

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет

ЧОРНА Т.С.



**ОСОБЛИВОСТІ АГРЕГАТУВАННЯ ПОСІВНОГО
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ
НА БАЗІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ТРАКТОРА
ПРИ ВИРОЩУВАННІ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР
В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ**

Монографія

Мелітополь
Видавничий будинок
Мелітопольської міської друкарні
2016

УДК 631.372 (477.7)
ББК 40.721 (4 Укр – 4 Зап)
Ч-49

Затверджено вченою радою Таврійського державного
агротехнологічного університету,
протокол №5 від 29.12.2014 р.

Рецензенти:

Надикто В.Т., член-кореспондент НААН України, доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри «Машиновикористання в землеробстві» ТДАТУ.
Дідур В.А., академік АН ВШУ, МААО, доктор технічних наук, професор, за-
відувач кафедри «Гідравліка та теплотехніка» ТДАТУ.

Ч-49 **Чорна Т.С.**
Особливості агрегаткування посівного машинно-тракторного агрегату на базі інтегрального трактора при вирощуванні просапних культур в умовах півдня України: монографія / Т.С. Чорна. – Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2016. – 92 с.

ISBN 978-966-197-409-7

В монографії наведено особливості агрегаткування асиметричного посівного МТА на базі орно-просапного трактору сімейства ХТЗ-160 при вирощуванні просапних культур в умовах півдня України.

Представлені матеріали призначені для магістрів, аспірантів, інженерно-технічних працівників і науковців, які займаються проектуванням, випробуванням і експлуатацією сільськогосподарської техніки.

УДК 631.372 (477.7)
ББК 40.721 (4 Укр – 4 Зап)

ISBN 978-966-197-409-7

© Чорна Т.С., 2016

ВСТУП

В Україні майже 34% загального об'єму продукції рослинництва забезпечують просапні культури, серед яких основне місце нині займають соняшник та кукурудза. Лише на їх долю припадає близько 25% посівних площ, які в основному зосереджені в південному регіоні країни.

Попит на ці культури є і залишається стабільно високим. Це спонукає багатьох аграріїв не тільки збільшувати площі посіву, а й переглядати технологічні основи їх вирощування в напрямку зменшення собівартості продукції шляхом підвищення продуктивності праці та зниження витрат.

Нині на півдні України в основному розповсюджена 8-ми рядні посівні агрегати для сівби просапних культур з міжряддям 70 см. Застосування ж більш ефективних 12-ти рядних машинно-тракторних агрегатів (МТА) практично відсутнє. І це не дивлячись на те, що відкрите акціонерне товариство «Харківський тракторний завод ім. С.Орджонікідзе» (ВАТ «ХТЗ») випускає придатні для цього орно-просапні трактори серії ХТЗ-160, а відкрите акціонерне товариство «Червона зірка» (м. Кіровоград) розробило 12-ти рядні просапні сівалку (СУПН-12) та культиватор (КРН-8,4).

Але існує проблема їх агрегування. Вона полягає в тому, що зазначені енергетичні засоби мають колію 2100 мм. Водночас, для агрегування з просапними знаряддями, робочі органи яких налаштовані на міжряддя 70 см, колія тракторів має бути 1400 мм або 2800 мм.

Розроблені ВАТ «ХТЗ» спеціальні пристрої дозволяють збільшити колію тракторів до 2800 мм. Водночас, вони породжують і низку суттєвих проблем, до яких відносяться, в першу чергу, трудомісткість переналагодження колії трактора і точність його водіння в міжряддях просапних культур.

В монографії обґрунтовано можливість асиметричного агрегування посівного агрегату на основі орно-просапних тракторів серії ХТЗ-160 без зміни колії при вирощуванні просапних культур з міжряддям 70 см. Це дозволить підвищити ефективність їх виробництва.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

1.1. Тенденції розвитку агрегатів для сівби просапних культур на базі колісних енергетичних засобів

Значну частку в загальному об'ємі продукції рослинництва сільського господарства України складають овочеві й просапні культури, які займають біля 10 млн. га посівних площ. На долю високостеблових просапних культур (кукурудза та соняшник) припадає близько 25% від загальної посівної площі країни, яка сконцентрована в південних областях [1 – 2]. Зокрема, у Запорізькій області, основною технічною культурою якої є соняшник, тільки за останні роки його виробництво збільшилось на 56,2% (6,5 млн. т). Це зумовлено як збільшенням площ збирання (на 866,5 тис. га або на 25,4%), так і підвищенням врожаю (на 3,0 ц з 1 га або майже на чверть) [3 – 5]. Саме тому Україну відносять до основних виробників соняшника. На її долю припадає до 10% світового ринку цієї культури.

Нині просапні культури займають близько 34% від загального об'єму посівних площ України, а по Запорізькій області – 43%. Проте, на їх вирощування витрачається до 60% всіх витрат праці у рослинництві [1, 3, 5].

Слід зазначити, що обробка просапних культур пов'язана з виконанням низки операцій по догляду за рослинами в період їх вегетації: руйнування ґрунтової кірки, знищення бур'янів у рядках і міжряддях, розпушення міжрядь, прорідження сходів, обробка сходів пестицидами та підгортання. Багато з цих робіт повторюється протягом сезону декілька разів. Тому питання зниження собівартості продукції шляхом збільшення продуктивності МТА виступає сьогодні на перший план.

Разом з тим, в світі все більше просапних культур використовується у якості сировини для виробництва біодизелю, що створює передумови для збільшення їх площ [6]. Наприклад, у США і південній частині Західної Європи однією з найбільш поширених культур є кукурудза. Її часто вирощують у сівозміні з іншими просапними культурами. Ця обставина стимулює створення спеціалізованих сівалок для сівби кукурудзи і так званих універсальних, що забезпечують висів кукурудзи, сої, соняшнику, буряку і інших культур. Ширина міжрядь при цьому може залишатись незмінною або, як в деяких сівалках, змінюватись завдяки перестановці висівних секцій чи зменшенню міжрядь шляхом встановлення додаткових секцій.

За способом агрегування з трактором сівалки поділяють на причіпні та начіпні. Сівалки для посіву кукурудзи, соняшнику та буряку здебільшого начіпні. Вони значно легші від причіпних і компактніші. Посівний МТА з начіпною сівалкою набагато маневреніший, ніж причіпний [7].

Розглянемо основні моделі начіпних сівалок. Сьогодні у багатьох господарствах для посіву кукурудзи та соняшника використовують універсальні пневматичні сівалки СУПН-8, СУПН-8А, СУПН-6А, СУПН-12А, УПС-8, УПС-12 вітчизняного виробництва. Це начіпні секційні знаряддя, аналогічні за будовою (рис. 1.1). Їх агрегують з тракторами класу 1,4 і 2.

А у багатьох господарствах можна зустріти просапні сівалки провідних іноземних фірм. Так компанія John Deere пропонує гаму просапних сівалок Max-Emerge 2 (рис. 1.2), що нараховує 8 базових моделей як причіпних, так і начіпних з різною рядністю від 4 до 24.



Рис. 1.1. Універсальна пневматична сівалка точного висіву УПС-12 [8]

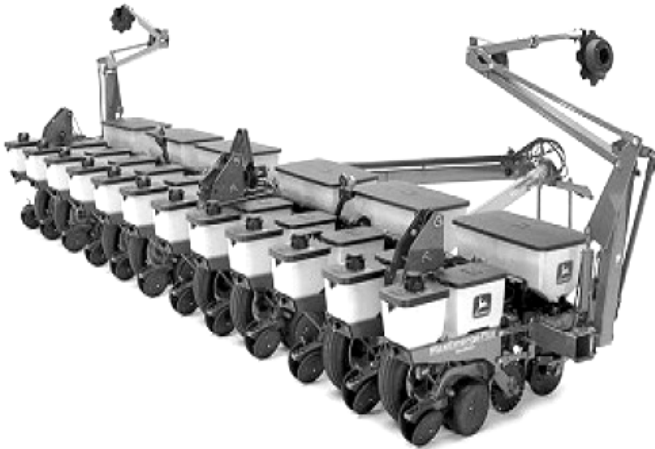


Рис. 1.2. Сівалка John Deere моделі 1770 [9]

Відповідно й агрегатують їх з тракторами різних тягових класів: 8-рядні просапні сівалки з тракторами від 120 к.с., 12-рядні – 200 к.с., 16-рядні – 270...300 к.с., 24-рядні – 300 к.с. [9]. Наприклад, у Пологівському районі просапний МТА у складі трактору потужністю 270 к.с. й 16-рядної просапної сівалки за добу засіває до 100 га. Але ці сівалки прямого посіву і використовують їх, як правило, при технології No-till.

Натомість фірма Case IN випускає просапні сівалки серії 900 з централізованим посівом. Випускаються як причіпні, так і начіпні сівалки з цільнобрусною рамою або начіпні з рамою, що складається у вертикальній площині. Виробляються 4-, 6-, 8-, 12-рядні сівалки для звичайного посіву. Широкозахватні сівалки цієї серії випускаються з начіпною трисекційною рамою, бічні секції якої складаються догори. 12-рядна сівалка з такою рамою у транспортному положенні має ширину 4,4 м [10].

Сівалки точного висіву AMAZONE серії ED мають централізований бункер для мінеральних добрив (рис. 1.3). Але за бажанням можуть комплектуватись і фронтальним бункером (рис. 1.4, 1.5). Сівалки серії ED випускаються у 4-, 6-, 8- і 12-рядному виконанні з шириною захвата від 3 до 9 м [11, 12].



Рис. 1.3. Сівалка точного висіву ED – 602К з централізованим бункером



Рис. 1.4. Сівалка точного висіву ED – 902К з фронтальним бункером



Рис. 1.5. Сівалка точного висіву ED – 602К з фронтальним бункером

Французька фірма Ribouleau випускає пневматичні сівалки Monosem моделей NG plus, NC TECHNIC та інші. Так, наприклад, моделі NG plus призначені для сівби насіння соняшника і кукурудзи з міжряддям 70 см та випускаються з суцільнобрусною рамою рядністю 2...8, зі складною рамою рядністю 8...12 (рис. 1.6) й телескопічною рамою рядністю 6...8. Сівалки NC TECHNIC виробляється в начіпному варіанті (6-, 8- і 12-рядні з міжряддям 70 см та 12- і 18-рядні з міжряддям 45 см) та в причіпному (16-рядні і 24-рядні відповідно)[10, 13, 14].



Рис. 1.6. Пневматична сівалка «Monosem» NG+12 точного висіву) [14].

Фірма Casparдо випускає 12- і 18-рядні (з міжряддям 70 см і 45 см відповідно) пневматичні сівалки точного висіву MAESTRA і MAESTRA LIGHT (рис. 1.7). При агрегуванні з тракторами потужністю 220 к.с. їх продуктивність складає 5,5...7,1 га/год., а вага сівалки – 5200 кг [15]. Як бачимо, її вага у порівнянні з сівалкою УПС-12 більша в 3 рази, що може призводити до переущільнення ґрунту і є не бажаним. Аналіз ринку моделей просапних сівалок показав, що найбільш поширеними для посіву з міжряддям 70 см є начіпні 8- і 12-рядні сівалки.



Рис. 1.7. Пневматична сівалка точного висіву MAESTRA [15]

Продуктивність МТА за годину основного часу залежить, в першу чергу, від швидкості його руху і ширини захвату. Проте, швидкість керованого руху МТА в польових умовах обмежується психофізіологічними можливостями людини і тому у ряді випадків (наприклад, міжрядна обробка) потужність трактора використовується не в повній мірі, що знижує його продуктивність [16, 17]. Крім того, збільшення швидкості руху просапних МТА неможливе і з тієї причини, що рівень теоретичних і дослідно-конструкторських розробок не дозволяє на даному етапі розвитку сільськогосподарської техніки створити робочі органи і агрегати, які дозволили б різко її підвищити. Тому зараз найбільш реальним шляхом підвищення продуктивності МТА є збільшення їх ширини захвату (тобто рядності). Проте, як вказано вище, збільшення рядності просапних агрегатів (при збереженні енергоємності виконуваного процесу) вимагає більших витрат енергії на їх переміщення, тобто для їх агрегування потрібні трактори вищих тягових класів (табл. 1.1) [18 – 25].

Таблиця 1.1

Рядність машин для обробітки просапних культур і їх відповідність тяговим можливостям тракторів

Культура	Тяговий клас трактора			
	0,9	1,4	2	3
Кукурудза, сояшник	6	6, 8, 12	12, 16	16, 18
Цукровий буряк	–	8, 12	12, 18	24
Картопля	2	4	6	8

Як бачимо з таблиці 1.1, для досягнення найбільшої продуктивності за рахунок збільшення ширини захвату МТА бажано використовувати трактори тягового класу 2 і 3. Але застосування тракторів тягового класу 3 на вирощуванні просапних культур неможливе без зміни схеми їх посіву. Тому що для більшості з них прийнята ширина міжрядь 45 см і 70 см. З урахуванням захисної зони граничною вважається ширина шин 9,5 і 16,9 дюймів відповідно. Трактор з більш широкими шинами використовується на вирощуванні просапних культур тільки з технологічною колією, коли міжрядні обробітки виконуються по одним і тим самим слідам, вільним від рослин.

У різні часи дослідниками проводилися роботи по використанню як гусеничних (Т-74, ДТ-75, ДТ-75М й Т-150), так і колісних (Т-150К) тракторів загального призначення на вирощуванні просапних культур [18 – 25]. На це вказує досвід механізаторів Запорізької, Одеської, Миколаївської, Ліпецької та інших областей. Так, наприклад, в Новосанжарському районі Полтавської області було посіяно і оброблено 200 га кукурудзи 16-рядним агрегатом на базі трактору Т-150К, продуктивність якого на сівбі досягала 60 га в день. У цьому ж господарстві також було оброблено 130 га цукрового буряка 24-рядним агрегатом на базі трактора ДТ-75.

Використання широкозахватних агрегатів на базі тракторів загального призначення Т-150К у порівнянні з серійними агрегатами на базі тракторів МТЗ-80/82 дозволило отримати економію до 50% витрат праці й до 25% прямих експлуатаційних витрат. А у господарстві «Зоря» Мелітопольського району Запорізької області середня продуктивність на посіві кукурудзи за годину змінного часу склала для агрегату з трактором Т-150 (рис. 1.8) – 7,13 га, з Т-74 – 6,10 га, що у 2,5...2,9 рази більше продуктивності серійних агрегатів на базі тракторів МТЗ-80/82 чи ЮМЗ-80/82 з шести або восьмирядними сівалками. Аналогічні показники й при міжрядному обробітку.

Максимальна продуктивність МТА з трактором Т-150 на посіві кукурудзи у господарствах «Чернігівський» й «Переможець» склала відповідно 85 і 100 га за зміну. Тому, застосування одного такого агрегату дозволяє вивільнити 2...3 трактори МТЗ-80/82 при навантаженні 600...700 га просапних культур на один агрегат [21, 25].

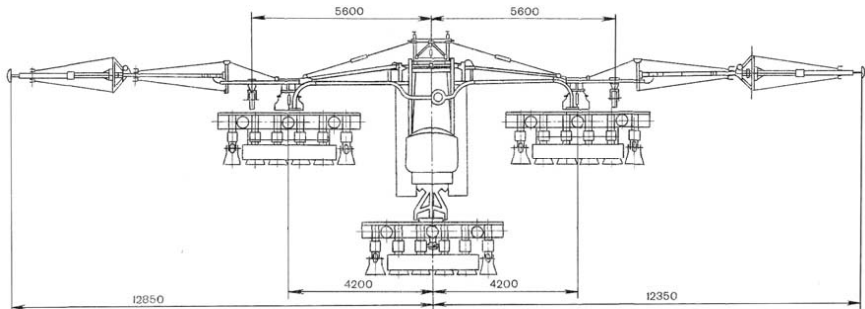


Рис. 1.8. Посівний агрегат на базі зчіпки СН-75М

Проте, трактор Т-150К має ряд істотних недоліків. По-перше, параметри ходової системи не дозволяють використовувати його без додаткової зміни схеми посіву просапних культур з міжряддям 70 см на шинах стандартної комплектації. При встановленні на стандартні шини він вписується тільки в міжряддя 90 см. Але для проходження коліс, обладнаних шинами стандартної комплектації, необхідно при посіві залишати два міжряддя по 1400 мм.

По-друге, одним з основних недоліків таких тракторів є знижена (порівняно з агрегатами, складеними на базі тракторів класичної компоновки) прямолінійність ходу і точність руху по оброблюваних рядках.

У роботах Жигана В.Й. було розглянуто один з варіантів усунення цього недоліку за допомогою встановленої рами-зніпки РС-18 у складі Т-150 та трьох просапних сівалок СПЧ-6 (рис. 1.9) [21].

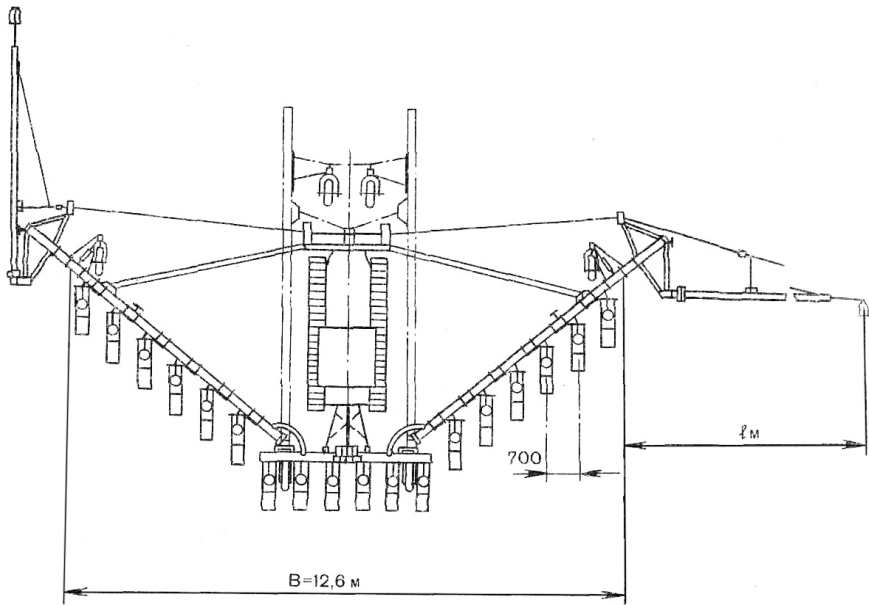


Рис. 1.9. Схема агрегату, який складено на базі рами-зчепу РС-18.

Найбільший ефект від застосування тракторів загального призначення на вирощуванні просапних культур можна отримати від використання їх у складі широкозахватних МТА на полях з довжиною гону більше 1000 м. Останнє ще у більшій мірі буде сприяти підвищенню їх продуктивності.

З іншого боку, на аграрному ринку України спостерігається децентралізація виробництва, основою якої є фермерський рух. Зокрема, по Запорізькій області питома вага фермерських угідь складає майже 12%, а на одне фермерське господарство припадає 115

га ріллі [4]. У США, наприклад, середній розмір родинних ферм наблизився до 180 га [26]. При таких умовах особливе місце в структурі машинно-тракторного парку господарств повинні займати повноприводні трактори з колесами рівного розміру, оскільки вони більш універсальні і здатні виконувати весь комплекс сільськогосподарських робіт, мають менші експлуатаційні витрати, а за тягово-зчіпними властивостями наближаються до гусеничних.

Це підтверджує аналіз структури тракторного ринку України: попит на трактори загального призначення тягового класу 3...5 з потужністю двигунів більше 120 к.с. коливається від 16% до 20%, тоді як потреба в універсально-просапних тракторах тягового класу 1,4...2,0 з потужністю двигунів 80...120 к.с. досягає 80% [27, 28]. Зараз трактори ЮМЗ-6М, ЮМЗ-80/82 та МТЗ-80/82 є основними енергетичними засобами на вирощуванні просапних та овочевих культур. При агрегуванні їх з вузькозахватними (4-, 6-, 8-рядними) одноопераційними машинами вони мають низьку продуктивність й підвищені в 2-3 рази витрати на одиницю продукції у порівнянні з аналогічними МТА країн західної Європи та США [2]. Традиційна конструкція цих тракторів навіть при підвищенні потужності до 100...140 к.с. (МТЗ-100, МТЗ-142) й тягового класу до 2 не забезпечує оптимального агрегування з комбінованими тягово-приводними машинами різних способів навішування, впровадження інтенсивних технологій. Це призводить до підвищених витрат та зниження якості робіт, відповідно зростає і собівартість продукції.

З метою кардинального підвищення продуктивності праці на вирощуванні просапних культур було розроблено нові конструкції інтегральних тракторів ЛТЗ-120Б й ЛТЗ-155 з потужністю 124 к.с. й 150 к.с., які можна використовувати з широкозахватними (12-, 18-рядними) й комбінованими машинами.

До особливості цих моделей слід віднести універсальність, яка досягається завдяки агрегуванню з широким набором сільгоспмашин, призначених для агрегування з тракторами тягових класів 1,4 і 2. Їх застосування забезпечує впровадження новітніх технологій, підвищення продуктивності у 1,7...2,0 рази, зниження витрат палива на 15...20%, підвищення врожайності на 4,5...8,0 т/га [2, 29].

Проте, аналіз фактичного стану вітчизняного парку тракторів показав, що універсально-просапні трактори тягового класу 2 практично відсутні на ринку України. Хоча потреба в цьому виді техніки висока. Така залежність для України пов'язана, перш за все, з тим, що в більшості регіонів господарства вирощують просапні культури (цукровий буряк, кукурудза, соняшник тощо), а серед існуючих систем їх вирощування на півдні України найбільш ефективними є системи не нижче 12-ти рядної при міжряддях 70 см [30]. Її реалізація передбачає використання енергетичних засобів саме тягового класу не нижче 2, але на Україні тракторів даного класу не виробляють. Натомість, відкрите акціонерне товариство «Харківський тракторний завод» випускає орно-просапні трактори серії ХТЗ-160. За параметрами ходової системи вони відповідають тракторам тягового класу 2, а за тяговими показниками – тракторам тягового класу 3 [31]. До речі, якщо звернутися до досвіду західноєвропейських сільгоспвиробників, можна переконатися, що при формуванні тракторних парків вони віддають перевагу саме цьому класу техніки [2, 26, 27, 32].

На думку фахівців, для ділянок з довжиною гону до 1000 м (найбільш розповсюджених у даний час в господарствах) раціональні параметри трактора для виконання про-

сапних робіт наступні: тягове зусилля – 30 кН; маса трактору – 7500...8000 кг; робоча швидкість – 4,4 м/с; ширина захвату агрегату – 13 м [33]. Під таку характеристику серед тракторів, що випускаються на Україні, підпадають орно-просапні трактори серії ХТЗ-160. Вони обладнані додатковим устаткуванням (передній механізм навішування, передній вал відбору потужності, реверс, ходозменшувач). Мають прийнятні для споживачів агротехнічні та експлуатаційні показники, відрізняються високим рівнем універсальності, забезпечують впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій вирощування і збирання, у першу чергу, просапних культур і овочів з високою продуктивністю (в 2...2,5 рази більше у порівнянні з МТА на базі тракторів тягового класу 1,4), дають відчутний економічний ефект [34 – 47]. Їх також можна агрегувати з причіпними, начіпними збиральними, навантажувальними й іншими машинами, що дозволяє зменшити кількість дорогих вузько-спеціалізованих самохідних машин з малим (100...300 годин) річним завантаженням. На вирощуванні зернової кукурудзи застосування 12-ти рядного технологічного комплексу машин на базі трактора ХТЗ-120 дозволило знизити рівень витрати палива на 33% (з 186 до 125 кг/га) [36 – 40].

