою (ширина захвату 8,4 м), визначено експлуатаційно-технологічні показники просапного МТА у складі трактора ХТЗ-16132 і сівалки «Ортіма», проаналізовано вплив асиметричного приєднання сівалки на прямолінійність руху посівного агрегату;
- проведено експлуатаційно-технологічні випробування трактора ХТЗ-16132 в агрегаті із фронтально навішеною шестиметровою валковою жниваркою і задньонавісною дисковою бороною, ширина захвату якої становить 3,15 м;
- розроблено технологічну схему орно-удобрювального агрегату на основі трактора сімейства ХТЗ-160, здійснено агрегування трактора ХТЗ-16132 з фронтально навісним розкидачем мінеральних добрив і задньонавісним орним знаряддям (плугом ПЛН-5-35), розроблено технологічні схеми руху орно-удобрювального агрегату під час виконання ним внесення добрив з одночасним їх загортанням у ґрунт;
- здійснено випробування трактора ХТЗ-17022 на сівбі озимого соняшнику.

У 2012 році:

- модернізовано просапний культиватор КРН-8,4 для здійснення ним суцільного обробітку ґрунту, проведено агрегування та лабораторно-польові дослідження вказаного знаряддя з трактором ХТЗ-17022, визначено основні експлуатаційно-технологічні показники роботи нового агрегату;

- проведено теоретичні дослідження процесу поперечних відхилень робочих органів просапних знарядь із тракторами загального (типу ХТЗ-170) та орно-просапного (типу ХТЗ-160) призначень, встановлено закономірності впливу компоновальної схеми колісного енергетичного засобу на амплітуду поперечних відхилень просапних знарядь у горизонтальній площині;
- проведено лабораторно-польові випробування трактора загального призначення ХТЗ-17022 з 12-и рядною просапною німецькою сівалкою «Optima», встановлено основні експлуатаційно-технологічні показники роботи нового агрегату;
- модернізовано плуг-чизель для здійснення глибокого смугового обробітку ґрунту для реалізації вирощування просапних (і інших) сільськогосподарських культур за новою «strip»-технологією. Здійснено агрегування та польові випробування трактора ХТЗ-17022 з модернізованим плугом-чизелем, експериментально оцінено траєкторні показники руху нового МТА, а також визначено основні експлуатаційно-технологічні показники його роботи;
- на прикладі трактора ХТЗ-16132 оцінено технологічну універсальність його застосування в технології вирощування с.-г. культури.

У 2013 році:

- запропоновано аналітичну залежність для розрахунку необхідної потужності двигуна енергетичного засобу з урахуванням його номінального тягового зусилля, а також умов практичної експлуатації;
- проведено лабораторно-польові випробування трактора загального призначення ХТЗ-17022 з 12-и рядною просапною німецькою сівалкою «Optima», встановлено основні експлуатаційно-технологічні показники роботи нового агрегату;
- сформульовано вимоги до механізатора, робота якого може забезпечити задовільну прямолінійність руху просапного машинно-тракторного агрегату на основі трактора з шарнірно-зчленованою рамою;
- здійснено випробування трактора ХТЗ-17022 на прямій сівбі озимої пшениці сівалкою СРН 20/2010F;
- модернізовано плуг-чизель для здійснення глибокого смугового обробітку ґрунту для реалізації вирощування просапних (і інших) сільськогосподарських культур за новою «strip-till»-технологією.

У 2014 році:

- розглянуто два варіанти приєднання фронтального плуга до орно-просапного трактора серії ХТЗ160; запропоновано аналітичні залежності, які репрезентують умови стабільного руху фронтального плуга після його заглиблення у ґрунт;
- виведено аналітичні залежності, які описують взаємозв'язок конструктивних параметрів повнопривідного трактора з точки зору забезпечення оп-

тимальної значини коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі його рушіїв;

- проведено лабораторно-польові випробування трактора загального призначення ХТЗ-17022 з плугом-чизелем на смуговому обробітку ґрунту для вирощування просапних культур за технологією «strip-till»; встановлено, що прямолінійність розпушених новим агрегатом смуг відповідає вимогам щодо прямолінійності рядів просапних культур.