Як було зазначено вище, при інших схожих характеристиках, потужність тракторів ХТЗ більша ніж у аналогічних моделей ЛТЗ, що значно підвищує його універсальність [35]. Через це у більшості господарств віддають перевагу колісним орно-просапним тракторам серії ХТЗ-120/160. Так, наприклад, при використанні Харківської технології вирощування цукрового буряку, яка розроблена і впроваджена у ряді господарств України інститутом цукрового буряка УААН, Харківським національним аграрним університетом ім. В.В. Докучаєва, ВАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе», з комплексом сільськогосподарських машин і знарядь на базі трактору ХТЗ-120, річне завантаження на один трактор досягає 180...250 га буряків. Він виконує всі операції вирощування й збирання цукрового буряка, передбачені технологією: оранку, передпосівну культивування, сівбу, стрічкове внесення гербіцидів та добрив, міжрядну обробку ґрунту та збирання. Досвід застосування даної технології у Вінницькій, Черкаській, Дніпропетровській та інших областях України, а також в Курській і Білгородській областях Росії показав, що господарства на базі одного трактора ХТЗ-120 і порівняно недорогого комплексу машин до нього забезпечують повний цикл робіт по вирощуванню буряка на площі 250 га. Тобто, один такий трактор може сам і на порівняно великій площі вирощувати цю трудомістку культуру при цьому, в порівнянні зі старою технологією (шестирядні агрегати, трактори Т-70С, МТЗ-80/82, ЮМЗ 80/82) забезпечується підвищення врожайності на 15% і рентабельності на 34%; збільшення річного завантаження трактора в 2,4 рази; зниження витрат ГСМ на 18%, прямих витрат на 18% і витрат праці на 33% [46 – 49]. У зв'язку з цим, використання новітніх технологій на базі тракторів ХТЗ-120, ХТЗ-160 при вирощуванні просапних культур є перспективним напрямком розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва країни.

Розглянемо можливості використання орно-просапних тракторів серії ХТЗ-120/160 на вирощуванні просапних культур з міжряддям 70 см. Як відомо, при вирощуванні просапних культур з такими міжряддями колія енергетичного засобу повинна дорівнювати 1400 мм або 2800 мм. Натомість, орно-просапні трактори серії ХТЗ-120/160

мають колію 2100 мм. Це значно покращує їх показники при виконанні транспортних робіт, але при такій колії сліди двох висівних секцій просапної сівалки, приєднаної до трактора звичайним (симетричним) способом, будуть співпадати зі слідом рушіїв (рис. 1.10). В подальшому це призведе до вирізання культурних рядків просапним культиватором, що неприпустимо. Тому використання тракторів серії ХТЗ-120/160 з серійними машинами для посіву просапних культур з міжряддями 70 см та догляду за ними неможливе без зміни колії.

Для вирішення цього питання заводом-виробником було розроблено проставки для переобладнання його колії з 2100 на 2800 мм шляхом їх встановлення на кожне колесо. Це дозволяє вирішувати проблему, але призводить до збільшення матеріалоемності енергетичного засобу і часу на його переобладнання [31].

У зв'язку з цим, вченими Південного філіалу ІМЕСГ УААН разом з конструкторами ВАТ "ХТЗ" було розроблено простий зчпний пристрій [50], який дозволяє на вирощуванні просапних культур з міжряддями 70 см використовувати орно-просапні трактори серії ХТЗ-120/160 без переналадження з колії 2100 мм на колію 2800 мм. При використанні цього пристрою агрегована машина зміщується відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу на 35 см (рис. 1.11). В результаті виключається розміщення посівних секцій просапної сівалки по колії трактора і рух останнього по рядках культурних рослин під час міжрядного обробітку. При цьому слід зазначити, що маса зчпного пристрою майже в 15 разів менша маси чотирьох проставок, призначених для переобладнання колії трактора, а витрати часу на його установку значно менші [50 – 52].

А як відомо, показник гнучкості енергетичного засобу оцінюється кількістю операцій, які виконуються ним в технологічному процесі і його важливою характеристикою є час переходу від однієї операції до іншої [53]. Тому для підвищення змінної продуктивності МТА необхідно максимально знизити час, що витрачається на допоміжні операції.

З цією метою, нами було розроблено зчпний пристрій енергетичного засобу [54, 55], який дозволяє автоматизувати поперечне зміщення сільськогосподарського знаряддя відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу протилежно від розташування маркера. Це зменшує вплив її асиметричного агрегування на тракторні показники машинно-тракторного агрегату, підвищує його продуктивність та якість роботи за рахунок раціонального використання часу зміни.

Сьогодні асиметричне агрегування знарядь застосовують, частіш за все, при виконанні збиральних робіт та на оранці [56 – 58] на відміну від сівби і міжрядного обробітку просапних культур.

Вперше можливість роботи асиметричного агрегату на посіві та міжрядному обробітку просапних культур довели Надикто В.Т., Кюрчев В.М. [34 – 42] та Надикто В.Т., Мухаметшин В.З. [51].

В роботі [35] підкреслюється, що при використанні лише орно-просапного трактора серії ХТЗ-160 можливо виконати всі роботи по вирощуванню і збиранню просапних культур.

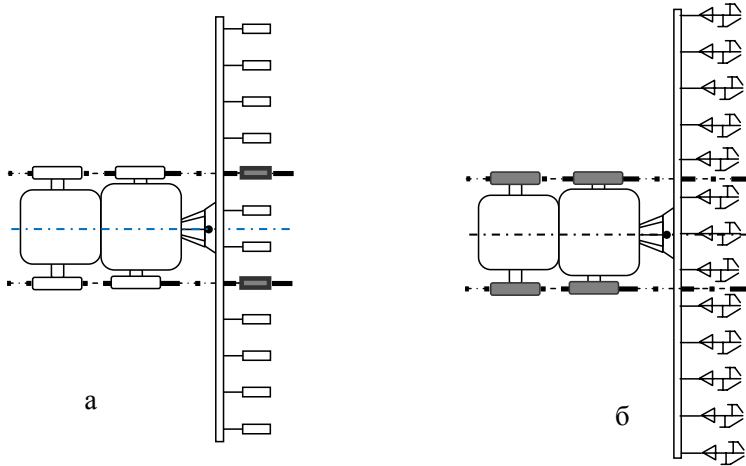


Рис. 1.10. Симетричне агрегування орно-просапного трактору з просапною сівалкою (а) та культиватором (б)

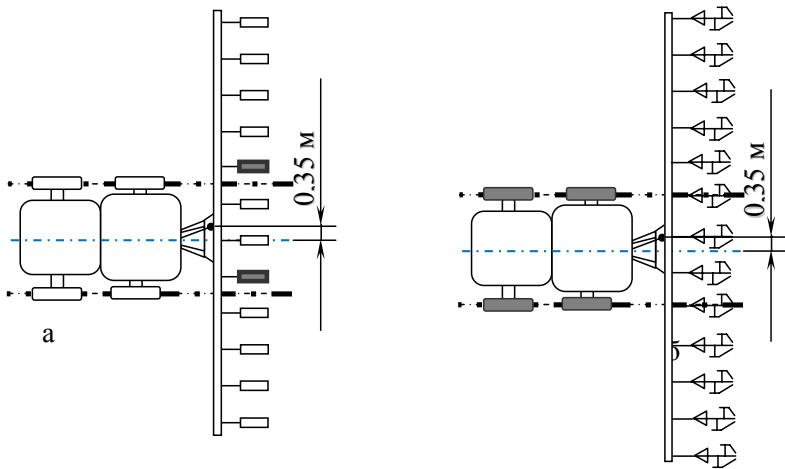


Рис. 1.11. Асиметричне агрегування орно-просапного трактору з просапною сівалкою (а) та культиватором (б)

Теоретичну оцінку впливу асиметричного агрегування просапної сівалки з трактором ХТЗ-120 здійснювали на основі аналізу математичної моделі руху такого МТА в горизонтальній площині [39, 51]. Математичну модель функціонування МТА на основі ХТЗ-120, як динамічної системи, розглядали у вигляді реакції на збурюючий вплив. В якості останнього приймали розворотний момент M_r , який представляє собою суму у вигляді:

$$M_r = P_{кр} \cdot \Delta + R_m \cdot S_m,$$

де $P_{кр}$, Δ – тяговий опір та поперечне зміщення сівалки;

R_m , S_m – тяговий опір та виліт маркера сівалки відповідно.

Для отримання математичної моделі руху просапного МТА на основі ХТЗ-120 в горизонтальній площині було складено схему сил, які діють на асиметричний посівний МТА (рис. 1.12). До числа зовнішніх сил, які діють на даний МТА, входять: дотичні сили тяги та сили опору коченню передніх ($P_{кА}$, $P_{fА}$) і задніх ($P_{кВ}$, $P_{fВ}$) коліс трактора; бокові сили ($P_{бА}$, $P_{бВ}$, $P_{бМ}$), які призводять до виникнення кутів відведення переднього (δ_a) і заднього (δ_b) мостів трактора, а також опорних коліс сівалки (δ_m); тяговий опір сівалки ($P_{кр}$); тяговий опір маркера сівалки (R_m).

Їх аналіз, показав, що при виборі напрямку дії бокових сил напрямки кутів відведення переднього (δ_a) і заднього (δ_b) мостів трактора, а також опорних коліс сівалки (δ_m) не враховувалися.

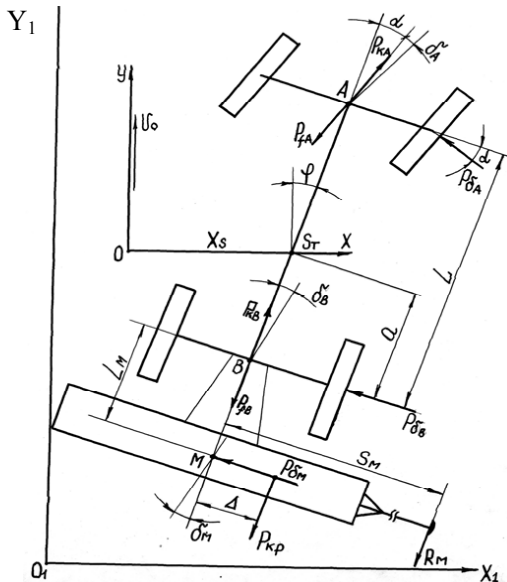


Рис.1.12. Схема сил, які діють на посівний МТА [39, 51].

Це було зроблено для спрощення отриманої математичної моделі з метою встановлення взагалі можливості використання асиметричного агрегування знарядь для сівби і міжрядного обробітку просапних культур.

Теоретичні дослідження отриманої математичної моделі підтвердили можливість практичного використання такого агрегату. Також було доведено, що вплив маркера на стійкість руху МТА більш суттєвий, ніж поперечне зміщення сівалки. Як для 12-и ($V_p=8,4$ м), так і 18-и рядної ($V_p=12,6$ м) просапних систем найбільша різниця між АЧХ при $\Delta=0$ і $\Delta=0,35$ м складає 4% [39, 51].

Тому більш детальна оцінка впливу схеми, конструктивних та технологічних параметрів посівного агрегату на керованість та стійкість його руху потребує більш детального вивчення.

1.2. Аналіз способів оцінювання стійкості та керованості робочого руху посівних агрегатів

Біологічні особливості таких культур, як сояшник, кукурудза та деякі інші, при вирощуванні в умовах півдня України найбільший врожай дають при розміщенні рослин за схемою 70x35 см (41 тис. рослин на 1 га) [59]. Основне місце в системі робіт по догляду за посівами цих культур займає міжрядний обробіток, який проводять до 2...3 разів протягом літа. Він підтримує поверхневий шар ґрунту в розпушеному стані, що створює умови для накопичення і збереження вологи, знищення бур'янів [60].

Але не всі трактори можна застосовувати на цій технологічній операції. Придатність трактора до використання у складі просапного агрегату при проведенні міжрядного обробітку, поряд з економічними показниками, визначається точністю руху МТА на його базі відносно рядків рослин і можливістю вписування його ходової системи в міжряддя. Окрім того, для якісного проведення міжрядного обробітку просапних культур підвищені вимоги висуваються до прямолінійності їх рядків.

Хачатрян Х.А. у своїх дослідженнях особливу увагу приділяв стійкості руху просапних МТА. Він наголошував на «...необхідності якісного виконання посіву, який є вхідними даними для міжрядного обробітку вирощуваних культур. Тому, що точність копіювання робочими органами рядків рослин у значній мірі залежить від їх прямолінійності, а при копіюванні криволінійних рядків значно підвищуються витрати енергії водієм і знижується швидкість агрегатів. Тому швидкість руху МТА в значній мірі обмежується якістю траєкторії рядків» [17].

Особливістю націпних просапних знарядь є тісний зв'язок під час виконання технологічного процесу стійкості прямолінійного руху і керованості МТА.

Пастухов В.І. у своїх працях також звертав особливу увагу на якість виконання технологічної операції, яка в свою чергу значно впливає на можливості реалізації біопотенціалу та стан екосистеми під час виробництва сільськогосподарських культур [48 – 49]. Особливо виконання сівби просапних культур з дотриманням агротехнічних вимог і строків дозволяє в подальшому якісно виконати їх міжрядний обробіток.

З іншого боку саме від стійкості прямолінійного руху і керованості МТА під час виконання даної технологічної операції, в першу чергу, буде залежати прямолінійність

рядків просапної культури. Тому у своїх працях Пастухов В.І. значну увагу приділяв дослідженню динаміки роботи сільськогосподарських агрегатів на вирощуванні різних сільськогосподарських культур. Значна частина його праць присвячена саме вивченню поведінки різних МТА на вирощуванні та збиранні цукрових буряків на території України.

Вивченню та дослідженню стійкості руху МТА у горизонтальній площині (бокового руху), як у складі гусеничних, так і колісних тракторів, присвячено багато робіт. Аналітичним розглядом відхилень робочих органів і теорії стійкості під час руху по полю просапних МТА займалися Василенко П.М., Пожидаєв С.П., Дворцов Е.Ф., Астаф'єв В.Л., Гячев Л.В., Лур'є А.Б., Фортуна В.І., А.М. Ляпунов та інші [61 – 69].

Не зважаючи на це, задача стійкості руху МТА у горизонтальній площині до теперішнього часу вирішена не повністю. Головні причини, на наш погляд, наступні: різні тлумачення явища стійкості руху ученими і підхід до дослідження цього процесу; використання різних критеріїв стійкості руху.

Стосовно першої причини, Гячев Л.В. у своїх працях визначає стійкість руху, як властивість МТА протидіяти отриманню початкових збурень [66, 67]. Він відзначає, що «... шляхом раціонального вибору кінематичних і динамічних параметрів МТА необхідно прагнути до підвищення властивостей МТА протидіяти отриманню початкових збурень». Але у своїх працях до кінця цієї проблеми не вирішує.

Ляпунов А.М., в свою чергу, пропонує аналізувати вільний незбурений рух МТА для визначення його схеми і параметрів [70]. Але, як відомо, рух МТА на гоні не є таким [66, 68]. Задача стійкості руху по Ляпунову А.М. зводиться до аналізу структури диференційного рівняння вільного (незбуреного) руху. Але умови руху МТА значно відрізняються від руху, який він розглядає: збурення діють безперервно, а їх значина не може вважатися малою. Крім того, умови Ляпунова А.М. не обмежують тривалість перехідного процесу при поверненні до незбуреного руху. Тому під час бічного руху МТА застосовують інші визначення стійкості, більшість з яких, наприклад праці [71 – 73], можуть бути приведені до наступного вигляду: стійкість руху МТА – це сукупність властивостей, що забезпечують його рух у заданому напрямку.

Фортуна В.І. у своїх працях розглядає поняття стійкості руху як узагальнене поняття стійкості рівноваги, а стійкість руху МТА – здатність його зберігати заданий рух, який передбачає конкретна технологічна операція. На його думку, більш за все на роботу МТА впливає стійкість руху по заданій траєкторії. Її порушення викликає появу огривів, впливає на рівномірність руху робочих органів. А порушення стійкості руху по заданій траєкторії у горизонтальній площині призводить до зниження якості технологічного процесу, втрати швидкості руху й продуктивності за рахунок подовження фактичного шляху, збільшенню витрат палива на його проходження, погіршенню умов кочення на криволінійних ділянках в результаті зсуву ґрунту й створення більш глибокої колії, що викликає додаткові витрати енергії на деформацію ґрунту й збільшує опір перекочуванню, підвищує знос ходової частини, механізмів управління трактором і робочих органів сільськогосподарських машин та знарядь. Крім того, все це викликає підвищену втомленість водія і, як наслідок, додаткове зниження якості технологічного процесу. Хоча при необхідності, МТА повинен точно змінювати свій рух у відповідності до впливів на механізм управління, які задає тракторист [69, 74].

З іншого боку, Хачатрян Х.А. вважає, що «...рух МТА стійкий, якщо він мало сприйнятливий до зовнішніх обмежених за значиною, збурень, які намагаються вивести його із заданого напрямку, а при відхиленні від курсу не виходить за межі визначених меж, прагне повернутися до початкового або близького до нього руху» [17].

Аналогічне пояснення стійкості руху МТА пропонує і Лур'є А.Б. [16, 68]. На його думку, стійкість руху МТА – це його реакція на збурюючий вплив. Тому чим менше реакція МТА на збурюючий вплив, тим більшу стійкість руху він має. Натомість, керованість – це реакція МТА на керуючий вплив. Відповідно, чим більше реакція МТА на керуючий вплив, тим краще його керованість.

У своїх роботах Пожидаєв С.П., Шкарівський Г.В. розглядають стійкість руху за Лур'є (як властивості МТА реагувати на збурюючі та керуючі впливи). Ними багато уваги приділено саме процесу копіювання рядків рослин робочими органами просапного МТА у складі Т-150К з шарнірно-зчленованою рамою, обладнаного здвоєними колесами з шинами 12R38 та начипного культиватору КРН-8,4. Ними було встановлено, що більш за все на точність руху просапного МТА впливає конструктивно-компонувальна схема [18 – 19, 62 – 63, 75].

Також існує поняття «практична» стійкість руху МТА, яку розуміють, як властивість МТА рухатись у межах смуги допусків [17, 68, 76 – 77]. Автори у якості достатньої умови стійкості руху розглядають саме необхідність руху у заданій смузі допуску. Таким чином різниця у визначенні стійкості фактично зводиться до ступеню строгості умов руху. Умови А.М. Ляпунова є самими строгими. Як відмічав Л.В. Гячев [66 – 67], ці умови забезпечують лише працездатність об'єкту, але не забезпечують необхідної якості технологічного процесу. На нашу думку, краще користуватись умовами «практичної» стійкості.

Визначення «практичної» стійкості при бічному русі надали Б.М. Каспаров [76], Х.А. Хачатрян [17], А.В. Калоев [77], Л.В. Гячев [66 – 67] та інші дослідники. Найбільш чітким є визначення Х.А. Хачатряна: «...Рух сільськогосподарського мобільного агрегату стійкий, якщо він мало сприйнятливий до зовнішніх, обмежених за значиною збурень, які намагаються вивести його із заданого напрямку, а при відхиленнях від курсу не виходить за межі певних меж і прагне повернутися до вихідного або близького до нього руху» [17].

Недоліки визначень інших авторів у тому, що, наприклад, Б.М. Каспаров накладає обмеження на збурюючі впливи, а А.В. Калоев розглядає лише процес повернення об'єкту до незбуреного руху, що не дозволяє конкретизувати оцінку стійкості.

Наведене вище визначення Х.А. Хачатряна є розгорнутим, тому що відображає не тільки зовнішні, але і внутрішні признаки цього руху. Приймаючи до уваги тільки зовнішні ознаки «практичної» стійкості бічного руху, сформулюємо умови достатності: рух МТА стійкий «практично» у бічному напрямку, якщо під дією обмежених за значиною зовнішніх збурень його бічні відхилення не виходять за межі допусків. Практична стійкість може бути реалізована за рахунок двох якостей об'єкту: неприйняття збурень – стійкості й властивості повернення до попереднього руху – динамічної стійкості. Тому кількісна ступінь «практичної» стійкості буде визначатися ступіннями стабільності й динамічної стійкості, причому між останніми повинно існувати оптимальне співвідношення.

У своїй роботі приймаємо наступні тлумачення: *стійкість* руху МТА – це його реакція на збурюючий вплив, а *керованість* – це реакція МТА на керуючий вплив. Тому,

чим менше реакція МТА на збурюючий вплив, тим більшу стійкість руху він має. Натомість, чим більше (до певного рівня) реакція МТА на керуючий вплив, тим краще його керуваність.

При дослідженні бічного руху МТА дослідники використовують різні підходи: розглядають МТА, що не керується, або сільськогосподарські машини окремо від енергетичного засобу. Але відомо, що такий МТА нестійкий у бічному русі, тому розглядати стійкість його руху не має сенсу. У даній роботі розглядається керуєми МТА в цілому (разом з с.-г. машиною).

Найбільш складним є питання щодо критеріїв стійкості руху, яких у літературних джерелах пропонується значна кількість. В результаті аналізу цих критеріїв було виявлено доцільність їх диференціації на: прями та умовні, параметричні та узагальнені, кінематичні та динамічні, дійсні та еквівалентні.

Прямі критерії безпосередньо характеризують рух, наприклад, за бічним відхиленням [17, 72, 76, 78], бічною швидкістю [79], курсом [61, 71], кутовою швидкістю [72], координатою чи її похідною [17], моментами реактивних сил [80, 81] і таке інше.

Умовні критерії характеризують рух по впливу на кермо, по зміщенню центру мас [71, 76, 81].

Параметричні критерії визначаються одним параметром: поточним або середнім значенням бокового чи курсового відхилення [61, 72, 79]; радіусом кривизни траєкторії [71, 72]; середньоквадратичним відхиленням (дисперсією) вказаних параметрів або їх кореляційною функцією і спектральною щільністю [17, 69, 78]; середнім відхиленням і середньою швидкістю рульового колеса; середнім інтервалом між керуючими впливами або середньою боковою швидкістю.

Узагальнені критерії визначаються одночасно кількома параметрами у вигляді простої залежності, частіше за все безрозмірної. Так, наприклад, використовують коефіцієнт подовження шляху $K_{\text{под.}} = (L_{\text{ф}} - L_{\text{п}}) / L_{\text{п}}$, де $L_{\text{ф}}$, $L_{\text{п}}$ – довжина фактичної траєкторії МТА і залікової ділянки [73].