У підсумку за 2011 рр. розроблено:

- орний агрегат у складі трактора ХТЗ-16131 і плуга ПЛН-5-35;
- агрегат для суцільної культивування зябу у складі трактора ХТЗ-17022 і модернізованого культиватора КРН-8,4;
- агрегат для сівби просапних культур з міжряддями 70 см у складі трактора ХТЗ-17022, обладнаного подвоєними шинами 23,1R26, і 12-рядної просапної сівалки «Optima»;
- фронтальний двокорпусний плуг ПЛН-2-35Ф;
- агрегат для обробітку парів у складі трактора МТЗ-80 з подвоєними шинами і 9 борін БЗТС-1,0 з новими робочими органами;
- нову напівнавісну зчіпку для агрегування тракторів тягового класу 1,4 з двома причіпними зерновими сівалками типу СЗ-3,6;
- нову методику експлуатаційно-технологічної оцінки МТА.

ВИСНОВКИ

1. За умовами прийнятної непрямолінійності руху дисперсія коливань траєкторії переміщення просапного МТА не повинна перевищувати $12,50 \text{ см}^2$, а частота зрізу нормованої спектральної щільності має бути меншою за $0,25 \text{ м}^{-1}$. Лабораторно-польовими дослідженнями агрегату у складі трактора ХТЗ-1022 з подвоєними шинами і 12-рядної просапної сівалки з міжряддями 70 см встановлено, що за дисперсією ($5,65 \text{ см}^2$) непрямолінійність руху даного посівного МТА є прийнятною, а частотою ($0,70 \text{ м}^{-1}$) – ні.
Водночас, на практиці більш важливим показником є не частота зрізу нормальної спектральної щільності коливань траєкторії рядків, а їх дисперсія. З огляду на це використання трактора з шарнірно-зчленованою рамою для сівби просапної культури є можливим. Єдиною умовою при цьому має бути ретельний відбір оператора-механізатора, здатного забезпечувати бажані траєкторні показники посівного агрегату на основі такого енергетичного засобу.
2. Аналіз експлуатаційно-технологічних показників роботи агрегату у складі трактора ХТЗ-17022 і 12-рядної просапної сівалки, показав, що за 8 год змінного часу він здатний засіяти щонайменше 55 га.
3. Обладнання трактора ХТЗ-17022 подвоєними штатними шинами 23,1R26 обумовило зменшення ущільнення ґрунту по слідах проходження його рушіїв на 6,1%. У порівнянні з агротехнічним фоном рух даного енергетичного засобу характеризується збільшенням щільності ґрунту лише на $0,02 \text{ г/см}^3$ або на 1,6%.
4. У підсумку середня глибина загортання насіння соняшнику по слідах трактора становила 5,6 см. Поза слідами колії трактора цей показник дорівнював 5,8 см. Згідно із загальновідомим F-критерієм Фішера нуль-гіпотеза про рівність цих двох оцінок не відхиляється: як на статистичному рівні 0,05, так і на рівні 0,01.
5. За паспортними даними експлуатаційна маса колісних тракторів тягового класу 3 серій ХТЗ-160 і ХТЗ-170 становить 8,7 т, а номінальна потуж-

ність їх двигунів дорівнює 132,4 кВт. Згідно із запропонованими новими методичними засадами експлуатаційна маса колісного трактора тягового класу 3 повинна становити 7,55 т, а мінімальна потужність двигуна – 190 кВт. Енергонасиченість такого енергетичного засобу дорівнює 25,1 кВт/т. Це в 1,65 рази більше, ніж значина цього показника для серійних тракторів серії ХТЗ-160 і ХТЗ-170.