До узагальнених критеріїв відносяться також комплексний показник стійкості руху [69, 74] ($K = \omega_{\text{ср}} \cdot L_{\text{ср max}}$, де $\omega_{\text{ср}}$, $L_{\text{ср max}}$ – середня кутова швидкість повороту рульового колеса і середнямаксимальне бічне відхилення осі передніх коліс трактору відповідно); коефіцієнт, що враховує стійкість руху [69] ($K_{\text{рух}} = (D_{\text{в.ет.}} - D_{\text{вет.}}) / (D_{\text{в.ф.}} \cdot D_{\text{вф.}})$, де $D_{\text{в.ет.}}$, $D_{\text{вет.}}$, $D_{\text{в.ф.}}$, $D_{\text{вф.}}$ – відповідно дисперсії бічних відхилень і їх швидкостей для агрегату з еталонними і фактичними параметрами); ступінь стійкості [65, 66] ($\sigma = d / (v \cdot \tau)$, де d – радіус кривизни траєкторії знаряддя відносно миттєвого центру його обертання, v – поступальна швидкість знаряддя, τ – час, який необхідний для зменшення початкового відхилення до припустимого значення).

Кінематичні критерії ґрунтуються на використанні параметрів, які пов'язані з рухом МТА у бічному напрямку: бічне і курсове відхилення, їх похідні та подібні до них. Кінематичні критерії відображають наслідок, але не відкривають причини такого руху.

Динамічні критерії ґрунтуються на використанні динамічних параметрів руху: сил і моментів, що діють у горизонтальній площині МТА. Вони у протилежність до кінематичних критеріїв, відображають механізм формування бічного руху, але не висвітлюють його наслідки.

Деякі дослідники викривленість рядків просапних культур оцінюють значиною відхилення їх траєкторії на заданій довжині. За агротехнічними вимогами непрямолінійність сходів можна вважати прийнятною, якщо на довжині 50 м максимальне відхилення траєкторії рядка від його осевої лінії не перевищує 5 см [60].

Не дивлячись на простоту визначення, інформативність цього методу є теж недостатньою. Так, для двох різних за внутрішньою природою, коливальних процесів значина пропонуємого показника викривленості рядків просапних культур буде однаковою (рис.1.13).

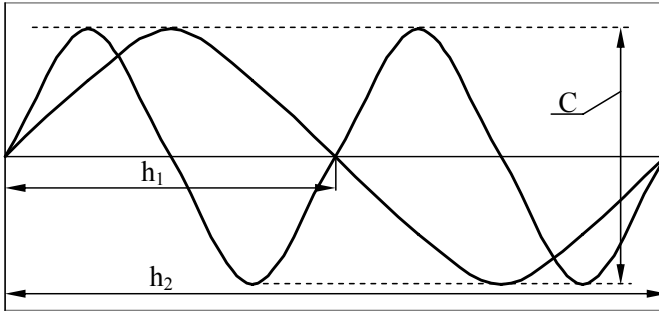


Рис.1.13. Траєкторії рядків з різними викривленнями

С.П. Пожидаєвим запропоновано показник (μ), який більш вдало розкриває внутрішню природу коливального процесу, зв'язуючи між собою розмах (C) та період (h) коливань траєкторії рядка просапної культури [63, 75, 82]:

$$\mu = C/h \quad (1.1)$$

Для розрахунку величини μ реального рядка рослин слід, як вказує автор «...візуально виділити ряд окремих синусоїдальних хвиль і провести вимірювання розмаху C та довжини h кожної з них... Після цього, згідно з виразом (1.1) для кожної ділянки рядка визначаються окремі оцінки непрямолінійності, а потім, за допомогою відомих співвідношень, їх середню значину, дисперсію та інші статистичні характеристики». Попри все, цей метод не позбавлений суттєвих недоліків. По-перше, він дуже трудомісткий. По-друге, як і у попередників, невідомо, яка значина показника є прийнятною, а яка – ні.

Проте, роздільне застосування динамічних і кінематичних критеріїв має свої недоліки. По-перше, значення параметрів об'єкту, що оптимізується, за даними критеріями може не співпадати. По-друге, способи оптимізації цих параметрів за вказаними критеріями різні: за динамічними – теоретичний (розрахунок), а за кінематичним – експериментальний. Тому виконуючи оптимізацію параметрів теоретичним шляхом із використанням кінематичного критерію, можливо дійти до протиріччя, яке буде ускладнювати задачу оптимізації.

Для усунення даного недоліку необхідно об'єднати динамічні і кінематичні критерії. На наш погляд, найбільш вдало вказані критерії об'єднуються у виразі [16, 17, 68, 83]:

$$S_y(\omega) = [A(\omega)] \cdot S_M(\omega), \quad (1.2)$$

де $S_y(\omega)$, $S_M(\omega)$ – спектральні щільності стаціонарних процесів бічного відхилення об'єкту і моменту збурюючих сил;

$A(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика «момент сил – бічне відхилення».

Виконавши інтегрування (1.2), отримуємо вираз критерію «практичної» стійкості у вигляді дисперсії

$$D_y = \int_0^{\infty} [A(\omega)]^2 \cdot S_M(\omega) \cdot d\omega, \quad (1.3)$$

Прийнятому визначенню «практичної» стійкості у якості прямих параметричних критеріїв відповідають: дисперсія (середньоквадратичне відхилення), кореляційна функція і спектральна щільність бічних відхилень. Причому кореляційна функція і спектральна щільність несуть додаткову інформацію про внутрішню структуру бічного руху і досить часто є обов'язковими.

Найбільш повно робота начіпного культиватора оцінюється за середнім значенням захисної зони робочих органів (або ходової частини трактору) і значини її коливань. Саме такий показник містить обидві якості МТА – стійкість прямолінійного руху і керованість. Виходячи із вищевикладеного, нами пропонується показник частотно-дисперсійний показник оцінки непрямолінійності рядків просапних культур [84 – 88], позбавлений, на нашу думку, згаданих недоліків.

Висновки по розділу

Збільшення площ просапних культур, які вирощуються з міжряддям 70 см, і одночасне створення малих господарств зі значно меншим загальним обсягом ріллі, обумовлює передумови застосування універсальних-просапних енергетичних засобів, здатних виконувати максимально можливу кількість операцій при вирощуванні всіх культур, які використовуються у сівозміні.

Найбільш ефективними, на думку багатьох фахівців, при вирощуванні просапних культур з міжряддям 70 см на півдні України є енергетичні засоби не нижче тягового класу 2. Підкреслимо, що такі трактори на Україні у даний час не виробляються. Для вирішення цієї проблеми ВАТ «ХТЗ» було розроблено інтегральний орно-просапний трактор серії ХТЗ-120/160, який можна використовувати з широкозахватними (12-, 18-рядними) й комбінованими машинами. Агрегати на його базі забезпечують впровадження новітніх технологій, підвищення продуктивності у 1,7...2,0 рази, зниження витрат палива на 15...20%, підвищення врожайності на 4,5...8,0 т/га.

Зараз при використанні тракторів серії ХТЗ-120/160 на вирощуванні просапних культур з міжряддям 70 см у господарствах застосовують проставки для збільшення колії, встановлення яких вимагає значного часу на переобладнання колії з 2100 мм на 2800 мм, і також породжує проблему відслідковування механізатором міжрядь оброблювальної культури.

Тому з метою підвищення експлуатаційної ефективності використання орно-просапного трактора необхідно провести обґрунтування схеми, параметрів і режиму його агрегування з сівалкою для сівби просапних культур.

В основу досягнення поставленої мети поставлено перевірку розробленої **наукової гіпотези**, згідно з якою підвищення експлуатаційної ефективності використання орно-просапного трактора без зміни параметрів його ходової системи можна забезпечити шляхом поперечного зміщення агрегатованої сівалки для сівби просапних культур на половинну величини міжряддя вирощуваної культури.

В процесі перевірки даної робочої гіпотези вирішувались наступні **задачі**:

- удосконалення математичної динамічної моделі функціонування асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату у горизонтальній площині і на її основі оцінка впливу схеми, параметрів і режимів роботи агрегату на керованість та стійкість його руху;
- розробка більш інформативного показника оцінки криволінійності траєкторій рядків просапних культур;
- експериментальна оцінка впливу вибраної схеми, конструктивних параметрів та режимів роботи асиметричного посівного МТА на траєкторні, експлуатаційно-технологічні та якісні показники його роботи;
- оцінка якості міжрядного обробітку сходів просапної культури, посіяних асиметричним посівним агрегатом.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ

2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при моделюванні коливань посівного агрегату в горизонтальній площині

Функціонування дослідного посівного агрегату можна розглядати як реакцію на вхідні керуючий та збурюючі впливи. При цьому, як вже зазначалося, реакція машинно-тракторного агрегату на керуючий вплив буде характеризувати його керованість, а на збурюючі – стійкість руху [16, 68].

Даний підхід дозволяє розглядати дослідний агрегат у якості динамічної системи, яка перетворює вхідні параметри у вихідні під час його роботи. У якості збурюючого впливу приймаємо розворотний момент, що створюється завдяки асиметричному навішуванню просапної сівалки Δ та вильоту маркеру Δ_M , а керуючого впливу – кут повороту керованих коліс трактора α .

Вихідними змінними параметрами, що задають траєкторію руху асиметричного посівного МТА під час роботи, є поперечне зміщення центру мас трактора X_{St} та кут відхилення його поздовжньої осі від напрямку руху – курсовий кут φ .

Характер функціонування динамічної системи під час відпрацювання керуючого та збурюючого впливів залежить від динамічних характеристик, які визначаються, в даному випадку, схемою та параметрами посівного агрегату. Таким чином, виходячи з аналізу керованості та стійкості руху посівного МТА, треба встановити такі характеристики динамічної системи, які забезпечують їй раціональне перетворення вхідних впливів [68, 77].

Головними операторами для динамічних систем є передавальні функції та частотні характеристики [77, 89, 90]. Вони дають найбільш повну уяву про динамічні якості системи, її реакції на різні збурення та характер перехідних і сталих процесів. Для їх теоретичного визначення необхідна система рівнянь, які зв'язують вихідні параметри з вхідними (тобто математична модель дослідного процесу).

Посівний МТА на базі орно-просапного трактора є складною динамічною системою. Це пояснюється багатомірністю, високим порядком диференціальних рівнянь і наявністю нелінійних залежностей між окремими її координатами.

На даному етапі вивчення динаміки дослідного агрегату доцільно розглянути його дещо спрощену схему у вигляді лінійної моделі. У своїх працях Лур'є А.Б. підкреслював, що «... така ідеалізація системи у багатьох випадках досить ефективна для складних сільськогосподарських агрегатів і їх систем керування, динаміка яких вивчена ще недостатньо. Лінеаризація динамічної системи дає можливість фізично осмислити отриманий результат і накопичити досвід проектування» [16, 68].

При рішенні задач синтезу в якості оператора багато дослідників використовують амплітудо- та фазовочастотні характеристики [18, 39, 56, 57, 91].

Враховуючи, що керованість і стійкість руху асиметричного посівного агрегату передбачається оцінювати точністю та швидкістю відпрацювання ним керуючого та збурюючого впливів, необхідно визначити амплітудні та фазові частотні характеристики по

обох впливах відносно параметрів, які забезпечують задовільне відстеження енергетичним засобом тракторії попереднього проходу МТА. В якості таких параметрів можуть виступати поперечне зміщення керованих коліс трактора та його курсовий кут [39, 68].

Слід підкреслити, що навіть в лінійній інтерпретації математична модель посівного агрегату представляє собою систему складних диференціальних рівнянь. З метою спрощення їх складання приймаємо наступні припущення:

1. Трактор розглядається у вигляді твердого тіла, що має вісь симетрії, яка проходить через центр мас.
2. Коливання тягового опору не суттєво впливає на швидкість руху МТА, тому приймаємо її постійною.
3. Бокова взаємодія шин трактора і просапної сівалки з деформованою поверхнею, розглядається в рамках гіпотези “бічного відведення”.
4. Кут відведення шин коліс, які розташовані на одній геометричній вісі, а також бічні сили, що діють на них, приймаємо однаковими.
5. Кути повороту керованих коліс трактора малі, а отже, вважаємо їх рівними.
6. Сили і моменти, які прикладені до симетрично (відносно повздовжньої вісі трактора) розташованих коліс, попарно рівні й паралельні. Вони можуть бути замінені рівнодіючими подвоєними силами та моментами.

Проведемо обґрунтування прийнятих допущень.

Стосовно *першого припущення*. Трактор (ХТЗ-160) має жорстку рамну конструкцію. При цьому, поперечне відхилення координати його центру мас від повздовжньої вісі симетрії не перевищує 2,5 см. Тому розглядаємо трактор у вигляді твердого тіла, яке має вісь симетрії, що проходить через центр мас.

Друге припущення пояснюється наступним. В якості показника зміни того чи іншого параметру часто використовують коефіцієнт варіації V . Мінливість прийнято вважати незначною, якщо його значина не перевищує 10%, середньою – при значенні вище 10% і нижче 20%, значною – при 20% і більше [92]. Справедливість цього припущення доказано в роботах Надикто В.Т. [39].

Справедливість *третього припущення* доведено в роботах Гячева Л.В., Кутькова Г.М. та інших науковців [66 – 67, 93 – 96]. Вони встановили, що відображення характеру взаємодії шини з опорною поверхнею в нелінійній інтерпретації виправдано тільки при русі колісного енергетичного засобу по таких твердих покриттях, як асфальт, бетон і т. ін. У випадку переміщення енергетичного засобу по м'якому фоні, яким є ґрунт, гіпотеза «бічного відведення» у лінійній інтерпретації дає цілком задовільні результати.

Стосовно *четвертого припущення*. Як відомо, серед всіх факторів, найбільшу роль на відведення шин колісного трактору відіграє вертикальне навантаження. Лівій і правий борти тракторів серії ХТЗ-120/160 мають приблизно однакове навантаження [39]. Тому вважаємо, що в процесі руху на гоні кути відведення шин колісного енергетичного засобу, розташованих на одній геометричній осі, будуть практично однаковими. Це ж саме можна сказати і стосовно просапної сівалки. Оскільки, відповідно до постулатів лінійної гіпотези бічного відведення [66 – 67, 70], бічні сили, що діють на ці шини, також рівні, кожна вісь трактора може бути умовно представлена «еквівалентним» колесом. Дане припущення використовується багатьма ученими [66 – 67, 93 – 96].

Обґрунтованість *n'ятого припущення* основана на тому, що в процесі руху на гоні багатьох агрегатів, в тому числі й посівного, кут повороту керованих коліс енергетичного засобу не перевищує 0,175 радіан (10°). Кінематика кермової трапеції трактора ХТЗ-160 така, що різницею в кутах повороту його лівих і правого керованих коліс при цьому можна знехтувати.

Правомірність *шостого припущення* було підтверджено у роботах Гячева Л.В. На його думку, сили і моменти, які прикладені до симетрично (відносно повздовжньої вісі трактора) розташованих коліс, попарно рівні й паралельні. Вони можуть бути замінені рівнодіючими подвоєними силами та моментами [65-66].

2.2. Математична модель руху асиметричного посівного агрегату

Диференційні рівняння коливань трактора складаємо у формі рівнянь Лагранжа другого роду [97 – 99]:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T_m}{\partial q_i} = Q_i, \quad (2.1)$$

де q_i , Q_i – узагальнені координати та сили відповідно; $i = \overline{1,2}$

Згідно з другим припущенням приймаємо, що МТА на гоні здійснює відносно нерухомої площини рівномірний поступальний рух зі швидкістю v_0 ($v_0 = \text{const}$). Під час виконання технологічних операцій під впливом випадкових факторів агрегат відхиляється від початкового положення і отримує додаткову швидкість відносно площини ХОУ. При цьому площина $X_s O_s Y_s$, що зв'язана з центром мас енергетичного засобу, обертається навколо вісі $S_s Z_s$, яка проходить через точку S_s . Мірою цього повороту є кут φ , який утворюють повздовжня вісь $S_s Y_s$ енергетичного засобу та вісь ОУ. Під час відносного руху центр мас енергетичного засобу переміщується вздовж вісі ОХ, внаслідок чого змінюється значина координати $X = OS_s$. Таким чином, даний МТА по відношенню до площини ХОУ має два ступеня вільності. Їм відповідають дві узагальнені координати – кут φ та зміна координати центру мас енергетичного засобу X_{s_s} .

Кутові коливання й переміщення вздовж вісі ОХ виникають внаслідок впливу на агрегат постійних за модулем, але змінних за напрямком сил опору кочення і рушійних сил передніх та задніх коліс, а також змінних за значиною і напрямком реакцій опорних поверхонь, що виникають під час деформації шин.

Розглянемо *дві схеми* посівних агрегатів. Згідно з *першою* (рис.2.1) трактор налаштовується на прямий рух. Розглянемо сили, що діють на МТА.

До зовнішніх сил, при його плоско-паралельному русі, відносяться:

- бічні сили R_{bA} , R_{bB} і R_{bM} , які прикладені в точках А, В і М відповідно;
- сила опору переміщення маркера R_M , направлена паралельно осі симетрії енергетичного засобу і прикладена на відстані Δ_M ;
- сила опору переміщення сівалки $R_{кр}$, прикладена в точці М, яка розташована на відстані Δ від повздовжньої вісі енергетичного засобу та відхилена від напрямку переміщення рушіїв на кут відведення δ_M ;
- дотичні сили передніх $R_{кА}$ і задніх $R_{кВ}$ коліс та сили опору коченню P_{fA} і P_{fB} , які прикладені в точках А і В та утворюють з напрямком руху МТА кути відведення δ_A і δ_B .

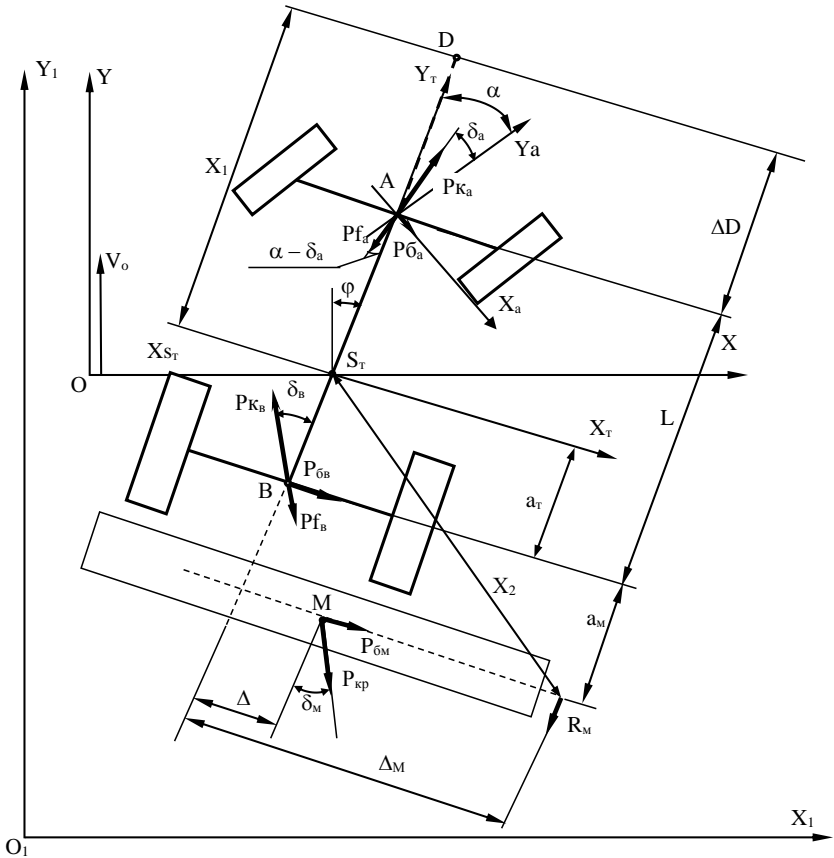


Рис. 2.1. Схема сил, які діють на посівний МТА у горизонтальній площині при прямому русі трактора

Слід відмітити, що дотичні сили передніх P_{KA} і задніх P_{KB} коліс, сили опору коченню P_{Fa} і P_{Fb} та сила опору переміщення сівалки P_{KP} направлені з урахуванням напрямку кутів відведення δ_a , δ_b і δ_M відповідно (рис. 2.1).

Кінетична енергія енергетичного засобу T_T відносно площини XOY знаходимо з виразу [97, 98]:

$$T_T = (M_T \cdot V_{S_T}^2 + J_{S_T} \cdot \omega_T^2) / 2, \quad (2.2)$$

де M_T – маса енергетичного засобу;

V_{S_T} – лінійна швидкість центру мас трактора в площині XOY ;

J_T – момент інерції енергетичного засобу відносно вертикальної осі StZ;

ω – кутова швидкість повороту енергетичного засобу.

Лінійну швидкість центру мас трактора в площині XOY знаходять з виразу:

$$V_{S_T} = \dot{X}_{S_T}, \quad (2.3)$$

а кутова швидкість повороту енергетичного засобу визначиться як

$$\omega_T = \dot{\varphi} \quad (2.4)$$

З урахуванням вище викладеного отримуємо:

$$T_T = (M_T \cdot \dot{X}_{S_m}^2 + J_{S_m} \cdot \dot{\varphi}^2) / 2 \quad (2.5)$$

Оскільки кінетична енергія залежить тільки від швидкості і не залежить від узагальненої координати, то

$$\partial T_T / \partial q_i = 0 \quad (2.6)$$

Частинні похідні по швидкостях узагальнених координат дорівнюють:

$$\frac{\partial T_T}{\partial \dot{X}_{S_T}} = M_T \cdot \dot{X}_{S_T}; \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial T_T}{\partial \dot{\varphi}} = J_{S_T} \cdot \dot{\varphi} \quad (2.8)$$

Похідні за часом

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_T}{\partial \dot{X}_{S_T}} = M_T \cdot \ddot{X}_{S_T}; \quad (2.9)$$

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_T}{\partial \dot{\varphi}} = J_{S_T} \cdot \ddot{\varphi} \quad (2.10)$$

Після перетворень (2.1) система рівнянь, з урахуванням (2.2 – 2.10), матиме наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} M_T \cdot \ddot{X}_{S_T} &= Q_{X_{S_T}} \\ J_{S_T} \cdot \ddot{\varphi} &= Q_{\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Для знаходження узагальненої сили Q_{X_s} , яка діє на посівний МТА у горизонтальній площі проєкцій, дамо приріст ΔX_{S_T} відповідній узагальненій координаті. Динамічна система при цьому переміститься праворуч на величину ΔX_{S_T} . При поступальному русі твердого тіла роботу виконує головний вектор сил. Узагальнена сила при цьому дорівнює проєкції головного вектора зовнішніх сил, прикладених до енергетичного засобу, на напрямок осі OX:

$$Q_{X_s} = P_{K_A} \cdot \sin(\alpha - \delta_A + \varphi) + P_{B_A} \cdot \cos(\varphi + \alpha) - P_{F_A} \cdot \sin(\alpha - \delta_A + \varphi) - P_{K_B} \cdot \sin(\delta_B - \varphi) + \\ + P_{B_B} \cdot \cos\varphi + P_{F_B} \cdot \sin(\delta_B - \varphi) + P_{B_M} \cdot \cos\varphi - P_{K_P} \cdot \sin(\varphi - \delta_M) - R_M \cdot \sin\varphi$$

де φ – кут повороту енергетичного засобу у горизонтальній площині відносно начального напрямку руху;

α – кут повороту керованих коліс енергетичного засобу;

δ_A, δ_B – кути відведення передніх і задніх коліс енергетичного засобу;

δ_M – кут відведення коліс просапної сівалки.

Оскільки кути φ та α малі, а для малих кутів значина косинуса приблизно дорівнює одиниці, синус – самому куту [100], то:

$$Q_{Xs} = P_{KA} \cdot (\alpha - \delta_A + \varphi) + P_{BA} - P_{FA} \cdot (\alpha - \delta_A + \varphi) - P_{KB} \cdot (\delta_B - \varphi) + P_{BB} + \\ + P_{FB} \cdot (\delta_B - \varphi) + P_{BM} - P_{KR} \cdot (\varphi - \delta_M) - R_M \cdot \varphi$$

або

$$Q_{Xs} = (P_{KA} + P_{KB} - P_{FA} - P_{FB} - P_{KR} - R_M) \cdot \varphi + (P_{KA} - P_{FA}) \cdot \alpha + \\ + (P_{FA} - P_{KA}) \cdot \delta_A + (P_{FB} - P_{KB}) \cdot \delta_B + P_{BA} + P_{BB} + P_{BM} + P_{KR} \cdot \delta_M$$

Враховуючи, що при рівномірному русі $P_{KA} + P_{KB} - P_{FA} - P_{FB} - P_{KR} - R_M = 0$, після перетворень отримуємо:

$$Q_{Xs} = (P_{KA} - P_{FA}) \cdot \alpha + (P_{FA} - P_{KA}) \cdot \delta_A + (P_{FB} - P_{KB}) \cdot \delta_B + \\ + P_{BA} + P_{BB} + P_{BM} + P_{KR} \cdot \delta_M \quad (2.12)$$

Для знаходження узагальненої сили Q_φ повертаємо енергетичний засіб, як тверде тіло, відносно осі StZ на кут φ . При цьому шукана сила дорівнюватиме головному моменту сил відносно точки St:

$$Q_\varphi = P_{KA} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) - P_{FA} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) + P_{BA} \cdot (L - a_T) \cdot \cos \alpha + \\ + P_{KB} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B - P_{FB} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B - P_{BB} \cdot a_T - P_{BM} \cdot (a_T + a_M) - \\ - P_{KR} \cdot [(a_T + a_M) \cdot \sin \delta_M - \Delta \cdot \cos \delta_M] + R_M \cdot \Delta_M$$

де $L, a_T, \Delta, \Delta_M, a_M$ – конструктивні параметри, природа яких зрозуміла з рис. 2.1.

З урахуванням малих кутів отримуємо:

$$Q_\varphi = P_{KA} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) - P_{FA} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) + P_{BA} \cdot (L - a_T) + P_{KB} \cdot a_T \cdot \delta_B - \\ - P_{FB} \cdot a_T \cdot \delta_B - P_{BB} \cdot a_T - P_{BM} \cdot (a_T + a_M) - P_{KR} \cdot [(a_T + a_M) \cdot \delta_M - \Delta] + R_M \cdot \Delta_M \quad (2.13)$$

Бокові сили, згідно з гіпотезою «бічного відведення» [66 – 67, 93 – 96] можна розрахувати через коефіцієнт опору відведенню:

$$P_{BA} = k_A \cdot \delta_A; \quad P_{BB} = k_B \cdot \delta_B; \quad P_{BM} = k_M \cdot \delta_M. \quad (2.14)$$

Для знаходження кутів відведення δ_A, δ_B і δ_M визначимо складові векторів швидкості точок А, В і М, які відповідають проєкціям середин переднього і заднього мостів енергетичного засобу та точки «центру опору» просапної сівалки на горизонтальну площину (див. рис. 2.1):

$$\begin{aligned} \vec{V}_A &= \vec{V}_O + \vec{V}_{ST} + \vec{V}_{AST}; \\ \vec{V}_B &= \vec{V}_O + \vec{V}_{ST} + \vec{V}_{BST}; \\ \vec{V}_M &= \vec{V}_O + \vec{V}_{ST} + \vec{V}_{MST}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

По модулю складові рівнянь (2.15) дорівнюють:

$$\begin{aligned}\bar{V}_O &= V_O; & \bar{V}_{S_T} &= \dot{X}_{S_T}; & \bar{V}_{AS_T} &= (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}; \\ \bar{V}_{BS_T} &= a_T \cdot \dot{\varphi}; & \bar{V}_{MS_T} &= \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2}.\end{aligned}\quad (2.16)$$

Геометричні суми рівнянь (2.15) представлені на рис.2.2, 2.3 і 2.4 відповідно.

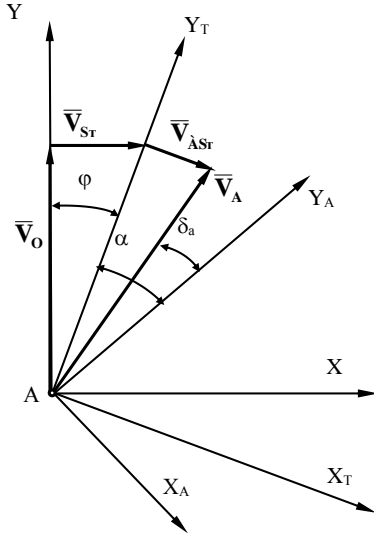


Рис.2.2. Векторна сума лінійної швидкості середини переднього мосту трактора (т. А, рис.2.1)

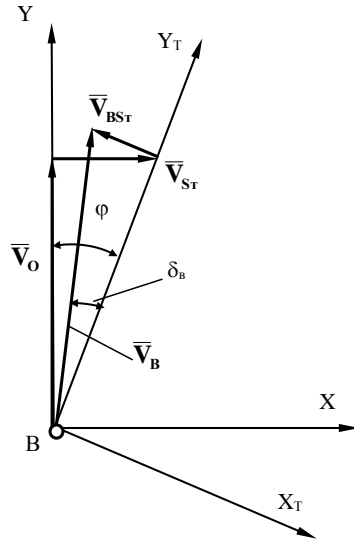


Рис.2.3. Векторна сума лінійної швидкості середини заднього мосту трактора (т. В, рис.2.1)

Згідно з отриманими даними кути відведення передніх і задніх коліс трактора дорівнюють

$$\operatorname{tg} \delta_a \approx \delta_a = V_{XA}/V_{YA},$$

$$\operatorname{tg} \delta_b \approx \delta_b = V_{XB}/V_{YB}.$$

де V_{XA}, V_{YA} – проєкції вектора абсолютної швидкості т.А (V_A) на осі AX_A і AY_A ;

V_{XB}, V_{YB} – проєкції вектора абсолютної швидкості т.В (V_B) на осі BX_T і BY_T .

У відповідності до рис. 2.2, аналітичних залежностей (2.16) та малих кутів α , φ , δ_A маємо:

$$\begin{cases} V_{XA} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot (\varphi + \alpha) + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{YA} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot (\varphi + \alpha) - (L - a_T) \cdot \dot{\varphi} \cdot \alpha. \end{cases}\quad (2.17)$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то двома останніми складовими другого рівняння (2.17) можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YA} = V_o$. З урахуванням напрямку відкладання кута δ_A маємо:

$$\operatorname{tg} \delta_A \approx \delta_A = \frac{V_{XA}}{V_{YA}} = \varphi + \alpha - \frac{\dot{X}_{S_T} + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}}{V_o}$$

Кут відведення задніх рушіїв трактора знайдемо за допомогою проекцій вектору абсолютної швидкості середини заднього мосту т.В (V_B) на осі BX_T і BY_T (див. рис.2.3). Шукані проекції дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{BX} = \dot{X}_{S_T} - V_o \cdot \varphi - a_T \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{BY} = V_o + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_o. \end{cases}$$

Відповідно до розрахунків і урахуванням напрямку відкладання кут відведення δ_B дорівнює:

$$\operatorname{tg} \delta_B \approx \delta_B = \frac{V_{BX}}{V_{BY}} = \varphi + \frac{a_m \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{Sm}}{V_o}$$

Знаходимо кут відведення δ_m точки «центру опору» сівалки М (рис. 2.4).

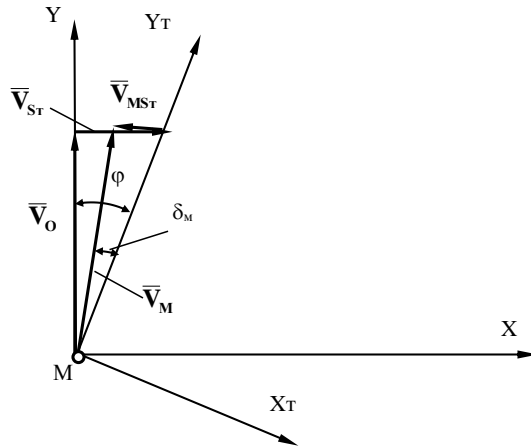


Рис.2.4. Векторна сума лінійної швидкості точки «центру опору» сівалки (т.М, рис.2.1)

Відповідно до розрахунків кут відведення т.М дорівнює:

$$\operatorname{tg} \delta_m \approx \delta_m = V_{XM}/V_{YM},$$

де V_{XM}, V_{YM} – проекції вектора абсолютної швидкості т. М (V_M) на осі MX_T і MY_T .

Проекції вектора абсолютної швидкості т.М (V_M) на осі MX_T і MY_T дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{MX} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot \varphi - \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2}; \\ V_{MY} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_O. \end{cases}$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то останнім складовим другого рівняння можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YM} = V_O$. Враховуючи мализну кутів і їх напрямки після перетворень отримуємо:

$$\operatorname{tg} \delta_M \approx \delta_M = \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}.$$

Враховавши напрямки кутів відведення δ_A , δ_B та δ_M можемо записати:

$$\begin{aligned} \delta_A &= \varphi + \alpha - \frac{\dot{X}_{S_T} + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}}{V_O}; & \delta_B &= \varphi + \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}; \\ \delta_M &= \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Знайшовши кути відведення, маємо можливість виразити бічні сили $P\delta_A$, $P\delta_B$ та $P\delta_M$:

$$\begin{aligned} P\delta_A &= k_A \cdot \left[\varphi + \alpha - \frac{\dot{X}_{S_T} + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}}{V_O} \right]; & P\delta_B &= k_B \cdot \left[\varphi + \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O} \right]; \\ P\delta_M &= k_M \cdot \left[\varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O} \right]. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Підставивши, з урахуванням (2.18) і (2.19), значини узагальнених сил (2.12) і (2.13) в систему рівнянь (2.11), отримаємо наступні диференційні рівняння руху МТА у горизонтальній площині проєкцій [101]:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{X}_{ST} + A_{12} \cdot \dot{X}_{ST} + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = f_{11} \cdot \alpha; \\ A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \varphi + A_{24} \cdot \dot{X}_{ST} = f_{21} \cdot \alpha + f_{22} + f_{23}. \end{cases} \quad (2.20)$$

де $A_{11} = M_T$;

$$A_{12} = (k_A + k_B + k_M - R_M) / V_O;$$

$$A_{13} = \left[(Pf_A - Pk_A + k_A) \cdot (L - a_T) + (Pk_B - Pf_B - k_B) \cdot a_T - (P_{kp} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} \right] / V_O;$$

$$A_{14} = R_M - k_A - k_B - k_M;$$

$$f_{11} = k_A;$$

$$A_{21} = J_{S_T};$$

$$A_{22} = \left[(Pf_A - Pk_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - Pk_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} \right] / V_O;$$

$$A_{23} = (P_{K_A} - P_{f_A} - k_A) \cdot (L - a_T) + (P_{f_B} - P_{K_B} + k_B) \cdot a_T + (k_M + P_{kp}) \cdot (a_T + a_M);$$

$$A_{24} = -A_{22} \cdot V_0;$$

$$A_{24} = -A_{23} / V_0;$$

$$f_{21} = k_A \cdot (L - a_T);$$

$$f_{22} = P_{kp} \cdot \Delta;$$

$$f_{23} = R_M \cdot \Delta_M.$$

Розглянемо *другу* схему агрегатування посівного МТА. Її особливість полягає у тому, що трактор рухається реверсивним ходом. При цьому схема сил буде виглядати так, як на рисунку 2.5.

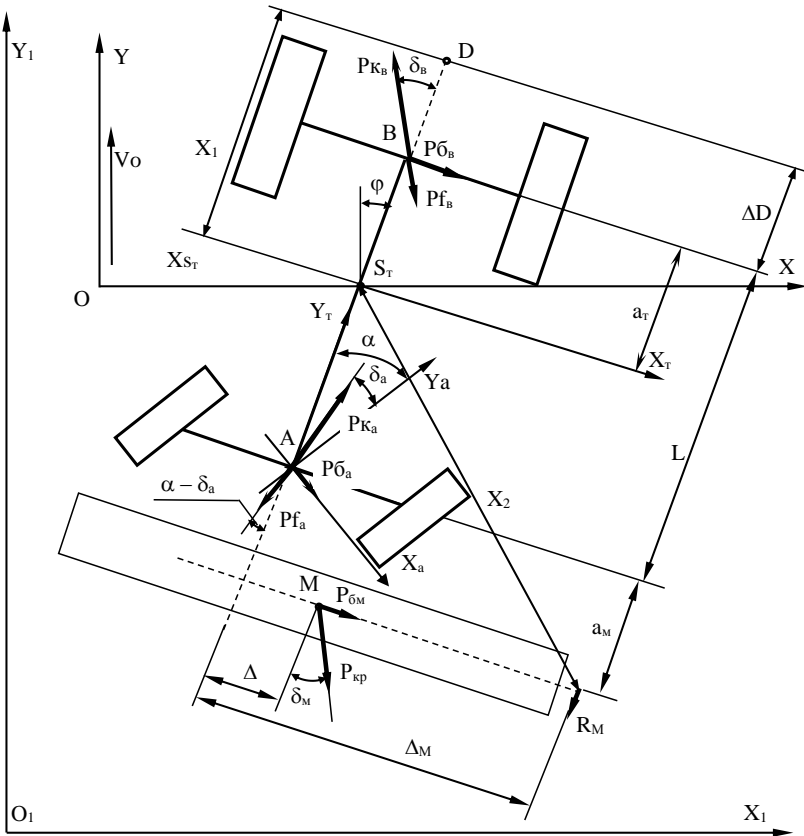


Рис. 2.5. Схема сил, які діють на посівний МТА у горизонтальній площині при реверсивному русі трактора

При такій схемі агрегування математична модель МТА буде відрізнятися від (2.20). Узагальнена сила Q_{X_5} в цьому випадку буде такою ж, як і для МТА за першою схемою. Вираз для визначення узагальненої сили Q_ϕ буде іншим:

$$Q_\phi = -P_{K_A} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) + P_{F_A} \cdot (L - a_T) \cdot \sin(\alpha - \delta_A) - P_{B_A} \cdot (L - a_T) \cdot \cos \alpha - \\ - P_{K_B} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B + P_{F_B} \cdot a_T \cdot \sin \delta_B + P_{B_B} \cdot a_T - P_{B_M} \cdot (L - a_T + a_M) - \\ - P_{K_r} \cdot [(L - a_T + a_M) \cdot \sin \delta_M - \Delta \cdot \cos \delta_M] + R_M \cdot \Delta_M$$

З урахуванням малих кутів отримуємо:

$$Q_\phi = -P_{K_A} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) + P_{F_A} \cdot (L - a_T) \cdot (\alpha - \delta_A) - P_{B_A} \cdot (L - a_T) - P_{K_B} \cdot a_T \cdot \delta_B + \\ + P_{F_B} \cdot a_T \cdot \delta_B + P_{B_B} \cdot a_T - P_{B_M} \cdot (L - a_T + a_M) - P_{K_r} \cdot [(L - a_T + a_M) \cdot \delta_M - \Delta] + \\ + R_M \cdot \Delta_M \quad (2.21)$$

Бокові сили можна розраховувати через коефіцієнт опору відведенню (2.14).

Для визначення абсолютних швидкостей точок А, В і М (див. рис.2.5) скористаємось системою векторних рівнянь (2.15).

По модулю (відповідно до рис. 2.5) їх складові дорівнюють:

$$\bar{V}_O = V_O; \quad \bar{V}_{S_T} = \dot{X}_{S_T}; \quad \bar{V}_{AS_T} = (L - a_T) \cdot \dot{\phi}; \\ \bar{V}_{BS_T} = a_T \cdot \dot{\phi}; \quad \bar{V}_{MS_T} = \dot{\phi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}. \quad (2.22)$$

Геометричні суми представлені на рисунках 2.6, 2.7 і 2.8 відповідно. Згідно з отриманих даних кути відведення передніх і задніх коліс трактора знайдемо з виразів:

$$\operatorname{tg} \delta_a \approx \delta_a = V_{XA} / V_{YA},$$

$$\operatorname{tg} \delta_b \approx \delta_b = V_{XB} / V_{YB}.$$

де V_{XA}, V_{YA} – проєкції вектора абсолютної швидкості т.А (V_A) на осі AX_A і $\bar{A}Y_A$;

V_{XB}, V_{YB} – проєкції вектора абсолютної швидкості т.В (V_B) на осі BX_T і $\bar{B}Y_T$.

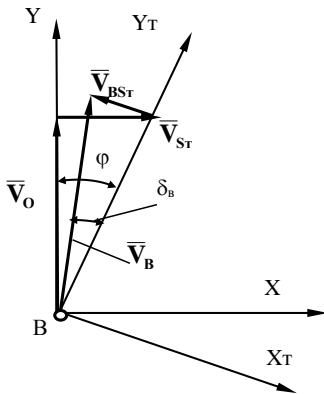


Рис.2.6. Векторна сума лінійної швидкості середини переднього мосту трактора (т. В, рис.2.5)

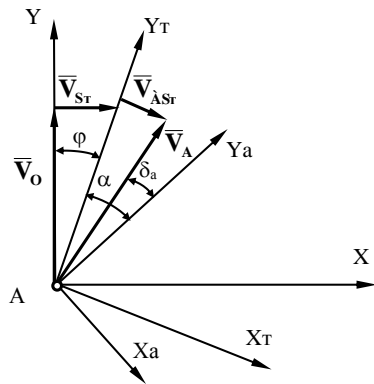


Рис.2.7. Векторна сума лінійної швидкості середини заднього мосту трактора (т. А, рис.2.5)

Кут відведення передніх рушіїв трактора знайдемо за допомогою проєкцій вектору абсолютної швидкості середини заднього мосту т.В (V_B) на осі BX_T і BY_T (див. рис.2.6). Шукані проєкції дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{BX} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot \varphi + a_T \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{BY} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_O. \end{cases}$$

Відповідно до розрахунків кут відведення т. В дорівнює:

$$\operatorname{tg} \delta_B \approx \delta_B = \frac{V_{BX}}{V_{BY}} = \varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{S_T}}{V_O}$$

У відповідності до рис. 2.7, аналітичних залежностей (2.22) та малих кутів α , φ , δ_A маємо:

$$\begin{cases} V_{XA} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot (\varphi + \alpha) - (L - a_T) \cdot \dot{\varphi}; \\ V_{YA} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot (\varphi + \alpha) + (L - a_T) \cdot \dot{\varphi} \cdot \alpha \approx V_O. \end{cases} \quad (2.23)$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то двома останніми складовими другого рівняння (2.23) можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YA} = V_O$. З урахуванням напрямку відкладання кута δ_A маємо:

$$\operatorname{tg} \delta_A \approx \delta_A = \frac{V_{XA}}{V_{YA}} = \varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}.$$

Знаходимо кут відведення δ_M точки «центру опору» сівалки М (рис. 2.5).

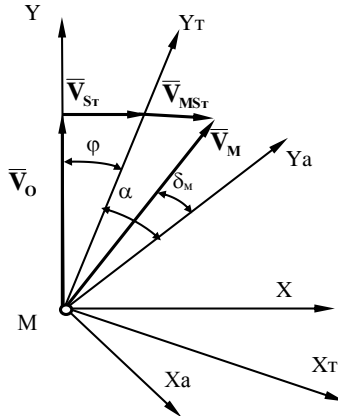


Рис.2.8. Векторна сума лінійної швидкості точки «центру опору» сівалки (т. М, рис.2.5)

Проекції вектора абсолютної швидкості т. М (V_M) на осі $\overline{MX_T}$ і $\overline{MY_T}$ дорівнюють:

$$\begin{cases} V_{MX} = \dot{X}_{S_T} - V_O \cdot \varphi - \dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}; \\ V_{MY} = V_O + \dot{X}_{S_T} \cdot \varphi \approx V_O. \end{cases}$$

Оскільки добуток малих величин дає ще менший результат, то останнім складовим другого рівняння можна знехтувати. Тобто можна вважати, що $V_{YM} = V_O$. Враховуючи мализну кутів після перетворень отримуємо:

$$tg \delta_M \approx \delta_M = \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}$$

Враховуючи напрямки кутів відведення δ_A , δ_B та δ_M можемо записати:

$$\begin{aligned} \delta_A = \varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}; \quad \delta_B = \varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{S_T}}{V_O}; \\ \delta_M = \varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Знайшовши кути відведення, маємо можливість виразити бічні сили $P\delta_A$, $P\delta_B$ та $P\delta_M$:

$$\begin{aligned} P\delta_A = k_A \cdot \left[\varphi + \alpha + \frac{(L - a_T) \cdot \dot{\varphi} - \dot{X}_{S_T}}{V_O} \right]; \quad P\delta_B = k_B \cdot \left[\varphi - \frac{a_T \cdot \dot{\varphi} + \dot{X}_{S_T}}{V_O} \right]; \\ P\delta_M = k_M \cdot \left[\varphi + \frac{\dot{\varphi} \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} - \dot{X}_{S_T}}{V_O} \right] \end{aligned} \quad (2.25)$$

Підставляючи, з урахуванням (2.24) і (2.25), значення узагальнених сил (2.12) і (2.21) в систему рівнянь (2.11), отримаємо наступні диференційні рівняння руху МТА у горизонтальній площині проекції, яке відрізняється від (2.20) наступними коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} A_{13} &= \left[-(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T - (P_{kp} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_O; \\ A_{22} &= \left[(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + \right. \\ &\quad \left. + (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_O \\ A_{23} &= -(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) - (P\kappa_B - Pf_B - k_B) \cdot a_T - (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M); \\ f_{21} &= -k_A \cdot (L - a_T). \end{aligned}$$

В диференційній формі загальну математичну модель посівного агрегату представляють системи рівнянь при прямому і реверсивному русі трактору:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{X}_{ST} + A_{12} \cdot \dot{X}_{ST} + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = f_{11} \cdot \alpha; \\ A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \varphi + A_{24} \cdot \dot{X}_{ST} = f_{21} \cdot \alpha + f_{22} + f_{23}. \end{cases} \quad (2.26)$$

де $A_{11} = M_T$;

$$A_{12} = (k_A + k_B + k_M - R_M) / V_0;$$

$$A_{13} = \begin{cases} \left[(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) + (Pf_B - P\kappa_B - k_B) \cdot a_T - (P_{kp} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} \right] / V_0 - \text{прямий рух}; \\ \left[-(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T - (P_{kp} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_0 - \text{реверс}; \end{cases}$$

$$A_{14} = R_M - k_A - k_B - k_M;$$

$$f_{11} = k_A;$$

$$A_{21} = J_{ST};$$

$$A_{22} = \begin{cases} \left[\frac{(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2}}{(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2}} \right] / V_0 - \text{прямий рух}; \\ \left[\frac{(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}}{(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T^2 + (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2}} \right] / V_0 - \text{реверс}; \end{cases}$$

$$A_{23} = \begin{cases} (P\kappa_A - Pf_A - k_A) \cdot (L - a_T) + (Pf_B - P\kappa_B + k_B) \cdot a_T + (k_M + P_{kp}) \cdot (a_T + a_M) - \text{прямий рух}; \\ -(Pf_A - P\kappa_A + k_A) \cdot (L - a_T) - (P\kappa_B - Pf_B - k_B) \cdot a_T - (k_M + P_{kp}) \cdot (L - a_T + a_M) - \text{реверс}; \end{cases}$$

$$A_{24} = -A_{23} / V_0;$$

$$f_{21} = \begin{cases} k_A \cdot (L - a_T); \\ -k_A \cdot (L - a_T); \end{cases}$$

$$f_{22} = P_{kp} \cdot \Delta;$$

$$f_{23} = R_M \cdot \Delta_M.$$

Для спрощення рішення системи диференційних рівнянь аналогічних до (2.26), як правило, застосовують операційний метод або перетворення Лапласа.