6. Застосування нової методики розрахунку для колісного трактора тягового класу 4 показує, що мінімальна потужність двигуна цього енергетичного засобу повинна дорівнювати 240 кВт (326 к.с.), експлуатаційна маса – 9,4 т, а енергонасиченість – 25,5 кВт/т.
7. У результаті математичного моделювання динаміки плоскопаралельного руху ширококолісного агрозасобу у поздовжньо-вертикальній площині встановлено, що з точки зору бажаності відпрацювання динамічною системою збурення, суттєве збільшення коефіцієнта жорсткості шин ширококолісного агрозасобу є ефективним тільки в тому випадку, коли дисперсії коливань нерівностей профілю постійної технологічної колії зосереджені в частотному діапазоні $0...8\text{ с}^{-1}$ та $16...20\text{ с}^{-1}$. Розглядувана динамічна система майже не реагує на збурення, якщо основний спектр дисперсії нерівностей профілю постійної технологічної колії зосереджується в частотному діапазоні $13-15\text{ с}^{-1}$.
8. Теоретичними дослідженнями встановлено, якщо основний спектр дисперсій нерівностей постійної технологічної колії буде зосереджений у високочастотному діапазоні $13-15\text{ с}^{-1}$, то значина коефіцієнта жорсткості його шин опорних коліс технологічної частини ширококолісного агрозасобу має бути не більшою за 25 кН/м або не меншою за 200кН/м.
9. Характер відпрацювання коливань тягового опору технологічної частини ширококолішнім агрозасобом суттєво залежить від положення навісного механізму. Встановлено, що зміщення навісного механізму із положення заднього навішування в центральне – погіршує динаміку його руху у вертикальній площині. З практичної точки зору незадовільний результат останнього можна компенсувати зміною жорсткості пневматичної шини шляхом підбору такого її тиску повітря, який би забезпечував мінімальне реагування динамічної системи на нерівності профілю постійної технологічної колії.
10. При виконанні досліджуваним агрегатом безпетльових поворотів дійсна значина показника режиму їх здійснення ($K_{\pi} = 11,45\text{ м/рад}$) практично відповідає оптимальній (11,40 м/рад). Натомість, безпетльові повороти МТА будуть здійснюватися з показником режиму 5,7 м/рад, що хоча і входить в допустимий діапазон його зміни (4,5...25,0 м/рад), проте є меншим за оптимальний рівень.
11. На поворотній смузі мінімальної ширини новий машинно-тракторний агрегат може здійснювати петльові повороти з показником режиму, близьким до оптимального, а безпетльові – з показником майже вдвічі біль-

шим за нього. Реалізація обох видів повороту МТА в оптимальному режимі має місце на поворотній смузі, дійсна ширина якої більша за мінімально розрахункову і кратна ширині захвату агрегату.

- 12.** Застосування нового двомашинного агрегату на основі напівнавісної зчипки у порівнянні з одномашинним МТА збільшує питомі витрати часу на поворотній смузі не більше, ніж на 5%. Водночас, за рахунок більшої в два рази ширини захвату дослідного агрегату у порівнянні з серійним змінна та експлуатаційна продуктивність його роботи є майже вдвічі вищою, а питомі витрати палива щонайменше на 20% меншими.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 268 р.
2. Надикто В. Т., Назарова О.П., Черная Т.С. Частотно-дисперсионный показатель оценки непрямолинейности рядов пропашных культур // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 8. Р. 15–17.
3. Безуглий М.Д. et al. Чи потрібен Україні типаж тракторів // Вісник аграрної науки. 2009. № 7. Р. 55–58.
4. Надикто В. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт // Техніка і технології АПК. 2014. № 7. Р. 34–38.
5. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації // Техніка і технології АПК. 2011. № 9. Р. 8–11.
6. Надикто В.Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 3. Р. 26–30.
7. Nadykto V., Arak M., Olt J. Theoretical research into the frictional slipping of wheeltypes undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil // Agron. Res. Estonian Research Institute of Agriculture, 2015. Vol. 13, № 1. Р. 148–157.
8. Надикто В. Проблеми баластування колісних тракторів // Техніка і технології АПК. Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки..., 2013. № 2. Р. 7–9.
9. Bulgakov V. et al. A mathematical model of the plane-parallel movement of an asymmetric machine-and-tractor aggregate // Agriculture. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018. Vol. 8, № 10. Р. 151.
10. Bulgakov V. et al. Theory of vertical oscillations and dynamic stability of combined tractor-implement unit // Agron. Res. 2016. Vol. 14, № 3. Р. 689–710.
11. Bulgakov V. et al. Structure Development and Results of Testing a Novel Modular Power Unit // Agric. Agric. Sci. Procedia. Elsevier Srl, 2015. Vol. 7, № 2000. Р. 40–44.
12. Надикто В. Методика визначення потужності двигуна сільськогосподарського трактора // Техніка і технології АПК. 2014. № 1. Р. 7–9.
13. Надикто В.Т., Чаплинський А.П. До питання про тяговий коефіцієнт корисної дії модульного енергетичного засобу // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. 2006. № 35. Р. 118–129.
14. Bulgakov V. et al. Theoretical consideration of the controllability indicator of machine-tractor unit movement // Acta Technol. Agric. 2017. Vol. 20, № 1. Р. 11–18.