При символній формі запису диференційних рівнянь операційний метод дозволяє перейти від диференційних рівнянь до алгебраїчних шляхом формальної операції над символом $p \rightarrow d/dt$, де t – незалежна змінна. Операцію диференціювання замінують символом p , тоді $dx/dt = p \cdot x$; $d^2x/dt^2 = p^2 \cdot x$. [89, 90, 99, 102 – 104].

В нашому випадку вхідними змінними в системі рівнянь (2.26) виступають керуючий вплив у вигляді кута повороту керованих коліс трактора α та одиничний вплив параметрів, які входять до коефіцієнтів f_{22} та f_{23} .

Вихідними параметрами функціонування дослідної динамічної системи є поперечне зміщення центру мас X_{Sr} та курсовий кут φ трактора.

Після перетворень математична модель дослідного МТА в операторній формі запису матиме наступний вид:

$$\begin{cases} K_{11} \cdot X_{Sr}(p) + K_{12} \cdot \varphi(p) = F_{11} \cdot \alpha(p) + F_{12} \cdot l(p) + F_{13} \cdot l(p). \\ K_{21} \cdot X_{Sr}(p) + K_{22} \cdot \varphi(p) = F_{21} \cdot \alpha(p) + F_{22} \cdot l(p) + F_{23} \cdot l(p). \end{cases} \quad (2.27)$$

де $l(p)$ – одинична ступінчаста зміна вхідного параметру;

$$K_{11} = A_{11} \cdot p^2 + A_{12} \cdot p;$$

$$K_{12} = A_{13} \cdot p + A_{14};$$

$$F_{11} = f_{11};$$

$$F_{12} = 0; F_{13} = 0;$$

$$K_{21} = A_{24} \cdot p;$$

$$K_{22} = A_{21} \cdot p^2 + A_{22} \cdot p + A_{23};$$

$$F_{21} = f_{21};$$

$$F_{22} = f_{22};$$

$$F_{23} = f_{23}$$

2.3. Результати перевірки отриманої моделі на адекватність

Перевірку отриманої математичної моделі проводили шляхом порівняння теоретичних та експериментальних амплітудних частотних характеристик (АЧХ) коливань курсового кута трактора φ (вихідної величини) при відпрацюванні посівним агрегатом вхідного керуючого впливу – кута повороту керованих коліс трактору α (рис. 2.9). Методика отримання теоретичної кривої наведена в підрозділі 3.3.

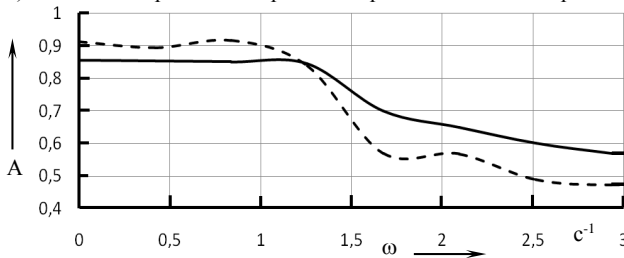


Рис. 2.9. Теоретична (—) та експериментальна (---) АЧХ відпрацювання кута повороту керованих коліс

Після зіставлення теоретичної та експериментальної АЧХ встановлено [101], що максимальна різниця між теоретичними й практичними значеннями функції не перевищує 5%. Отримане збігання експериментальних та теоретичних даних вказує на адекватність розро-

блені математичної моделі, що дає право використовувати її для подальших теоретичних досліджень з метою обґрунтування схеми та параметрів асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактора.

2.4. Методика теоретичного аналізу динаміки руху посівного агрегату на базі орно-просапного трактора у горизонтальній площині

Вплив схеми та параметрів посівного МТА на стійкість та керованість його робочого руху будемо оцінювати за допомогою амплітудних (АЧХ) та фазових (ФЧХ) частотних характеристик відпрацювання системою збурень у вигляді:

- коливань кута повороту керованих коліс трактора α ;
- поперечного зміщення просапної сівалки Δ ;
- виносу маркера Δm .

Вказаний імовірнісний характер збурення, а частіш за все й самого корисного сигналу (вхідної значини), привів до широкого застосування так званих статистичних методів (із застосуванням теорії ймовірностей) при розрахунках динамічних слідкуючих систем.

Практичне значення АЧХ й ФЧХ полягає в тому, що вони визначають собою сталі динамічні похибки слідкуючої системи. Від останньої вимагається, щоб вона на виході відтворювала якомога точніше закон зміни, заданий на вході. Тобто, в ідеалі вимагається, щоб коефіцієнт підсилення амплітуди дорівнював одиниці, а зміщення фази – нулю [89 – 90].

За частотними характеристиками слідкуючої динамічної системи можна визначити, наскільки вона може відтворювати швидкозмінні значини. Підбором схеми та параметрів слідкуючої системи можна досягати того, що при заданих частотах збурень отримувати оптимальні АЧХ й ФЧХ. При проектуванні слідкуючих систем ставлять вимоги до пропускання визначеного діапазону частот, виходячи з практичного застосування системи.

Отримані (дійсні) АЧХ та ФЧХ будемо порівнювати з бажаними. В якості останніх приймаємо аналогічні характеристики ідеальних динамічних слідкуючих систем. При відтворенні такими системами збурення АЧХ в робочому діапазоні частот повинні наближатися до нуля, а ФЧХ – безкінечно зростати [89, 90, 99, 102 – 105]. Варіант агрегату, у якого дійсні АЧХ й ФЧХ наближені до бажаних – *найбільш прийнятний*.

Ту чи іншу задану передаточну функцію можна знайти із виразу [89, 90]:

$$W(p) = \frac{b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_0} \quad (2.28)$$

де b_m , a_n – коефіцієнти чисельника і знаменника передаточної функції, які визначаються конструктивними та кінематичними параметрами асиметричного посівного агрегату;

m , n – показники ступенів рівнянь.

Підставивши в (2.28) замість p значення $i \cdot \omega$ (де $i = \sqrt{-1}$, а ω – частота збурюючого впливу), отримуємо комплексну частотну функцію $W(i\omega)$, а після перетворень – вирази для дійсної та уявної частотних характеристик даної системи [89]:

$$P(\omega) = \frac{A_1(\omega) \cdot B_1(\omega) + A_2(\omega) \cdot B_2(\omega)}{[A_1(\omega)]^2 + [A_2(\omega)]^2} = \text{Re} - \text{дійсна частина};$$

$$Q(\omega) = \frac{A_1(\omega) \cdot B_2(\omega) - A_2(\omega) \cdot B_1(\omega)}{[A_1(\omega)]^2 + [A_2(\omega)]^2} = \text{Im} - \text{уявна частина},$$

де $A_1(\omega) = a_0 - a_2 \cdot \omega^2 + a_4 \cdot \omega^4 + \dots$;

$$B_1(\omega) = b_0 - b_2 \cdot \omega^2 + b_4 \cdot \omega^4 + \dots;$$

$$A_2(\omega) = a_1 - a_3 \cdot \omega^3 + a_5 \cdot \omega^5 + \dots;$$

$$B_2(\omega) = b_1 - b_3 \cdot \omega^3 + b_5 \cdot \omega^5 + \dots.$$

Для визначення відповідних АЧХ й ФЧХ використовували формули [89]:

$$A_m(\omega) = \sqrt{[P(\omega)]^2 + [Q(\omega)]^2}, \quad \Phi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}.$$

Розрахунок фазових частотних характеристик $\Phi(\omega)$ здійснювали за алгоритмом, який враховував значини Re та Im [90].

Під час теоретичних досліджень керуючий вплив оцінювали аналізуючи наступні передаточні функції:

– по зміні курсового кута трактора відносно кута повороту керованих коліс:

$$W_1(p) = D_1 / D, \quad (2.29)$$

– по поперечному зміщенню сліду маркеру відносно зміщення точки візування:

$$W_2(p) = \frac{D_2 + D_1 \cdot X_1}{D_2 \pm D_1 \cdot X_2}, \quad (2.30)$$

де D – загальний визначник системи рівнянь (2.27);

D_1 – визначник, який описує процес зміни курсового кута φ відносно кута керованих коліс α ;

D_2 – визначник, який описує поперечне зміщення X_{Sr} «центру мас» посівного агрегату (т. S_r , рис. 2.1);

X_1 – відстань від «центра мас» МТА до точки візування (т. D , рис. 2.1 – 2.2);

X_2 – відстань від «центра мас» МТА до маркеру просапної сівалки (рис. 2.1 – 2.2).

В чисельнику знак « \leftarrow » відповідає прямій схемі налаштування агрегату, а « \rightarrow » – реверсивній. В даному випадку маємо:

$$D = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{vmatrix}, \quad (2.31)$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} K_{11} & F_{11} \\ K_{21} & F_{21} + F_{22} + F_{23} \end{vmatrix}, \quad (2.32)$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} F_{11} & K_{12} \\ F_{21} + F_{22} + F_{23} & K_{22} \end{vmatrix}. \quad (2.33)$$

Причому, при прямому русі трактору (див. рис. 2.1):

$$X_1 = L - a_T + \Delta D; \quad (2.34)$$

$$X_2 = \sqrt{(a_T + a_M)^2 + \Delta_M^2}, \quad (2.35)$$

а при реверсивному налаштуванні (див. рис. 2.2):

$$X_1 = a_T + \Delta D; \quad (2.36)$$

$$X_2 = \sqrt{(L - a_T + a_M)^2 + \Delta_M^2}. \quad (2.37)$$

Після перетворень, з урахуванням (2.31 – 2.37) отримуємо:

$$W_1(p) = \frac{F_1 \cdot p + F_0}{C_2 \cdot p^2 + C_1 \cdot p + C_0}, \quad (2.38)$$

$$\text{де } F_1 = A_{11} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23});$$

$$F_0 = A_{12} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}) - A_{24} \cdot F_{11};$$

$$C_2 = A_{11} \cdot A_{21};$$

$$C_1 = A_{11} \cdot A_{22} + A_{12} \cdot A_{21};$$

$$C_0 = A_{11} \cdot A_{23} + A_{12} \cdot A_{22} - A_{24} \cdot A_{13};$$

$$W_2(p) = \frac{F_{22} \cdot p^2 + F_{12} \cdot p + F_{02}}{C_{22} \cdot p^2 + C_{12} \cdot p + C_{02}}, \quad (2.39)$$

$$\text{де } F_{22} = A_{21} \cdot F_{11} + A_{11} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}) \cdot X_1;$$

$$F_{12} = F_{11} \cdot A_{22} - (F_{21} + F_{22} + F_{23}) \cdot A_{13} + (A_{12} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}) - A_{24} \cdot F_{11}) \cdot X_1;$$

$$C_{22} = A_{21} \cdot F_{11} \pm A_{11} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}) \cdot X_2;$$

$$C_{12} = F_{11} \cdot A_{22} - (F_{21} + F_{22} + F_{23}) \cdot A_{13} \pm A_{12} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}) \cdot X_2 \mp A_{24} \cdot F_{11} \cdot X_2$$

$$F_{02} = C_0 = A_{23} F_{11} - A_{14} \cdot (F_{21} + F_{22} + F_{23}).$$

Тут знак « \leftrightarrow » відповідає прямій схемі налаштування агрегату, а « \leftarrow » – реверсивній.

Значення передаточних функцій в залежності від напрямку руху (прямий чи реверсивний рух) визначаємо відповідно до коефіцієнтів (2.26).

Під час теоретичних досліджень збудуючий вплив оцінювали, аналізуючи наступну передаточну функцію:

$$W_3(p) = D_3/D, \quad (2.40)$$

В даному випадку маємо:

$$D_3 = \begin{vmatrix} K_{11} & 0 \\ K_{21} & F_{22} + F_{23} \end{vmatrix}.$$

Після розкриття визначника і підстановки у (2.40) отримаємо:

$$W_3(p) = \frac{F_{13} \cdot p + F_{03}}{C_2 \cdot p^2 + C_1 \cdot p + C_0},$$

де $F_{13} = (F_{22} + F_{23}) \cdot A_{11}$;

$F_{03} = (F_{22} + F_{23}) \cdot A_{12}$.

Значення передаточної функції по збурюючому впливу в залежності від напрямку руху (прямий рух чи реверс) визначаємо з урахуванням значень коефіцієнтів (2.26).

Аналізуючи передаточні функції $W_1(p)$ і $W_2(p)$ за бажані АЧХ в робочому діапазоні частот приймаємо характеристики, які максимально наближені до одиниці, а ФЧХ – до нуля. Натомість аналізуючи $W_3(p)$ при відпрацюванні збурюючих впливів навпаки бажана характеристика для АЧХ – максимально наближена до нуля, а ФЧХ – нескінченно зростає. [89, 90, 99, 102 – 105].

2.5. Оцінка впливу схеми, конструктивних та технологічних параметрів посівного агрегату на керованість його руху

При аналізі керованості руху посівного агрегату на базі орно-просапного трактору виконуємо оцінювання впливу схеми агрегування (прямий чи реверсивний рух), конструктивних (зміщення точки «центру опору» сівалки, її робочої ширини захвату, виносу маркера та точки візування) і технологічних (швидкості руху) параметрів на керованість його руху. Розглянемо вплив кожного з цих показників.

Як вже розглядалось раніше, використання орно-просапного трактора на вирощуванні просапних культур з міжряддями 70 см без зміни параметрів ходової системи можливо лише при асиметричному агрегуванні сівалки і культиватора. Це досягається шляхом зміщення точки «центру опору» сівалки на половину міжряддя просапної культури (у нашому випадку на 0,35 м). Розглянемо, як впливає таке зміщення на показники керованості посівного МТА на базі орно-просапного трактору (рис. 2.10).

Аналіз отриманих амплітудних і фазових частотних характеристик (рис. 2.10) при розгляді симетричного і асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактору показав, що різниця між аналогічними значеннями АЧХ і ФЧХ мала. Тому при подальшому математичному моделюванні будемо розглядати асиметричні посівні МТА.

Розглянемо, як впливає ширина захвату сівалки в залежності від схеми агрегування (прямий чи реверсивний рух) при її асиметричному агрегуванні з орно-просапним трактором. Як бачимо (рис. 2.11), характер зміни АЧХ при прямому і реверсивному налаштуванні трактору схожий. Як при прямому, так і при реверсивному русі маємо зниження амплітуди відпрацювання керуючого впливу в зоні неробочих частот. Але при прямому русі посівного МТА цей процес відбувається інтенсивніше (27% порівняно з 16% при ре-

версивному русі), що в нашому випадку є бажаним. І в зоні робочих частот саме при прямому русі агрегату маємо кращі показники керованості (84%, 88% і 91% для 12-ти, 8-ми і 6-рядних сівалок) у порівнянні з реверсивною схемою налаштування МТА (62%, 62,7% і 63% відповідно) [106].

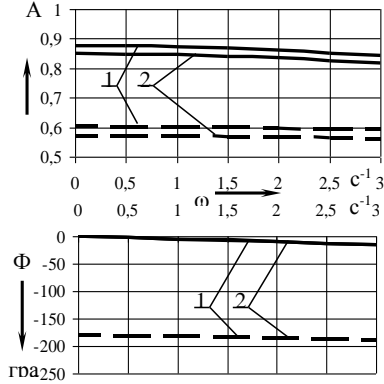


Рис. 2.10. Амплітудні (А) та фазові (Φ) частотні характеристики курсового кута трактора φ при відпрацюванні 12-рядними посівними МТА вхідного керуючого впливу (кута повороту керованих коліс α) при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 12 км/год.: 1 – симетричним ($\Delta = 0$ м) і 2 – асиметричним ($\Delta = 0,35$ м) посівними агрегатами

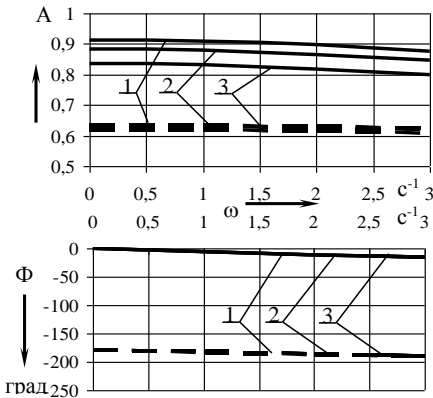


Рис. 2.11. Амплітудні (А) та фазові (Φ) частотні характеристики курсового кута трактора φ при відпрацюванні асиметричними посівними агрегатами вхідного керуючого впливу – (кута повороту керованих коліс α) при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 12 км/год.: 1 – 6-рядного; 2 – 8-рядного; 3 – 12-рядного МТА

З іншого боку, при прямому русі трактора і робочій швидкості 12 км/год. спостерігаємо, що зі збільшенням ширини захвату від 4,2 м до 8,4 м (6- і 12-рядні МТА відповідно) керованість асиметричного посівного МТА погіршується в зоні робочих частот на 8,7%. При порівнянні АЧХ 6- і 8-рядного та 8- і 12-рядного МТА маємо погіршення керованості на 3,5% і 5,3% відповідно, тоді як при реверсивному налаштуванні трактора лише 2,1%; 0,6% і 1,4%. Це свідчить про кращу керованість агрегату, налаштованого за такою схемою.

Тому використання реверсивного налаштування трактора при виконанні сівби і міжрядного обробітку просапних культур з міжряддям 70 см є недоцільним.

Цей висновок підтверджує і аналіз фазових частотних характеристик курсового кута трактору при відпрацюванні асиметричними посівними агрегатами вхідного керуючого впливу – кута повороту керованих коліс. Так при русі як прямим, так і реверсивним ходом зі зміною ширини захвату і робочої швидкості їх значення змінюється мало. Але при цьому фазовий зсув (рис. 2.11) при реверсивному налаштуванні значно більший ніж при прямому русі трактора. Так в зоні робочих частот він змінюється від 52с до 180с та від 1с до 5с відповідно. Це ще раз підкреслює недоцільність використання режиму реверсивного налаштування трактора при роботі з просапними сівалками. Аналогічно веде себе посівний МТА і на швидкості 8 км/год. (2,22 м/с) (рис. 2.12).

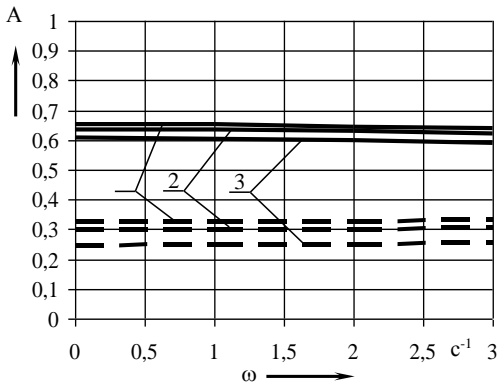


Рис. 2.12. Амплітудні (А) частотні характеристики курсового кута трактора φ при відпрацюванні асиметричними посівними агрегатами вхідного керуючого впливу – кута повороту керованих коліс α при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 8 км/год.: 1 – 6-рядного; 2 – 8-рядного; 3 – 12-рядного МТА

Так при роботі на швидкості 8 км/год. порівняно з 12 км/год. маємо погіршення відпрацювання керуючого впливу на 22,9% при прямому русі і на 19,8% – при реверсивному налаштуванні трактора. Як бачимо, зі збільшенням швидкості керованість асиметричного посівного МТА покращується.

Як було розглянуто вище, бажаним для орно-просапного трактора є сільськогосподарські знаряддя з рядністю не менше 12. Тому розглянемо як змінюються показники керуваності при зміні робочої швидкості саме 12-рядного асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактору (рис. 2.13).

Аналіз отриманих залежностей показав, що як при прямому так і при реверсивному налаштуванні трактору зі збільшенням швидкості руху керуваність МТА покращувалась. Характер зміни залежностей при різних схемах відрізнявся різною інтенсивністю відпрацювання керуваного впливу. Причому при прямому русі вона була більша, ніж при реверсивному. В нашому випадку це є бажаним. Це ще раз підтверджує недоцільність використання реверсивної схеми на вирощуванні просапних культур.

Фазовий зсув не залежно від швидкості руху для кожної схеми залишався постійним. І при виході з робочих частот збільшувався, що є бажаним.

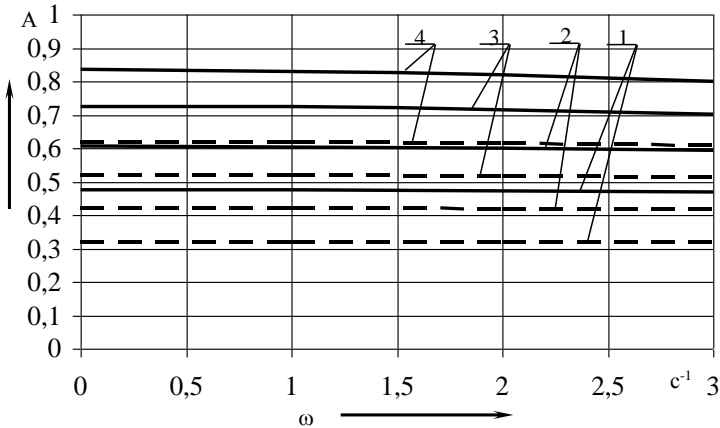


Рис. 2.13. Амплітудні (A) частотні характеристики курсового кута трактора φ при відпрацюванні дванадцятирядним асиметричним посівним агрегатом вхідного керуючого впливу – кута повороту керування коліс α при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю: 1 – 6 км/год.; 2 – 8 км/год.; 3 – 10 км/год.; 4 – 12 км/год.

Розглянемо, як впливає винос точки візування на керуваність асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактору. Аналіз отриманих даних показав (рис. 2.14), що при прямому русі посівного агрегату АЧХ наближається до бажаної, а при використанні реверсивної схеми налаштування масмо значне перерегулювання системи. З іншого боку, при зміні рядності сівалки при реверсивному налаштуванні відчувається значна різниця між показниками АЧХ, на відміну від прямого руху агрегату. Як при прямому русі, так і при реверсивному зі зменшенням рядності сівалки, значення амплітуди зменшується.