КЕРІВНИЙ ДОКУМЕНТ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОЦІНКА

Розробники: докт. техн. наук **Адамчук В.В.**, канд. техн. наук **Грицишин М.І.** –
Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України,
докт. техн. наук **Надикто В.Т.**, канд. техн. наук **Караєв О.Г.** –
Таврійський державний агротехнологічний університет

1 Сфера застосування

1.1 Цей керівний документ поширюється на сільськогосподарську техніку (трактори, самохідні шасі, комбайни, сільськогосподарські машини/знаряддя, далі – техніка) і встановлює єдині критерії її оцінки, номенклатуру експлуатаційно-технологічних показників і методи їх визначення: прогнозовані на етапі створення, і фактичні – за результатами випробувань та виробничої експлуатації за призначенням.

1.2 Дані випробувань використовуються для техніко-економічної оцінки техніки, у тому числі і на її відповідність технічному завданню (ТЗ) чи технічним умовам (ТУ), а також для нормування продуктивності роботи техніки та витрат пального.

1.3 Вимоги цього керівного документу поширюються на наукові (проблемні) лабораторії, дослідні станції, господарства тощо.

2 Терміни і визначення

2.1 **Експлуатаційно-технологічна оцінка** – оцінка експлуатаційних властивостей техніки, які характеризують її здатність виконувати технологічний процес в межах агротехнічного строку з оптимальною продуктивністю і заданою якістю та мінімальними втратами часу робочої зміни.

2.2 **Технологічна операція** – цілеспрямований вплив на ґрунт, рослини, сільськогосподарську продукцію та інший технологічний матеріал для досягнення заздалегідь визначеної зміни їх властивостей, стану або форми.

2.3 **Сільськогосподарський/машинно-тракторний агрегат (СГА/МТА)** – автономний мобільний енерготехнологічний комплекс, призначений для виконання однієї чи одночасно кількох технологічних операцій сільськогосподарського виробництва із заданими агротехнічними вимогами. Якщо енергетичною базою цього комплексу є трактор, то він називається машинно-тракторним агрегатом (МТА).

2.4 **Комбінований МТА** – машинно-тракторний агрегат, призначений для виконання за один робочий прохід кількох технологічних операцій.

2.5 **Технологічний переїзд** – переїзд агрегату для наступного завантаження / вивантаження його технологічним матеріалом (зерном, водою, добривами тощо).

2.6 **Технологічний час** – час, необхідний для виконання технологічного процесу з урахуванням циклічно повторюваних операцій (поворотів, технологічного обслуговування) та операцій усунення технологічних відмов.

2.7 **Робоча зміна** – час роботи, на протязі якого робітник (механізатор) на сільськогосподарському чи машинно-тракторному агрегаті виконує операції технологічного процесу, які обумовлюють продуктивність його використання.

2.8 **Контрольна зміна** – період роботи техніки в одну повну робочу зміну на одному фоні за чіткої організації праці, визначенні і контролю режиму та якості роботи за умови ведення хронографії робочого часу.

2.9 **Хронографія** – реєстрація переліку та тривалості усіх операцій роботи техніки у хронологічному порядку.

2.10 **Вид роботи** – технологічна операція, яка виконується визначеним складом агрегату у відповідності з призначенням випробовуваної техніки і заданими технологічними параметрами, які передбачають їх регулювання.

2.11 **Агротехнічний фон** – певне поєднання показників для одного і того ж виду робіт, які характеризують умови роботи техніки під час її випробувань (попередник, висота стерні, вологість і щільність ґрунту, забур'яненість, урожайність, ширина міжрядь тощо).

2.12 **Типовий фон** – стан фону, передбаченого ТЗ /ТУ на техніку, що випробовується.

3 Загальні положення

3.1 Експлуатаційно-технологічну оцінку техніки проводять у тих зонах і на тих видах робіт, для яких вона призначена.

3.2 На кожному виді робіт випробування техніки проводять на типовому агротехнічному фоні.

3.3 Експлуатаційно-технологічну оцінку нової техніки проводять шляхом порівняння отриманих експлуатаційно-технологічних показників з аналогічними показниками базового варіанту або ТЗ чи ТУ.

3.4 У якості базового варіанту приймають результати випробувань серійної техніки аналогічного призначення, отримані у співставних умовах, тобто на одному і тому ж фоні, у один і той же час.

3.5 У випадку відсутності базового варіанту експлуатаційно-технологічну оцінку нової техніки проводять шляхом порівняння отриманих експлуатаційно-технологічних показників з ТЗ або ТУ.

3.6 При підготовці нової техніки до експлуатаційно-технологічних випробувань мають бути дотримані наступні вимоги:

- технічний стан техніки, представленої на випробування, має відповідати вимогам ТЗ або ТУ;
- перед початком випробувань техніка має бути відрегульована і підготовлена у відповідності до вимог технологічної операції чи технологічного процесу, який буде нею виконуватися;
- техніка повинна агрегатуватися з відповідними їй енергетичними засобами і відповідати вимогам безпеки та гігієни праці;
- енергетичні засоби (трактори, самохідні шасі, комбайни тощо) і електроприводи сільськогосподарських агрегатів повинні відповідати нормативам, установленим їхньою технічною документацією;
- технічне і технологічне обслуговування техніки під час її випробувань має здійснюватися персоналом і технічними засобами, передбаченими інструкцією з її експлуатування.

3.7 Експлуатаційні випробування техніки здійснюються протягом не менше 3-х контрольних змін, загальною тривалістю не менше 18 годин змінного часу.

3.8 Похибка вимірювань контрольованих параметрів не повинна перевищувати значень, вказаних у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Похибка вимірювань

Назва показника	Похибка вимірювання, %
Час: до 5 хв	±1
> 5 хв	±0,5
Лінійні розміри	±1
Маса	±0,5
Витрати палива	±2
Витрати рідини	±3
Витрати електроенергії	±1

4 Перелік первинної інформації та методи її отримання

4.1. Під час проведення експлуатаційно-технологічної оцінки випробовуваної техніки фіксують наступні дані:

- склад МГА або технологічної лінії і кількість обслуговуючого її персоналу, вид роботи, дату і місце проведення випробувань;
- умови роботи;
- режим роботи;
- тривалість елементів часу зміни;
- витрати пального та технологічних матеріалів;
- об'єм виконаної роботи.

4.2. Обслуговуючим персоналом вважають лише тих осіб, які приймають безпосередню участь у процесі випробувань техніки (механізатори, оператори, сівальники, майстри-наладчики тощо).

4.3. Умови і режим роботи визначають згідно вимог нормативних документів на випробування відповідного типу техніки.

4.4. Хронографію робочого періоду випробування техніки здійснюють шляхом реєстрування тривалості усіх елементів часу зміни. При реєструванні витрат часу на усунення технологічних і/або технічних відмов випробовуваної техніки вказують причини їх прояву.

4.4.1. Реєстровану інформацію заносять у форму листа спостереження (додаток А).

4.4.2. Після завершення спостереження здійснюють первинну обробку отриманих даних. Для цього:

- у відповідності з додатком В проводять шифрування елементів часу зміни, за наявності видаляють результати помилкових вимірювань;
- визначають сумарну тривалість кожного елементу часу зміни;
- у відповідності з додатком А розраховують зведені показники роботи техніки, що проходила випробування;
- у листі спостереження оформляють зауваження щодо процесу випробування техніки.

5.5. Витрати пального за зміну визначають одним із наступних методів:

- використання приладу, який реєструє витрати палива;
- контрольованої дозправки паливом енергетичного засобу, з яким проводили випробування техніки, після завершення зміни.

4.6. Кількість використаного технологічного матеріалу визначають шляхом обліку його фактичних витрат за зміну.

4.7. Обсяг виконаної роботи визначають наступним чином:

- розмір обробленої (зібраної) ділянки – безпосереднім вимірюванням;
- кількість зібраної (внесеної, перевезеної, переробленої) основної і побічної продукції – зважуванням.

4.8. Після завершення робочого дня спостерігач разом з провідним інженером оформляють лист спостереження, підписують його і передають для розрахунку і оформлення експлуатаційно-технологічних показників роботи техніки, що проходила випробування (додаток С).