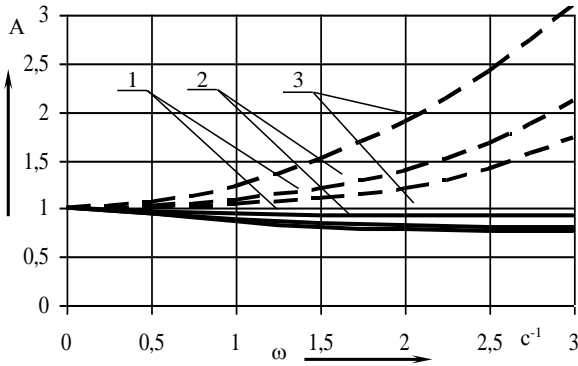


Рис. 2.14. Амплітудні (A) частотні характеристики зміщення маркера при виносі точки візування ($\Delta D = 1,0$ м) при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 12 км/год.: 1 – 6-рядного; 2 – 8-рядного; 3 – 12-рядного МТА

Розглянемо, як змінюються значення АЧХ при збільшенні виносів точки візування. Аналіз отриманих даних показав, що, як для 6-рядного (рис. 2.15), так і для 12-рядного (рис. 2.16) асиметричного посівного агрегату при його прямому налаштуванні зі зменшенням виносів точки візування АЧХ наближається до бажаної. Натомість при реверсивному налаштуванні спостерігається зворотній процес (зі зменшенням виносів точки візування АЧХ віддаляється від бажаної). При прямому русі маємо справу з недостатнім регулюванням ($AЧХ < 1$) тоді як при реверсивному налаштуванні навпаки – перерегулюванням ($AЧХ > 1$). В наслідок цього вимоги до зміни амплітуди для різних схем налаштування є різними. Так для прямої схеми налаштування необхідно збільшувати значення АЧХ, намагаючись максимально наблизитися до бажаної, а для реверсивної схеми навпаки – зменшувати.

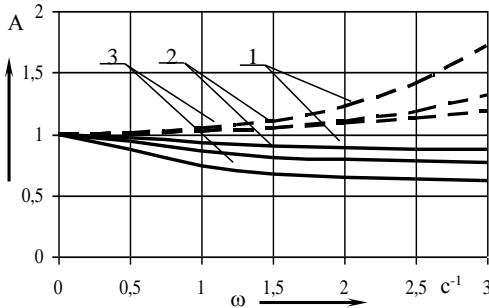


Рис. 2.15. Амплітудні (A) частотні характеристики зміщення маркера 6-рядного асиметричного посівного агрегату при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 12 км/год. при виносі точки візування ΔD : 1 – 0,5 м; 2 – 1,0 м; 3 – 2,0 м.

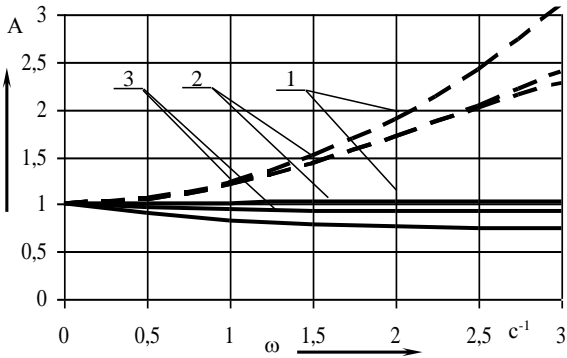


Рис. 2.16. Амплітудні (A) частотні характеристики зміщення маркеру 12-рядного асиметричного посівного агрегату при прямому (—) і реверсивному (---) русі зі швидкістю 12 км/год. при виносі точки візування ΔD : 1 – 0,5 м; 2 – 1,0 м; 3 – 2,0 м.

Тому, при прямій схемі налаштування найбільш прийнятним є її винос точки візування на 0,5 м, а при реверсивній – 2,0 м (як для 6-рядного, так і для 12-рядного асиметричного посівного агрегату).

Це ще раз підтверджує недоцільність реверсивного налаштування асиметричного посівного агрегату на посіві просапних культур.

2.6. Аналіз стійкості руху асиметричного посівного агрегату на базі орно-просапного трактора

Аналіз стійкості руху посівного асиметричного агрегату на базі орно-просапного трактору проводимо через відпрацювання збурюючих впливів у вигляді зміщення просапної сівалки Δ та виносу маркеру ΔM .

Характер зміни передавальної функції $W_3(p)$ показує, що на курсову стійкість асиметричного посівного агрегату найбільше впливають його масові характеристики, а також тяговий опір на гаку (P_{kp}), коефіцієнти опору відведення передніх (k_a) і задніх (k_b) коліс трактору та просапної сівалки (k_m), опір перекочування маркеру (R_m), швидкість руху агрегату (V_0).

Як було сказано раніше, для передавальних функцій, які відображають збурюючий вплив, в робочому діапазоні частот бажаними є АЧХ, яка максимально наближена до нуля, а ФЧХ – безкінечно зростає. Вхідний вплив у вигляді одиничної ступінчастої функції будь-яка динамічна система відпрацює як проста підсилювальна ланка [89, 99, 102 – 105, 107]. При цьому $p = i \cdot \omega = 0$.

Проаналізуємо вплив схеми агрегування (реверсивна чи пряма) і рядності МТА на зміну курсового кута при наявності асиметрії (в даному випадку 0,35 м).

Збільшення рядності призводить до збільшення амплітуди відпрацювання збурюючого впливу у вигляді зміщення просапної сівалки на 0,35 м (рис. 2.17).

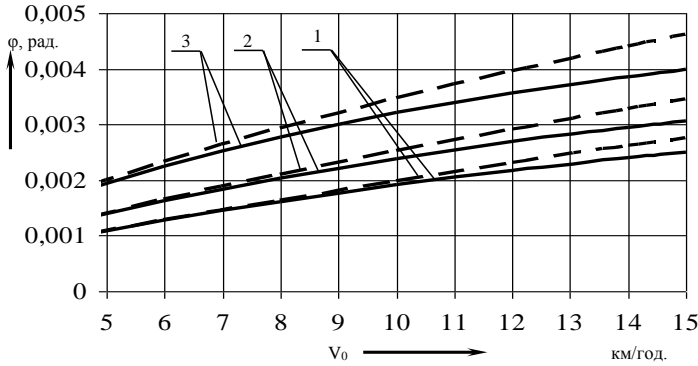


Рис. 2.17. Вплив швидкості руху асиметричного посівного агрегату на зміну курсового кута трактору при різних схемах його налаштування: пряма (—) і реверсивна (---) з рядністю: 1 – 6 секцій; 2 – 8 секцій; 3 – 12 секцій.

Причому, в діапазоні швидкостей 6...12 км/год амплітуда курсового кута збільшується на 58% для 12-рядного, 65% – для 8-рядного і на 71% – для 6-рядного МТА при прямій та на 70%, 76% і 81% для реверсивної схеми агрегування (рис. 2.17). Навіть у гіршому варіанті вплив швидкості руху і рядності є незначним: максимальне значення амплітуди відпрацювання збурюючого впливу не перевищує 0,01 при бажаному значенні 0.

Враховуючи те, що тяговий опір на гаку $P_{\text{гп}}$ прямо пропорційно залежить від рядності просапної сівалки, його вплив при відпрацюванні збурюючого впливу у вигляді асиметричного зміщення знаряддя є незначним.

Розглянемо вплив асиметричного приєднання просапної сівалки в залежності від схеми налаштування енергетичного засобу і швидкості його руху (рис. 2.18).

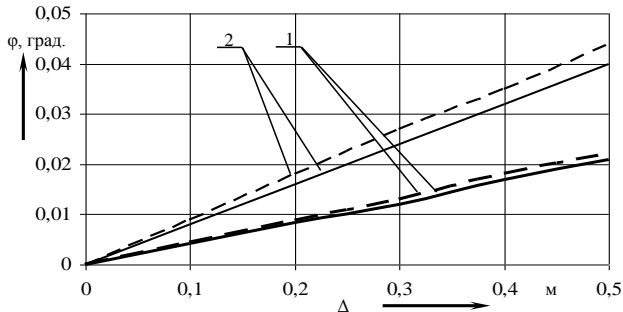


Рис. 2.18. Вплив асиметричного приєднання 12-рядної просапної сівалки на зміну курсового кута при різних схемах налаштування енергетичного засобу: прямій (—) та реверсивній (---) зі швидкістю: 1 – 8 км/год.; 2 – 12 км/год.

Як бачимо з отриманих залежностей, вплив схеми налаштування незначний, тому що інтенсивність амплітуди майже не змінюється як при швидкості 8 км/год., так і при 12 км/год. Натомість сама швидкість значно впливає на коливання амплітуди при збільшенні асиметрії. Але, враховуючи малі значення амплітуди (максимальне значення 0,044 не перевищує 0,05 при бажаному значенні 0), можна зробити висновок про незначний вплив асиметричного агрегування просапної сівалки на зміну курсового кута агрегату.

Висновки по розділу

1. Із аналізу теоретичних амплітудних і фазових частотних характеристик посівного МТА впливає, що зміщення сівалки відносно орно-просапного трактора у поперечному напрямку на 0,35 см не впливає на точність та швидкість відпрацювання розгляду вальною динамічною системою впливу у вигляді коливань кута керованих коліс вказаного енергетичного засобу. АЧХ і ФЧХ для обох систем агрегату в робочому діапазоні частот ($\omega = 0 \dots 3 \text{ с}^{-1}$) практично не відрізняються ні в якісному, ні в кількісному вираженні.
2. Керованість асиметричного посівного МТА при русі орно-просапного трактора прямим ходом зі швидкістю 6...12 км/год. краща, ніж при реверсивному його налаштуванні. Так в робочому діапазоні частот коливань корисного сигналу коефіцієнт його підсилення в першому варіанті на 33...44% більший, ніж у другому. Запізнення реакції агрегату на керуючий вплив при цьому зменшується.
3. Для забезпечення більшої точності та швидкості відпрацювання динамічною системою у вигляді асиметричного посівного МТА на основі орно-просапного трактора, налаштованого як прямим, так і реверсивним ходом, інтенсивність впливу на органи керування повинна бути якомога меншою.
4. Ширина захвату асиметричного посівного агрегату впливає лише на коефіцієнти підсилення асиметричною динамічною системою коливань керуючого впливу. Так, зі збільшенням цього конструктивного параметру вдвічі (від 4,2 до 8,4 м) значення АЧХ небажано зменшуються на 8...10% для агрегату при прямому ході трактора, і на 4...6% – при реверсивному. Точність відпрацювання корисного сигналу посівними агрегатами обох систем при цьому практично не змінюється.
5. При обох схемах налаштування орно-просапного трактору підвищення швидкості руху асиметричного посівного МТА с 6 до 12 км/год. сприяє покращенню відпрацювання ним амплітуди коливань керуючого впливу. Фазовий зсув, або запізнення реакції агрегату на корисний сигнал, залишається при цьому практично незмінним.
6. Стійкість руху посівного МТА при реверсивному налаштуванні трактора гірша, ніж при прямому. На швидкості робочого руху 12 км/год. Різниця між амплітудами коливань курсового кута трактора на користь прямого його налагодження змінюється від 4% для 6-рядного агрегату до 11% – для 12-рядного.
7. Величина поперечного зміщення сівалки теоретично призводить до зростання амплітуди коливань курсового кута трактора. В якісному вираженні цей процес ідентичний впливу швидкісного режиму, а в кількісному – на порядок більший.
8. В цілому вплив асиметричного агрегування сівалки з орно-просапним трактором на стійкість руху МТА незначний. Навіть при швидкості руху 12 км/год. поперечне зміщення посівної машини на 0,35 м викликає коливання курсового кута енергетичного засобу з амплітудою, яка не перевищує 1,6 градуси.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Об'єкти експериментальних досліджень

В якості об'єктів досліджень було прийнято процес роботи посівного й просапного агрегатів на базі орно-просапного трактора ХТЗ-120. Технологічна частина посівного МТА включала 12-рядну сівалку конструкції ПФ ІМЕСГ під умовною маркою СПЧ-12 (рис.3.1), а при проведенні міжрядного обробітку – просапний культиватор КРН-8,4 (рис.3.2).



Рис.3.1. Трактор ХТЗ-120 в агрегаті з СПЧ-12



Рис.3.2. Трактор ХТЗ-120 в агрегаті з культиватором КРН-8,4

Для агрегатування ХТЗ-120 з серійними просапними сівалками та культиваторами без зміни штатної колії 2100 мм на 2800 мм було розроблено зчпний корегуючий пристрій, який дозволяє зміщувати просапні знаряддя відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу на 0,35 м [45, 50]. В результаті виключається розміщення висівних

секцій просапної сівалки по колії трактора і рух останнього по рядках культурних рослин під час міжрядного обробітку.

Зчіпний корегуючий пристрій (рис. 3.4) складається з бруса-коректору 7 перерізом 100x100 мм, на якому закріплено нерухомі провущини 8. До них за допомогою фіксаторів 4 приєднуються нижні тяги 1 заднього навісного механізму (ЗНМ) трактора. Центральна тяга 3 ЗНМ приєднується до автотчіпки 5, яка нижніми своїми опорами 6 установлюється в рухомі провущини 2 бруса. В загальному випадку величина зміщення знаряддя дорівнює половині ширини міжряддя просапної культури. В даному випадку автоматична зчіпка типу СА-2 зміщується відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу на 0,35 м [45, 50].

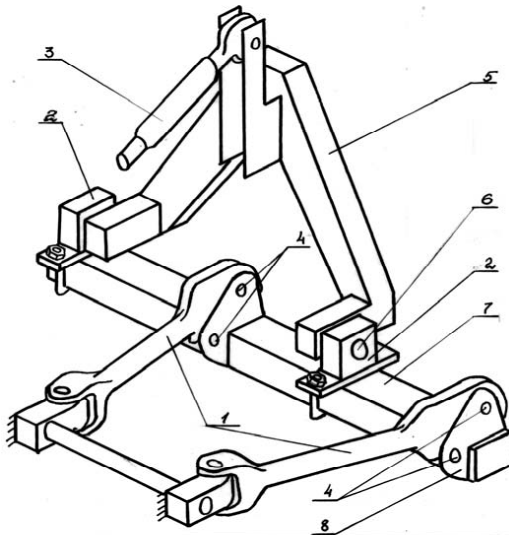


Рис.3.4. Схема корегуючого пристрою для асиметричного агрегування просапних сівалки і культиватора [45, 50].

Під час проведення експериментів планувалось:

- визначення масово-геометричних характеристик трактора та посівного агрегату необхідних для розрахунків математичної моделі;
- визначення трудомісткості переобладнання трактору для роботи з міжряддями 70 см на посіві та міжрядному обробітку просапних культур;
- отримання експериментальних даних, необхідних для перевірки математичної моделі посівного агрегату на адекватність;
- визначення впливу схеми агрегування і режиму роботи посівного агрегату на динаміку його руху у горизонтальній площині;

- визначення експлуатаційно-технологічних показників агрегатів для посіву і міжрядного обробітку просапних культур на базі трактора ХТЗ-120.

Масово-геометричні параметри посівного агрегату на базі трактора ХТЗ-120 визначали у відповідності з ГОСТ 23734-98. При визначенні конструктивних параметрів він був обладнаний штатними шинами 16,9R38.

Процес агрегування включав встановлення додаткового коректуючого зчіпного пристрою або переобладнання колії трактора за допомогою додаткових проставок з 2100 на 2800 мм та наступне приєднання сівалки СПЧ-12. Під час досліджень секундоміром фіксували час виконання двома механізаторами кожної з операцій переобладнання трактора та агрегування сівалки. Трудомісткість її приєднання до трактора ХТЗ-120 розраховували згідно з методикою, викладеною в ДСТУ ГОСТ 7057-2003.

Перед проведенням лабораторно-польових досліджень посівного і просапного МТА на основі ХТЗ-120 визначали наступні основні характеристики агрофону:

- вологість ґрунту в шарі 0...15 см;
- щільність ґрунту;
- забур'яненість.

Необхідну кількість проб (n) визначали із виразу [92]:

$$n = (t \cdot V / \rho)^2, \quad (3.1)$$

де t – нормована значина t -критерію Стьюдента (при довірчій ймовірності 95% $t=1,96$);

V і ρ – коефіцієнт варіації та допустима межа відхилення (показник точності) вимірюваного параметру.

В більшості технічних задач визначати похибку вимірювань з точністю, більшою, ніж 10%, – немає потреби [91, 108]. Виходячи з цього в розрахунках нами було прийнято $\rho = 0,1$.

Що ж стосується коефіцієнтів варіації параметрів, що реєструвались, то для їх визначення проводили відповідні попередні вимірювання.

Під час проведення лабораторно-польових досліджень аналізували три схеми посівного агрегату:

- 1) асиметричне агрегування зі зміщенням праворуч за ходом руху агрегату з маркером (праворуч);
- 2) асиметричне агрегування зі зміщенням праворуч за ходом руху агрегату без маркера;
- 3) симетричне агрегування без маркера.

Хід сошників було відрегульовано на глибину 7 см. Перший прохід було виконано по вішках. В подальшому кожен із досліджуваних агрегатів рухався на залізковій ділянці довжиною 250 м.

Під час проведення експлуатаційно-технологічних випробувань порівнювали два посівних і просапних агрегати. Перший (базовий) включав універсально-просапний трактор МТЗ-82, другий – орно-просапний трактор ХТЗ-120 з колією 2100 та корегуючим брусом. Технологічна частина посівних агрегатів складалася з сівалок СУПН-8 та СПЧ-12, а просапних – з культиваторів КРН-5,6 та КРН-8,4. За всіма агрегатами впродовж двох контрольних змін вели хронометражні спостереження.

3.2. Вимірювані параметри, застосовані прилади та обладнання

Для проведення необхідних розрахунків при роботі з математичною моделлю вимірювали наступні конструктивні параметри:

- маси трактора, сівалки, культиватора, корегуючого бруса;
- поздовжні координати центрів мас трактора, сівалки й культиватора;
- радіуси кочення коліс трактора;
- базу трактора.

Крім конструктивних параметрів визначали сили, які діють на посівний й просяпний агрегати під час їх руху на гоні: бокові сили.

Дійсна природа виникнення бокової сили, на наш погляд, найбільш вдало описана в роботі д.т.н. Г.М.Кутькова [93]. Наразі в ній підкреслюється, що бокова сила викликає деформацію шини, внаслідок якої диск колеса зміщується відносно зони контакту на величину h_z (рис.3.5).

При цьому, елементи шини в тій частині, яка знаходиться ближче до опорної поверхні, ще до контакту з ґрунтом в точці **b** отримують деформацію, яка досягає максимальної значини в пятні контакту протектора з агрофоном. Далі подається важливий висновок про те, що в під час кочення колеса поперечна деформація протектора в зоні контакту зростає за рахунок більш тривалого часу дії бокової сили P_z . Із-за цього точка **d** (вид *K*, рис.3.5), яка знаходиться в контакт з опорою поверхнею більш тривалий час, ніж точка **c**, у порівнянні з останньою переміщується на більшу відстань від площини кочення колеса *AA*.

Лінія, що проходить через точки **bcd**, вказується в роботі [93], представляє собою осьову лінію пятна контакту протектора з ґрунтом і визначає напрямк кочення колеса – вектора V'_k (див. рис.3.5).

Таким чином, пятно контакту внаслідок деформації нижньої частини шини повертається відносно площини кочення колеса. А останнє, залишаючись паралельним самому собі, намагається переміститися в напрямку вектора V'_k під кутом ведення δ до площини свого обертання та початкового (до дії бокової сили P_z) напрямку руху (вектор V_k).

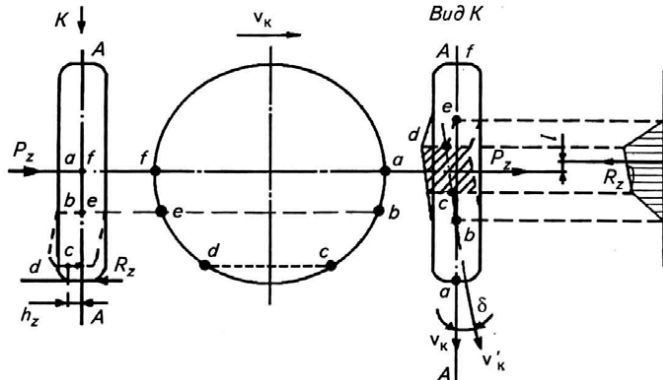


Рис.3.5. Схема поперечної деформації шини [93]

З урахуванням вищевикладеного аналізу роботи [93] можна зробити висновок про те, що рушійна сила активного колеса або сила опору кочення пасивного колеса за наявності бокової сили має бути відхилена від площини його обертання на кут ведення.

Бокова сила при цьому визначається із загальновідомого виразу:

$$P_z = k \cdot \delta, \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт опору ведення шини колеса, до якого прикладена бокова сила P_z .

В явищі, описаному Г.М.Кутьковим, прийнято припущення про відсутність бокового ковзання шини відносно ґрунту. На думку деяких фахівців, для більш вірогідного опису бокової взаємодії пневматичного колеса з ґрунтом слід користуватися розширеною моделлю Келдиша [109]. Проте, в цьому випадку вираз для розрахунку коефіцієнта опору ведення k достатньо складний. Його використання потребує експериментального визначення значної кількості коефіцієнтів.

На практиці за рахунок дії бокової та дотичної сил колесо може здійснювати бокове ковзання відносно ґрунту. Проте, при достатній силі зчеплення рушія з агрофоном, це явище можна не враховувати, а коефіцієнт опору відведення визначати із виразів, запропонованих Р.Смілесом і В.Горном, і описаних в роботі [110]:

- $h/D < 0,0885$

$$k = C \cdot [1,75 \cdot (h/D) - 12,7 \cdot (h/D)^2] \cdot \rho_w \cdot b^2, \quad (3.3)$$

- $h/D > 0,0885$

$$k = C \cdot [0,095 - 0,49 \cdot (h/D)] \cdot \rho_w \cdot b^2, \quad (3.4)$$

$$\frac{h}{D} = A \cdot \frac{Q}{\rho_w \cdot D^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{b}} \quad (3.5)$$

де h – глибина колії, м;

D – зовнішній діаметр шини, м;

C – коефіцієнт пропорційності. Для звичайних шин $C = 60$;

ρ_w – тиск повітря в шині, Па;

b – ширина шини, м;

A – коефіцієнт пропорційності. $A = 0,42$;

Q – вертикальне навантаження на шину, Н.

В роботі [111] пропонується, на думку авторів, більш удосконалені формули для визначення коефіцієнту опору ведення шин. Але їх детальний аналіз показав, що від наведених вище (3.3 – 3.5) вони відрізняються тільки значиною коефіцієнтів C і A :

- $h/D < 0,0885$

$$k = 145 \cdot [1,75 \cdot (h/D) - 12,7 \cdot (h/D)^2] \cdot \rho_w \cdot b^2, \quad (3.6)$$

- $h/D > 0,0885$

$$k = 145 \cdot [0,095 - 0,49 \cdot (h/D)] \cdot \rho_w \cdot b^2, \quad (3.7)$$

$$\frac{h}{D} = 0,40 \cdot \frac{Q}{\rho_{ш} \cdot D^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{b}} \quad (3.8)$$

Момент інерції трактора розраховували по формулах, викладених в [97 – 98].

Радіус кочення коліс універсально-просапного трактора ХТЗ-120 (R_t) визначали наступним чином. На шину кожного із рушіїв наносили кольорову позначку, яка може залишати слід на поверхні шляху. Після проходження енергетичного засобу рулеткою заміряли відстань L_k між першим та N -м слідами позначки. Шуканий параметр розраховували по формулі:

$$R_m = L_k / [2 \cdot \pi \cdot (N - 1)] \quad (3.9)$$

Під час проведення лабораторно-польових досліджень посівного й просапного агрегатів на базі універсально-просапного трактора ХТЗ-120 на плівку осцилографу синхронно реєструвались:

- оберти коліс трактора;
- кут повороту керованих коліс трактору;
- кут повороту трактора відносно свого центру мас – курсовий кут.

Без запису на осцилограф додатково фіксували:

- витрати палива;
- час проходження залікової ділянки;
- величину стикових міжрядь;
- пряmolінійність рядка;
- відхилення маркерної лінії або сліду крайньої посівної секції від прямої лінії;
- кількість пошкоджених культурних рослин.

При проведенні експлуатаційно-технологічної оцінки агрегатів для сівби й міжрядного обробітку реєстрували наступні показники:

- вологість, щільність та забур'яненість агрофону;
- по елементні витрати часу агрегатом під час роботи;
- розмір обробленої площі;
- кількість витраченого палива;
- глибину посіву;
- швидкість робочого руху агрегату;
- гребнистість поверхні засіяного поля;
- кількість пошкоджених культурних рослин;
- глибину обробітку.

З урахуванням конструктивних особливостей досліджуваного просапного агрегату було розроблено комплект вимірювально-реєструючої апаратури, який дозволив отримати об'єктивну оцінку досліджуваних параметрів (рис.3.6) [114].

Для живлення останньої постійним струмом напругою 12 В використовували один із штатних акумуляторів трактора ХТЗ-120 (6СТ-132). Під час руху трактора по дослідній ділянці на заданих передачах секундоміром фіксували час t проходження ним вказаного

шляху, а на плівку осцилографу з допомогою гіропівкомпасу ГПК-52 (рис.3.7) записували величину курсового кута. Графік його тарування представлено на рис. 3.8.

Дійсну швидкість холостого ходу (V_0), розраховували по формулі:

$$V_0 = 100 / t, \text{ м/с.}$$

Отриманий результат порівнювали з агротехнічними вимогами.

К-20-22

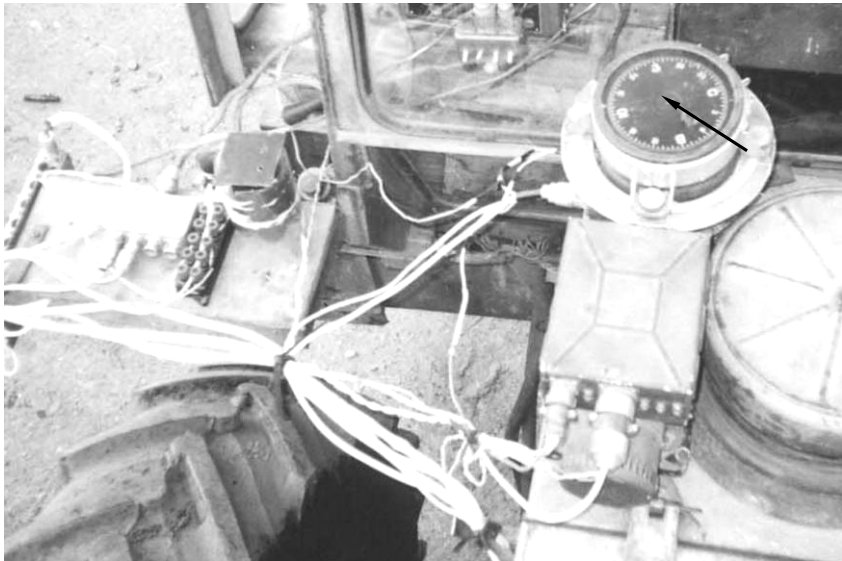
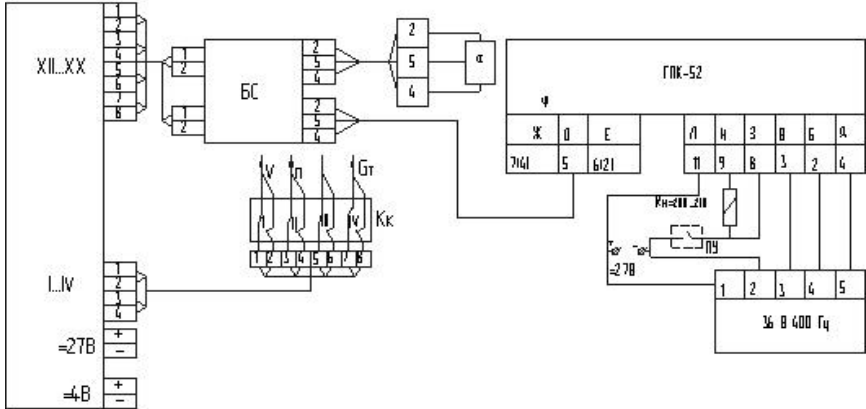


Рис.3.7. Установка гіропівкомпасу ГПК-52 на тракторі

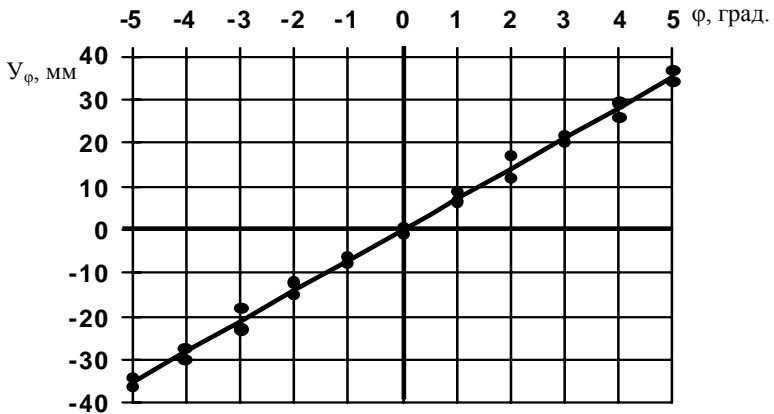


Рис.3.8. Графік тарування гіронапівкомпасу ГПК – 52

Частоту обертання рушіїв трактора реєстрували за допомогою струмознімача ТРАК-6, встановленого на маточині заднього правого колеса (рис.3.9).

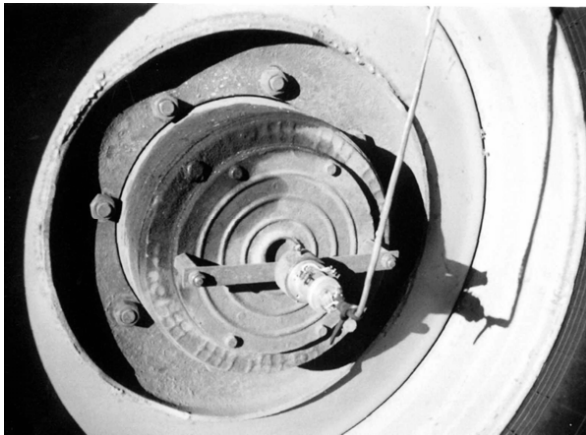


Рис.3.9. Струмознімач для реєстрації частоти обертання коліс трактора

Для фіксування кута повороту керованих (передніх) коліс використовували реохордний датчик СП-3А, який за допомогою спеціального пристрою монтували на тракторі (рис.3.10).



Рис.3.10. Установка реохордного давача для вимірювання кута повороту керованих коліс трактора ХТЗ-120

Перед початком дослідів проводили тарування реохордного давача. За отриманими даними було побудовано графік тарування (рис. 3.11).

Під час повороту колеса контактуючий з маточиною металевий повідець повертав статор реохорда і відповідним чином змінював його опір. Сигнал з реохорда поступав на блок опорів (БО), а з нього – на гальванометр осцилографа (див. рис. 3.6). Постійний струм напругою 6В, необхідний для живлення блоку опорів, забезпечував додатково встановлений на тракторі акумулятор.

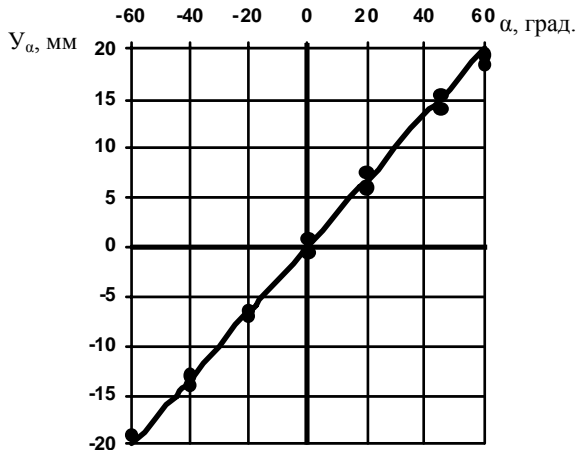


Рис.3.11. Графік тарування реохордного давача для вимірювання кута повороту керованих коліс трактора ХТЗ-120

Тарування реохордного давача виконували з допомогою спеціально розробленої кутової шкали-показчика (рис. 3.12), ціна кожної поділки якої становила $1,7 \cdot 10^{-2}$ рад. (1°). Діапазон тарування – $0 \dots 0,1$ рад. Число повторностей – 3.

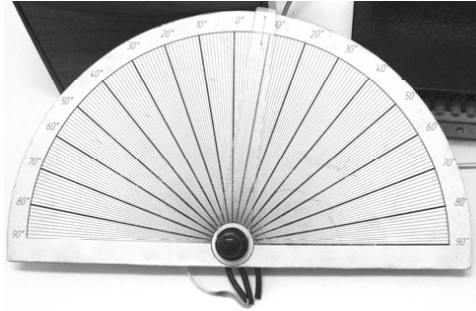


Рис.3.12. Кутова шкала-показчик для тарування реохордного давача для вимірювання кута повороту керованих коліс трактора ХТЗ-120

Погодинні витрати палива фіксували за допомогою мірного бачка, обладнаного секундоміром (рис.3.13). Під час робочого руху агрегату двох позиційний кран пристрою повертали в положення, при якому автоматично включався секундомір, а паливо поступало до двигуна з мірної посудини. По закінченні досліду кран повертали у попереднє положення і фіксували час, а по лінійці пристрою – різницю висот стовпчика палива у бачку до та після вимірювань.

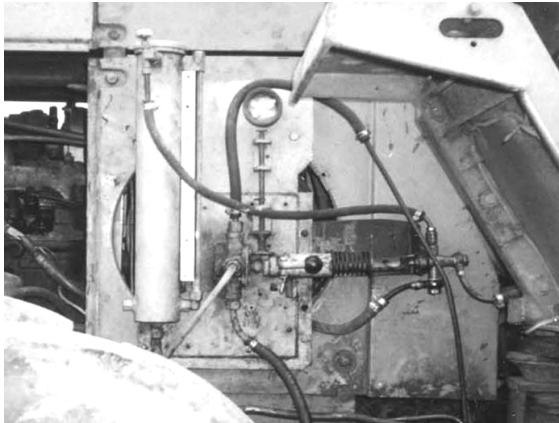


Рис.3.13. Пристрій для вимірювання витрат палива просапним МТА

Живлення осцилографа постійним струмом напругою 24 В здійснювали двома штатними акумуляторами трактора ХТЗ-120. Тривалість запису реєструємих параметрів на плівку осцилографа була не менше 60 с.

Вологість ґрунту визначали згідно з загальноприйнятою методикою із застосуванням сушильної шафи. Щільність ґрунту визначали виготовленим щільноміром у вигляді циліндричного стакану певного діаметру та висоти. При цьому керувалися методикою, викладеною у [92].

Відхилення тракторії рядка від прямої лінії вимірювали метровою лінійкою. Базову пряму лінію провішували довжиною 250 м. Вимірювання проводили з кроком 1 м. Реєстрацію параметрів, необхідних для визначення експлуатаційно-технологічних і агротехнічних показників агрегатів здійснювали з використанням обладнання, рекомендованого ГОСТ 18509 - 80 і ОСТ 70.4.1- 80.

3.3. Методика перевірки математичної моделі МТА на адекватність

Поставлену задачу вирішували шляхом порівняння теоретичної та експериментальної амплітудних частотних характеристик посівного агрегату у складі налаштованого на прямий хід трактору ХТЗ-120 і сівалки СПЧ-12.

Перевірку отриманої математичної моделі проводили шляхом порівняння теоретичних та експериментальних амплітудно-частотних характеристик коливань курсового кута трактора φ (вихідної величини) при відпрацюванні просапним агрегатом вхідного керуючого впливу – кута повороту керованих коліс трактору α .

Для визначення експериментальних АЧХ в польових умовах досліджували агрегат у складі трактора тягового класу 3 (ХТЗ-120) та начіпної сівалки СПЧ-12, який працював на сівбі соняшнику.

Під час робочого руху просапного агрегату на плівку осцилографу синхронно записували: курсовий кут трактора φ та кут повороту керованих коліс трактору α . З отриманих реалізацій для величин φ і α визначали такі статистичні характеристики, як середні квадратичні відхилення σ_i та нормовані спектральні щільності S_i .

Експериментальну АЧХ просапного агрегату розраховували із виразу:

$$A(\omega) = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot \sqrt{\frac{S_y}{S_x}},$$

де σ_x, S_x – середнє квадратичне відхилення і нормована спектральна щільність вхідної величини (α);

σ_y, S_y – середнє квадратичне відхилення і нормована спектральна щільність вихідної величини φ ;

ω – частота коливань керуючого впливу.

Теоретичну АЧХ для цього ж просапного агрегату розраховували на ЕОМ, використовуючи передаточну функцію (2.38).

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АГРЕГАТІВ ДЛЯ СІВБИ І МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ТРАКТОРА ХТЗ-120

4.1. Оцінка впливу асиметричного приєднання знаряддя на тракторні показники посівного МТА

Під час проведення лабораторно-польових досліджень, аналізували наступні схеми посівних МТА:

- симетричний без маркера;
- асиметричний зі зміщенням у бік маркера;
- асиметричний без маркера.

Під час проведення лабораторно-польових досліджень основні характеристики агрофону мали наступні значення:

- середня вологість ґрунту в шарі 0...15 см дорівнювала 21,3%;
- щільність – 1,23 г/см³;
- забур'яненість – 0,072 кг/м².

Усі МТА рухались практично з однаковою швидкістю, яка становила у середньому 2,4 м/с.

Розглянемо спектральні щільності кута повороту керованих коліс α та курсового кута φ для різних варіантів агрегування сівалки СПЧ-12 з універсально-просапним трактором ХТЗ-120 (рис. 4.1 і 4.2). Як бачимо, коливання обох параметрів носять низькочастотний характер. Основний спектр дисперсій кута повороту керованих коліс α припадає на частоти 0...4 с⁻¹ (0...0,64 Гц), а спектр дисперсій курсового кута φ знаходиться ще у вужчому діапазоні частот: 0...2,25 с⁻¹ (0...0,36 Гц) (рис. 4.2).

Більш вузький діапазон коливань курсового кута агрегату обумовлюється проявом його інерційних властивостей. Порівняльний аналіз дисперсій кутів α і φ за F-критерієм Фішера показує, що на статистичному рівні значущості 0,01 нуль-гіпотеза про рівність вказаних статистичних оцінок не відхиляється. Іншими словами, дисперсії коливань кута повороту керованих коліс трактора при різних схемах настроювання МТА характеризують одну і ту ж генеральну сукупність. Це ж саме можна сказати і стосовно дисперсій коливань курсового кута φ (рис. 4.2).

Такий характер зміни дисперсій коливань оцінювальних параметрів вказує на індиферентність агрегату щодо схеми його настроювання. Іншими словами, асиметричне приєднання сівалки до трактора, навіть при виносі маркера в бік її зміщення, не приводить до погіршення керованості (кут α) і стійкості (кут φ) руху просапного МТА [114].

Додатково про це свідчить і характер протікання взаємних кореляційних функцій, які відображають ступінь реагування трактора (кут φ) на керуючий вплив (кут α). З їх аналізу бачимо, що асиметричне приєднання технологічної частини не тільки без маркера, а навіть із ним, характеризується практично такою ж поведінкою взаємної кореляційної функції, як і у випадку виключно симетричної схеми МТА (рис. 4.3).

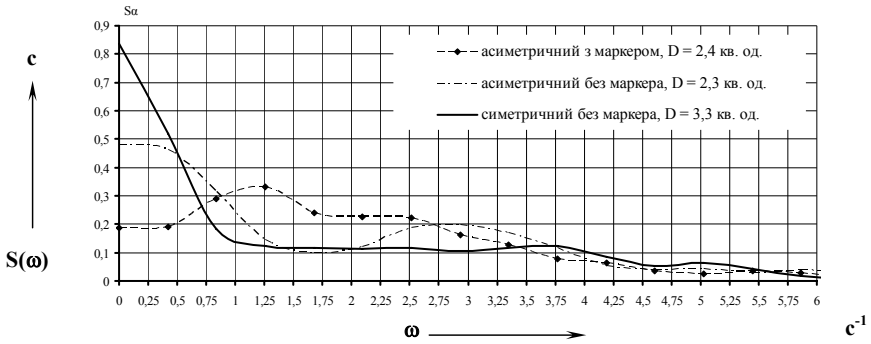


Рис. 4.1. Нормовані спектральної щільності коливань кута повороту керованих коліс α

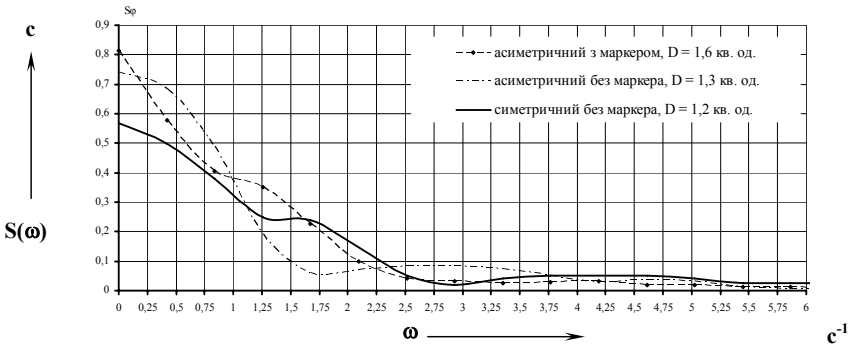


Рис. 4.2. Нормовані спектральної щільності коливань курсового кута φ

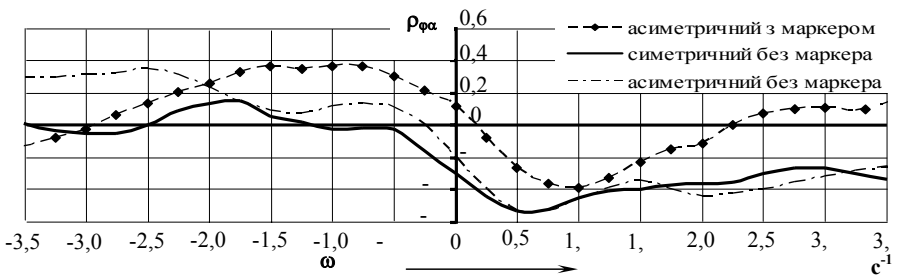


Рис. 4.3. Нормована взаємна кореляційна функція кута повороту керованих коліс α та курсового кута φ

Дисперсії коливань прямолінійності траєкторії руху крайньої посівної секції МТА зосереджені у діапазоні частот: $0 \dots 0,96 \text{ м}^{-1}$ (рис. 4.4). При швидкості руху агрегату $2,4 \text{ м/с}$ це становить $0 \dots 2,3 \text{ с}^{-1}$ ($0 \dots 0,37 \text{ Гц}$). Це практично відповідає тому діапазону частот, в якому в основному зосереджена дисперсія коливань курсового кута трактора φ . При цьому слід зазначити, що нуль-гіпотеза про рівність дисперсій для асиметричного МТА з маркером та без нього навіть на рівні значущості $0,01$ не відхиляється. Водночас, дисперсія коливань траєкторії сліду посівної секції виключно симетричного агрегату статистично більша за інші.

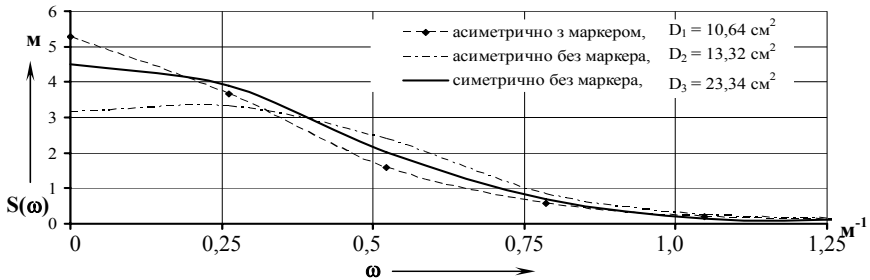


Рис. 4.4. Нормовані спектральні щільності коливань прямолінійності ряду

Такий результат можна пояснити наступним. При повному симетричному агрегуванні технологічної частини МТА тяговий опір діє в площині, яка проходить через повздовжню вісь симетрії трактора. На відміну від асиметричного агрегату, в цьому випадку практично відсутній (або дуже малий) той збурюючий фактор, який в деякій мірі здатний стабілізувати характер руху енергетичного засобу.

З приведеного вище аналізу випливає, що поперечне зміщення просапної сівалки на половину міжряддя (у даному випадку на $0,35 \text{ см}$ відносно повздовжньої осі трактора ХТЗ-120) практично не погіршує траєкторних показників роботи посівного МТА.

4.2. Розробка критерію оцінювання прямолінійності сходів просапних культур

Якісні показники роботи 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.

Нині відомо кілька методів її оцінки. За одним із них пропонується викривленість рядків оцінювати одночасно стандартами коливань їх траєкторії та радіусів кривизни [64, 65]. Однак, практичне застосування другого показника із вказаних двох є надто складним і малоінформативним. Адже, якщо і визначити стандарт коливань радіусу кривизни рядків, то залишається невідомою та значина цього показника, яку можна вважати прийнятною. Простого наміру добитися якомога меншої його величини недостатньо: при прак-

тично нульовому стандарті коливань радіусу кривизни траєкторії рядків може бути неприйнятною його (радіусу) середня значина.

Що стосується такого показника, як стандарт відхилення траєкторії рядка від прямої лінії, то у порівнянні з розглянутим вище при одних і тих же недоліках він має лише одну суттєву перевагу – простоту визначення.

Згідно другого методу викривленість рядків просапних культур прогнозується оцінювати значиною відхилення їх траєкторії на заданій довжині. За агротехнічними вимогами непрямолінійність сходів можна вважати прийнятною, якщо на довжині 50 м максимальне відхилення траєкторії рядка від його осьової лінії не перевищує 5 см [60].

Не дивлячись на простоту визначення, інформативність цього методу є теж недостатньою тому, що для двох різних за внутрішньою природою коливальних процесів значина запропонованого показника викривленості рядків просапних культур буде однаковою (рис. 4.5).