5 Критерії експлуатаційно-технологічних показників та методи їх визначення

- 5.1. Час основної роботи техніки – T_1 , год (шифр групи 1).
 5.2. Витрати часу на повороти – T_2 , год (шифр групи 2).
 5.3. Витрати часу на технологічне обслуговування – T_3 , год (шифр групи 3).
 5.4. Витрати часу на технологічні відмови – T_4 , год (шифр групи 4).
 5.5. Витрати часу на технічне обслуговування – T_5 , год (шифр групи 5).
 5.6. Витрати часу на усунення технічних відмов – T_6 , год (шифр групи 6).
 5.7. Витрати часу на щоденне технічне обслуговування машин, агрегатів з випробовуваною – T_7 , год (шифр групи 7).
 5.8. Витрати часу на відпочинок обслуговуючого персоналу – T_8 , год (шифр групи 8).
 5.9. Витрати часу на холості переїзди – T_9 , год (шифр групи 9).

- 5.10. Технологічний час зміни – $T_{\text{техн}}$, год:

$$T_{\text{техн}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4.$$

- 5.11. Час зміни – $T_{\text{зм}}$, год:

$$T_{\text{зм}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_7 + T_8 + T_{9.1}.$$

- 5.12. Експлуатаційний час – $T_{\text{ек}}$, год:

$$T_{\text{ек}} = T_{\text{зм}} + T_6 + T_{9.2}.$$

- 5.13. Коефіцієнт робочих ходів – φ :

$$\varphi = \frac{T_1}{T_1 + T_2}.$$

- 5.14. Середній час одного повороту – $t_{\text{п}}$, с:

$$t_{\text{п}} = \frac{T_2 \cdot 60}{N_{\text{п}}},$$

де $N_{\text{п}}$ – кількість поворотів за час зміни.

- 5.15. Коефіцієнт технологічного обслуговування – $K_{\text{то}}$:

$$K_{\text{то}} = \frac{T_1}{T_1 + T_3}.$$

- 5.16. Коефіцієнт надійності технологічного процесу – $K_{\text{нп}}$:

$$K_{\text{нп}} = \frac{T_1}{T_1 + T_4}.$$

- 5.17. Коефіцієнт використання технологічного часу – $\tau_{\text{т}}$:

$$\tau_{\text{т}} = \frac{T_1}{T_{\text{техн}}}.$$

- 5.18. Коефіцієнт використання змінного часу – $\tau_{\text{зм}}$:

$$\tau_{\text{зм}} = \frac{T_1}{T_{\text{зм}}}.$$

5.19. Коефіцієнт використання експлуатаційного часу – $\tau_{ек}$:

$$\tau_{зм} = \frac{T_1}{T_{ек}}.$$

5.19. Продуктивність роботи за 1 годину, га(т)/год:

а) основного часу – $W_о$:

$$W_о = \frac{B}{T_1};$$

б) технологічного часу – $W_{техн}$:

$$W_{техн} = \frac{B}{T_{техн}};$$

в) змінного часу – $W_{зм}$:

$$W_{зм} = \frac{B}{T_{зм}};$$

г) експлуатаційного часу – $W_{ек}$:

$$W_{ек} = \frac{B}{T_{ек}},$$

де B – наробіток техніки (га, т).

5.20. Питомі витрати пального – q , л/га(т):

$$q = \frac{G}{B},$$

де G – витрати пального на весь обсяг виконаної роботи, л.

5.21. Наробіток техніки у мото-годинах ($n_{мг}$, мото-год) за період випробувань визначають за показником мотолічильника енергетичного засобу або за формулою:

$$n_{мг} = \frac{G}{g_о},$$

де $g_о$ – погодинні витрати пального двигуном енергетичного засобу (л/год) при максимальному його завантаженні (згідно із паспортними даними).

5.22. Наробіток випробовуваною машиною мото-годин:

а) на 1 технологічну відмову – $n_{техн}$:

$$n_{техн} = \frac{n_{мг}}{N_{техн}};$$

б) на 1 технічну відмову – $n_{тех}$:

$$n_{техн} = \frac{n_{мг}}{N_{тех}},$$

де $N_{техн}$, $N_{тех}$ – кількість технологічних і технічних відмов випробовуваної техніки відповідно.

5.23. Затрати праці на одиницю виконаної роботи – $Z_{п}$, люд.·год/га(т):

$$Z_{п} = \frac{L_{оп}}{W_{зм}},$$

де $L_{оп}$ – кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Додаток А
(обов'язковий)

Оформлення результатів спостереження

Форма А.1 \ Лист спостереження

Склад МТА: _____ + _____ + _____
(енергетичний засіб) (зчеп) (кількість

і марка с.-г. машин)

Механізатор _____

Допоміжний обслуговуючий персонал, люд. _____

<p>Область і район _____ Господарство _____ Вид роботи _____ Культура і сорт _____</p> <p style="text-align: center;">Умови роботи:</p> <p>Рельєф¹ - <i>рівний, схил, хвилястий</i> Мікрорельєф¹ - <i>гладкий, гребенистий</i> Грунт¹ - <i>легкий, середній, важкий</i> Вологість ґрунту¹ - <i>сухий, вологий</i> Погода¹ - <i>хмарно, ясно, вітер</i> Забур'яненість¹ - <i>слабка, середня, сильна</i> Попередник _____ Попередній обробіток _____ Ширина міжрядь, см _____ Висота культурних рослин, см _____</p> <p style="text-align: center;">Режим роботи:</p> <p>Дійсна ширина захвату, м _____ Швидкість робочого руху, км/год _____ Глибина обробітку ґрунту, см _____ Висота стерні, см _____ Норма висіву (внесення), кг/га _____</p> <p>¹⁾ Потрібне підкреслити</p>	<p>Дата _____ Зміна _____ Час спостереження: початок _____ кінець _____ тривалість _____</p> <p>Витрати пального (л): Було _____ Долито _____ Залишилось _____ Витрачено за зміну _____ Питомі витрати пального, л/га (т) _____</p> <p style="text-align: center;">Схема ділянки і спосіб руху МТА</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p>Змінний виробіток МТА, га (т)</p> <p style="text-align: center;">_____</p>
--	---

Додаток В
(обов'язковий)

Характеристика елементів часу зміни

Таблиця В.1 – Характеристика елементів часу зміни

Назва елементу часу зміни	Шифр	Характеристика
1	2	3
Час основної роботи	T_1	Час, на протязі якого випробовувана техніка безпосередньо здійснює технологічний процес (обробіток ґрунту, збирання врожаю, внесення добрив чи інших технологічних матеріалів тощо).
Витрати часу на повороти	T_2	Час, на протязі якого здійснюється маневрування техніки в кінці робочого гону з метою її повороту (заїзду) для продовження виконання технологічного процесу на наступному гоні.
Витрати часу на технологічне обслуговування	T_3	Тривалість зупинок, обумовлених необхідністю заправлення випробовуваної техніки технологічним матеріалом, розвантаженням зібраного врожаю, переведенням техніки/знаряддя чи її окремих агрегатів із робочого положення у транспортне і навпаки (підіймання і опускання маркерів, вигублення робочих органів машин/знарядь, заміна транспортних засобів, контроль якості роботи тощо). Витрати часу на технологічні регулювання, обумовлені зміною умов роботи (регулювання глибини обробітку ґрунту, норми внесення технологічних матеріалів, частоти обертання робочих органів тощо).
Витрати часу на технологічні відмови	T_4	Витрати часу на усунення забивання (залипання) робочих органів машин/ знарядь
Витрати часу на технічне обслуговування	T_5	Витрати часу на щоденне технічне обслуговування випробовуваної техніки, її очищення, змазування, заправлення, підтягування кріплень, переведення із транспортного положення в робоче і навпаки, переобладнання з однієї технологічної схеми на іншу, приєднання/від'єднання с.-г. машин/знарядь

Продовження таблиці В.1

1	2	3
Витрати часу на усунення технічних відмов	Т ₆	Витрати часу на усунення несправностей техніки (розбирання несправного і збирання відремонтованого вузла, ремонт/заміна вузла/деталі, регулювання вузлів, очікування доставки відремонтованої/нової деталі/вузла тощо).
Витрати часу на щоденне технічне обслуговування машин, агрегованих з випробовуваною	Т ₇	Витрати часу на операції технічного обслуговування машин, передбачених їх технічними інструкціями
Витрати часу на відпочинок обслуговуючого персоналу	Т ₈	Витрати часу на відпочинок і особисті потреби обслуговуючого персоналу
Витрати часу на холості переїзди	Т _{9.1}	Витрати часу на переїзди з однієї ділянки поля на іншу, холості переміщення по полю
	Т _{9.2}	Витрати часу на холості переїзди із поля на поле, а також із бригади на поле і назад
Витрати часу із-за причин, не залежних від випробовуваної техніки	Т ₁₀	Витрати часу, обумовлені очікуванням транспорту для підвезення технологічного матеріалу, відвезення врожаю, підготовкою поля до роботи, усуненням технічних відмов техніки, яка використовується із випробовуваною машиною, обіднею перервою, простоюванням із-за кліматичних умов, коригуванням організаційних рішень тощо.