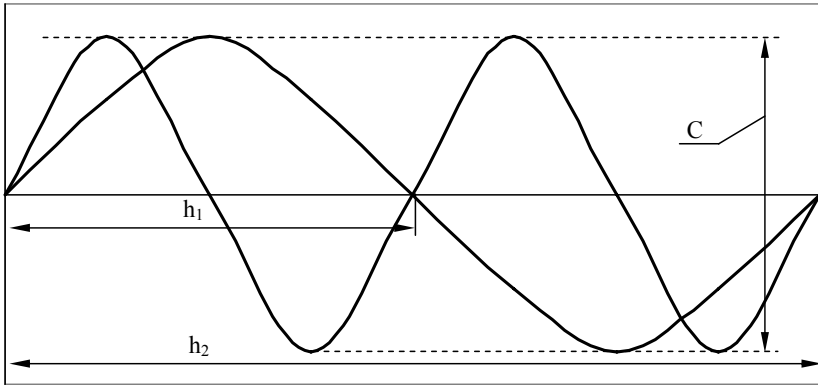


Рис.4.5. Траєкторії рядків з різними викривленнями

С.П. Пожидаєвим запропоновано показник μ , який більш вдало розкриває внутрішню природу коливального процесу, зв'язуючи між собою розмах C та період h коливань траєкторії рядка просапної культури [63]:

$$\mu = C/h \quad (4.1)$$

Для розрахунку величини μ реального рядка рослин слід, як вказує автор, «...візуально виділити ряд окремих синусоїдальних хвиль і провести вимірювання розмаху C та довжини h кожної з них...Після цього, згідно з виразом (4.1) для кожної ділянки рядка визначаються окремі оцінки непрямолінійності, а потім, за допомогою відомих співвідношень, їх середню значину, дисперсію та інші статистичні характеристики». Але цей метод дуже трудомісткий. Крім того, як і у попередників, невідомо, яка значина показника є прийнятною, а яка – ні.

Виходячи із вищевикладеного, нами пропонується показник непрямолінійності рядків просапних культур, який позбавлений згаданих недоліків.

Методика. Як показує практика, переважна більшість усіх відхилень рядка у просапної культури від прямої лінії має форму, яка задовільно описується синусоїдальною кривою з амплітудою $C/2$ і періодом h (рис.4.6):

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

де x – координата точки траєкторії рядка на його вісі.

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

$$y = 0,05 \cdot \sin(\pi/50) \cdot x \quad (4.2)$$

Згідно агротехнічних вимог відхилення сходів просапної культури від вісі рядка рекомендується вимірювати з кроком 0,5 м [60].

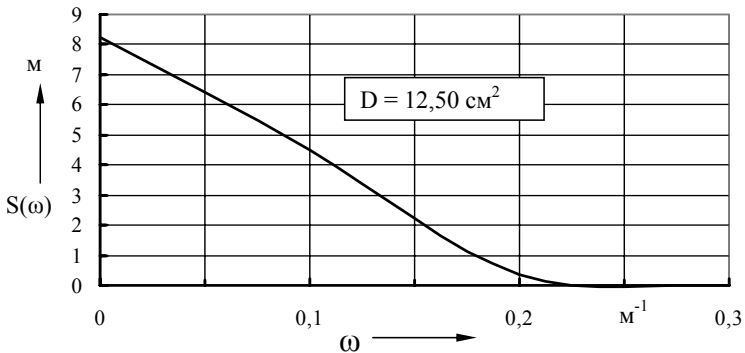


Рис.4.6. Частотно-дисперсійний показник допустимої непрямолінійності рядків просапної культури

З урахуванням цього, змінюючи регресор у формулі (4.2) від 0 до $h = 100$ з кроком 0,5, отримаємо масив зі 200 значин предикатора. Далі з цього масиву даних за допомогою відомих із математичної статистики співвідношень визначаємо дисперсію D і спектральну щільність $S(\omega)$. Отримавши останню, знаходимо частоту зрізу ω_{zp} , якій відповідає спектральна щільність $S(\omega_{zp})$. Ця величина визначається так [68]:

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

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

Розрахунками встановлено, що дисперсія коливань рядка просапної культури згідно закону (4.2) становить 12,50 см². Частота зрізу нормованої спектральної щільності дорівнює при цьому 0,25 м⁻¹ (рис.4.6).

Звідси отримуємо комплексний частотно-дисперсійний показник прийнятної непрямолінійності рядків просапних культур:

$$D \leq 12,50 \text{ см}^2; \quad S(\omega_{zp}) \leq 0,25 \text{ м}^{-1} \quad (4.3)$$

Методика практичного застосування нового частотно-дисперсійного показника наступна. Вважаючи, що коливання траєкторій сходів просапних культур є стаціонарним і ергодичним процесом, на полі вибирають один рядок, довжиною не менше 100 м.

Паралельно його осі прокладають пряму базову лінію і з кроком 0,5 м заміряють відхилення від неї рослин просапної культури. Із отриманого масиву даних розраховують дійсні дисперсію (D_y) і нормовану спектральну щільність [$S_y(\omega)$]. З останньої знаходять $\omega_{зр}$. Непрямолінійність рядків просапної культури вважають прийнятною, коли виконуються умови (4.3).

Розглянемо варіант застосування розробленого частотно-дисперсійного показника непрямої лінійності рядків просапних культур на прикладі рядків соняшника.

Нами було виконано заміри прямої лінійності рядків при роботі посівного машинно-тракторного агрегату [86, 114]. В результаті обробки експериментальних даних було отримано дисперсії рядків й графіки їх спектральної щільності (рис. 4.4). Порівнюючи розроблений показник з отриманими у досліді (рис. 4.7), приходимо до висновку, що за дисперсією задовільним є асиметричний МТА з маркером, а за частотою зрізу всі агрегати виходять за межі допустимого значення.

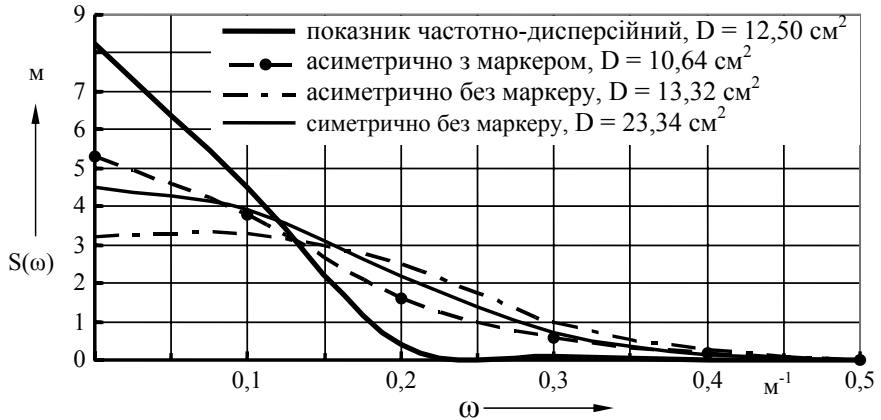


Рис.4.7. Порівняння нормованих спектральних щільностей коливань прямої лінійності рядку з частотно-дисперсійним показником допустимої непрямої лінійності рядків просапної культури

Про завищення агротехнічних вимог стосовно розміру допустимих коливань захисної зони просапних МТА навіть для універсально-просапних тракторів класу 1,4 говорять й результати роботи Шкарівського Г.В. і Пожидаєва С.П. [18, 19, 62, 63, 75].

Саме наявність частотно-дисперсійного показника допустимої непрямої лінійності рядків просапної культури дає змогу значно спростити методикку оцінювання непрямої лінійності її рядків й порівнювати результати роботи просапних агрегатів на різних агрофонах, полях і при різних умовах роботи МТА.

4.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка асиметричного посівного агрегату

Експлуатація універсально-просапного трактора ХТЗ-120 на вирощуванні просапних культур з міжряддям 70 см з серійними просапними сівалками та культиваторами можлива в двох випадках:

- при зміні колії енергетичного засобу з 2100 мм на 2800 мм за допомогою проставок, які встановлюються на кожне колесо;
- при використанні зчпного корегуючого пристрою (далі бруса) з наступним асиметричним агрегуванням сільськогосподарської машини.

При використанні цього пристрою автоматична зчпка типу СА-2 зміщується відносно поздовжньої вісі симетрії енергетичного засобу на 0,35 м (рис. 4.8). В результаті виключається розміщення висівних секцій просапної сівалки по колії трактора і рух останнього по рядках культурних рослин під час міжрядного обробітку.

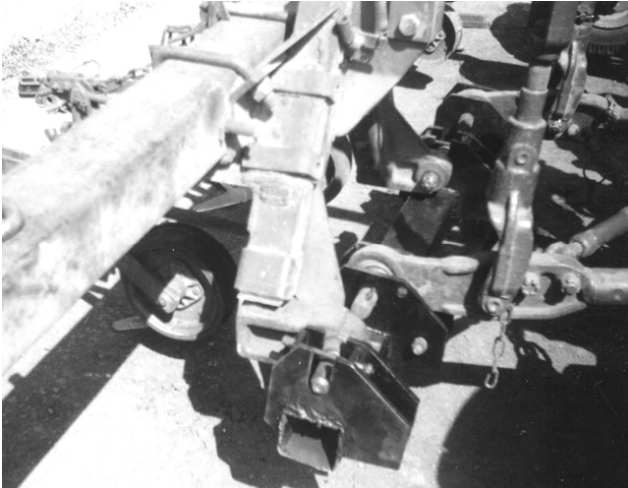


Рис. 4.8. Розміщення автоматичної зчпки типу СА-2 з корегуючим пристроєм

Розглянемо процес переобладнання трактора для проведення операцій при роботі в міжряддях 70 см. Його можна розділити на два етапи. Перший полягає в перестановці опорних коліс машини з використанням проставок або встановлення бруса, а другий – в подальшому навішуванні сільськогосподарської машини.

Проаналізуємо складові трудомісткості за обома випадками та порівняємо їх загальне значення [52].

Проведений хронометраж показав, що трудомісткість встановлення чотирьох проставок становить 13,2 люд.год., тоді як на встановлення бруса затрачується 0,3 люд.год.(табл. 4.1 і 4.2).

Таблиця 4.1

**Трудомісткість зміни колії універсально-просапного трактора ХТЗ-120
з 2100 мм на 2800 мм (встановлення чотирьох проставок)**

Назва операції	Тривалість, хв.	Трудомісткість, люд.·год.
Установка проставок		
Піддомкратити колесо	20	0,67
Відкрутити гайки, які втримують колесо	17	0,57
Зняти колесо	8	0,26
Встановити проставку	6	0,2
Закріпити проставку	17	0,57
Підвести і поставити на місце колесо	11	0,36
Закріпити колесо	17	0,57
Звільнити домкрат	3	0,1
Всього		
на одне колесо	99	3,3
на чотири колеса	396	13,2
з врахуванням демонтажу проставок після виконання технологічної операції	792	26,4
Навішування сільськогосподарської машини		
Встановити автозчіпку на начіпку трактора і відрегулювати	16	0,27
Під'їхати до сільськогосподарської машини	2	0,03
Начепити сільськогосподарську машину	2	0,03
Всього	20	0,33
Разом по процесу:	416	13,53
Разом по процесу з урахуванням демонтажу проставок після виконання технологічної операції:	812	26,73

Таблиця 4.2

**Трудомісткість встановлення бруса на начіпку
універсально-просапного трактора ХТЗ-120**

Назва операції	Тривалість, хв.	Трудомісткість, люд.·год.
Встановлення бруса		
Встановити брус на трактор	20	0,3
Всього з урахуванням демонтажу бруса	40	0,6
Навішування сільськогосподарської машини		
Встановити автозчіпку на начіпку трактора через брус і відрегулювати	20	0,3
Під'їхати до сільськогосподарської машини	2	0,03
Начепити сільськогосподарську машину	5	0,08
Всього:	27	0,41
Разом по процесу:	47	0,78
Разом по процесу з урахуванням демонтажу бруса після виконання технологічної операції:	67	1,12

При цьому технологічний процес встановлення проставок потребує залучення додаткових робітників і має підвищену травмонебезпечність. В той же час, встановленням бруса (рис.4.8) може займатися один механізатор. Враховуючи необхідність демонтажу проставок і бруса, трудомісткість підвищується до 26,4 люд.·год. і 0,6 люд.·год. відповідно. З урахуванням націпки сільськогосподарської машини трудомісткість встановлення чотирьох проставок склала 26,73 люд.·год., що на 25,61 люд.·год. більше, ніж при використанні бруса у складі такого агрегату.

Якщо взяти до уваги необхідність проведення міжрядних обробіток, трудомісткість при використанні проставок у порівнянні із брусом складає 51,22 люд.·год. – при одному міжрядному обробітку й 76,83 люд.·год. – при двох.

Якісні показники роботи асиметрично посівного агрегату на базі універсально-просапного трактора ХТЗ-120 та просапної сівалки СПЧ-12 визначали відповідно до розробленої методики (див. розділ 3) [115].

Як симетричний, так і асиметричний посівні МТА рухалися зі швидкістю 2,47 м/с (тобто 8,64 км/год.). Сівалка була налаштована на глибину висіву 7 см. При ширині захвату даного посівного МТА 8,4 м продуктивність його роботи за годину основного часу становила 7,2 га/год. (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

**Результати лабораторно-польових випробувань МТА
на сівбі соняшнику**

Показник	Значина
Склад МТА:	
– енергетичний засіб	ХТЗ – 120
– сільськогосподарська машина	СПЧ – 12
Умови праці:	
– вологість ґрунту в шарі 0...15 см, %	16,8
– щільність агрофону у шарі 0...15 см, г/см ³	1,20
– забур'яненість поля, г/м ²	1,40
Режим роботи агрегату:	
– робоча швидкість руху, км/год.	8,6
– ширина захвату, м	8,4
– глибина ходу сошників, см	6...8
Продуктивність за 1 год. основної роботи, га/год.	7,2
Продуктивність за 1 год. змінного часу, га/год.	4,6
Витрати палива, кг/га	1,7
Коефіцієнт використання:	
– змінного часу	0,64
– робочих ходів	0,94
Коефіцієнт надійності технологічного процесу	0,99
Агротехнічні показники:	
– стандарт відхилення траєкторії рядків, ±см	1,5
– кількість насіння на 1 пог. метр, шт.	3,4
– середня відстань між насінням, см	33,2

Оскільки коефіцієнт використання часу зміни дорівнював при цьому 0,64, то змінна продуктивність асиметричного МТА була 4,6 га/год. В результаті тривалість сівби на полі площею 90 га становила 2 дні.

Слід підкреслити, що навіть при асиметричному агрегуванні прямолінійність рядків є цілком задовільною (рис.4.4, 4.9). Аналіз експериментальних даних показав, що прямолінійність руху ХТЗ-120 з сівалкою повністю відповідає агротехнічним вимогам [60]. Відхилення тракторній посівних секцій і маркера від прямої лінії на довжині 50 м не перевищують 5 см для симетричного і асиметричного (зі зміщенням на 0,35 м сівалки) агрегатів.



Рис. 4.9. Прямолінійність рядків при роботі посівного асиметричного агрегату на базі трактору ХТЗ-120.

Як бачимо з рисунка 4.10 [39], внутрішні структури і енергії коливань при цьому практично однакові, основний спектр дисперсій припадає на частоти $0...0,25 \text{ м}^{-1}$, що складає $0...0,1 \text{ Гц}$ з урахуванням швидкості робочого руху посівних агрегатів. Відповідно до F-критерію Фішера [92] різниця дисперсій як на рівні значущості 0,05, так і на рівні значущості 0,01 носить статистично випадковий характер.

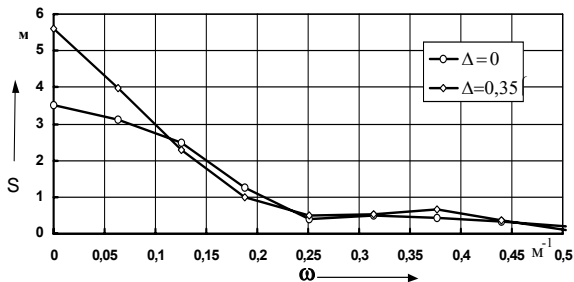


Рис.4.10. Нормовані спектральні щільності коливань маркерного сліду посівного МТА при симетричному ($\Delta=0$) і асиметричному ($\Delta=0,35 \text{ м}$) приєднанні сівалки до трактора ХТЗ-120 [39].

Стосовно стикових міжрядь. При встановлених 70 см середня значина стикових міжрядь (дійсна) становила $73 \pm 2,4$ см при асиметричному і $69 \pm 2,8$ см – для симетричного посівного агрегату. Аналіз рисунку 4.11 [39] показав, що внутрішні структури коливань стикових міжрядь в обох варіантах практично однакові як за частотою, так і за енергією (дисперсією), а частота зрізу майже однакова для обох процесів і становить $0,25 \text{ м}^{-1}$.

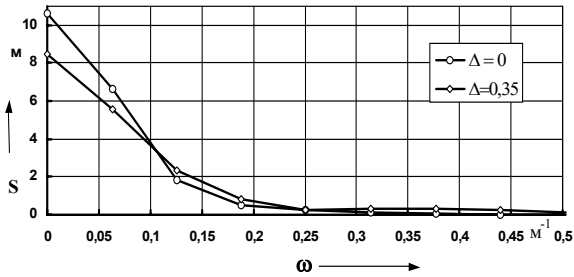


Рис.4.11. Нормовані спектральні щільності коливань стикових міжрядь посівного МТА при симетричному ($\Delta=0$) і асиметричному ($\Delta=0,35 \text{ м}$) приєднанні сівалки до трактора ХТЗ-120 [39].

Виробнича перевірка асиметричного посівного агрегату на базі трактора серії ХТЗ-160 (16131) та німецької 12-и рядної (з міжряддями 70 см) просапної сівалки «Optima» (рис.4.12) проводилась у навчально-дослідному господарстві «Лазурне» (Запорізька обл., с. Лазурне). На сівбі він рухався в середньому зі швидкістю 12,2 км/год. Враховуючи ширину захвату чиста продуктивність праці такого агрегату становила 10,2 га. Отже при коефіцієнті використання зміни 0,60...0,65 таким агрегатом за 10 годин роботи можна засіяти не менше 60 га. А при використанні часу зміни більш раціонально, наприклад, за рахунок механізації заправки насіння у посівні секції, об'єм виконаних робіт можна збільшити до 80...90 га за 10 годин роботи. Враховуючи, що середній розмір полів на півдні України складає 90 га, використання 12-рядного посівного агрегату на базі орно-просапного трактору серії ХТЗ-160 дає змогу засівати одне поле за один світовий день.



Рис. 4.12. Асиметричний посівний агрегат у складі трактора ХТЗ-16131 та 12-рядної просапної сівалки «Optima».

4.4. Оцінка якості роботи асиметричного МТА для міжрядного обробітку посівів просапної культури

Під час міжрядного обробітку посівів соняшнику ХТЗ-120 агрегували асиметрично (з поперечним зміщенням 0,35 см) з просапним культиватором КРН-8,4 (рис.4.13-4.14), який приєднували за допомогою корегуючого пристрою (рис.4.8).



Рис.4.13. Трактор ХТЗ-120 в агрегаті з культиватором КРН-8,4



Рис.4.14. Трактор ХТЗ-120 в агрегаті з культиватором КРН-8,4

При першому міжрядному обробітку (табл. 4.4) асиметричний посівний агрегат рухався зі швидкістю 1,9 м/с (6,84 км/год.). Робочі органи культиватора були налаштовані на глибину обробітку ґрунту 6 см і ширину односторонньої захисної зони 16 см. В результаті роботи такого агрегату отримали дійсну значину глибини міжрядної культивації посівів соняшнику в межах $5,8 \pm 1,4$ см, дійсну середню значину захисної зони – $15,8 \pm 2,4$ см при коефіцієнті варіації 15%. Внутрішня структура коливань цього показника приблизно така ж, як і для розглянутих вище процесів (див. рис.4.10 і рис.4.11).

**Результати лабораторно-польових випробувань МТА
на першому та другому міжрядному обробітку соняшнику**

Показник	Значина	
	перший	другий
Склад МТА:		
– енергетичний засіб	ХТЗ – 120	ХТЗ – 120
– сільськогосподарська машина	КРН-8,4	КРН-8,4
Умови праці:		
– вологість ґрунту в шарі 0...15 см, %	17,8	18,8
– щільність агрофону у шарі 0...15 см, г/см ³	1,21	1,24
– забур'яненість поля, г/м ²	9,20	18,50
Режим роботи агрегату:		
– робоча швидкість руху, км/год.	6,8	8,6
– ширина захвату, м	8,4	8,4
– ширина односторонньої захисної зони, см	16,0	16,0
– глибина обробітку ґрунту, см	6,0	7,0
Продуктивність за 1 год. основної роботи, га/год.	5,0	5,7
Продуктивність за 1 год. змінного часу, га/год.	4,4	5,0
Витрати палива, кг/га	1,7	1,9
Коефіцієнт використання:		
– змінного часу	0,88	0,88
– робочих ходів	0,96	0,96
Коефіцієнт надійності технологічного процесу	0,99	0,99
Агротехнічні показники:		
ширина стикових міжрядь, см	72,3±1,2	72,5±1,3
ширина захисної зони:		
– середнє значення, см	15,8 ± 0,4	15,4±0,4
– стандарт, ± см	2,4	2,4
– коефіцієнт варіації, %	15,2	15,6
глибина обробітку:		
– середнє значення, см	5,8±1,4	6,6±0,9
– стандарт, ± см	1,5	1,1
– коефіцієнт варіації, %	25,9	16,7
підрізання бур'янів, %	98,0	92,0

Згідно з агротехнічними вимогами граничне відхилення ширини захисної зони (Δ) не повинно перевищувати 3 см [60]. При визначенні ймовірності збереження вказаного допуску дослідним агрегатом та частоти (ω) можливих відхилень за його межі в формулі (3.10) приймали: $\delta = 2,4$ см, а $\omega_0 \approx 0,1$ м⁻¹.

Враховуючи конкретні значини параметрів Δ , δ і ω_0 , визначено, що ймовірність збереження агротехнічного допуску на відхилення ширини захисної зони під час міжрядного обробітку посівів соняшнику дослідним МТА складає не менше 77%. Можлива частота виходу за межі допуску дорівнює 0,029 м⁻¹, тобто 1 викид на кожні 34 м робочого шляху[39]. Такий результат можна вважати задовільним.

Під час другого міжрядного обробітку просапний асиметричний МТА рухався зі швидкістю 2,4 м/с (8,6 км/год.). Глибина обробітку ґрунту знаходилася в межах $7,4 \pm 1,6$ см.

Змінна продуктивність роботи агрегату становила 5,8 га/год. За десять годин роботи таким МТА оброблювали поле площею не менше 58 га. Пошкодження культурних рослин не перевищувало 1%.

Висновки по розділу

1. Експериментально встановлено, що асиметричне агрегування просапної сівалки з орно-просапним трактором не призводять до погіршення траєкторних показників руху посівного МТА. Навіть у найскладнішому варіанті, коли поперечне зміщення сівалки і винос маркера співпадають, основні долі дисперсій коливань кута керованих коліс α і курсового кута ϕ енергетичного засобу знаходяться у дуже вузькому діапазоні частот – 0...0,64 Гц. Нуль-гіпотеза про рівність дисперсій коливань кутів α і ϕ як при симетричному, так і асиметричному приєднаннях сівалки не відхиляється як на статистичному рівні значущості 0,05, так і на рівні значущості 0,