Додаток С
(обов'язковий)

Оформлення результатів експлуатаційно-технологічної оцінки

Таблиця С.1 – Експлуатаційно-технологічні показники

№ п/п	Показник	Значення	Згідно із ТЗ/ТУ
1.	Місце проведення випробувань		
2.	Склад агрегату		
3.	Вид роботи, культура, сорт		
4.	Умови і режим роботи:		
	- вологість ґрунту, %		
	- щільність ґрунту, г/см ³		
	- забур'яненість, шт.(г)/м ²		
	- робоча швидкість руху, км/год		
	- ширина захвату, м		
	- глибина обробітку ґрунту, см		
	- висота стерні, см		
	- ширина міжрядь, см		
	- норма висіву (внесення), кг(л)/га		
	- (інше)		
5.	Час основної роботи, год		
6.	Технологічний час, год		
7.	Час зміни, год		
8.	Експлуатаційний час, год		
9.	Обсяг виконаної роботи, га (т)		
10.	Продуктивність роботи, га(т) за 1 год:		
	- основного часу		
	- технологічного часу		
	- змінного часу		
	- експлуатаційного часу		
11.	Питомі витрати палива, л/га(т)		
12.	Затрати праці, люд.·год/га (т)		
13.	Експлуатаційно-технологічні показники:		
	- коефіцієнт робочих ходів		
	- коефіцієнт технологічного обслуговування		
	- коефіцієнт надійності технологічного процесу		
	- коефіцієнт використання технологічного часу		
	- коефіцієнт використання змінного часу		
	- коефіцієнт використання експлуатаційного часу		
	- наробіток у мото-год на 1 технологічну відмову		
	- наробіток у мото-год на 1 технічну відмову		

**Практичні рекомендації
з вибору схеми і параметрів двомашинного
посівного МТА на основі напівнавісної зчіпки**

Для ефективного агрегування двох причіпних сівалок типу СЗ-3,6 з трактором тягового класу 1,4 з допомогою напівнавісної зчіпки остання має відповідати наступним вимогам:

- 1) фронт зчіпки повинен бути рівним 7,2 м;
- 2) довжина подовжувача зчіпки не повинна бути меншою за 2,5 м. Максимальна її значина не повинна перевищувати 3,0 м;
- 3) подовжувач зчіпки повинен приєднуватися до її рами з можливістю його відносного повороту у поздовжньо-вертикальній площині;
- 4) вільний кінець подовжувача має опиратися на транспортне колесо флюгерного типу;
- 5) права сівалка машинно-тракторного агрегату повинна приєднуватися безпосередньо до рами зчіпки;
- 6) для транспортування сівалок рама зчіпки у середній її частині повинна мати приєднувальний пристрій;
- 7) рама зчіпки навішується на задній навісний механізм трактора, який у робочому положенні фіксується так, щоб подовжувач зчіпки розташовувався паралельно до площини поля;
- 8) відстань від рами зчіпки до задніх коліс трактора не повинна перевищувати 1,2 м. Ця величина обумовлена конструктивними вимогами і її корегування в бік зменшення неможливе, а в бік збільшення – недоцільне.

Передній міст мосту трактора типу МТЗ-80 доцільно баластувати масою, яку допускають шини його керованих коліс.

Тиск в шинах коліс трактора може змінюватися в наступних межах:

- передні рушії – 0,10...0,12 мПа;
- задні рушії – 0,09...0,18 мПа.

Для здійснення повороту двомашинного посівного агрегату в оптимальному режимі необхідно, щоб відношення швидкості руху МТА на поворотній смузі до кутової швидкості повороту керованих коліс трактора змінювалось в межах 11...12 м/рад. Практично таку задачу можна розв'язати шляхом обладнання агрегату спеціальним автоматичним пристроєм.

Для тривалого зберігання рама зчіпки обладнується опорними стійками. Заводський варіант нового знаряддя має наступний вид:

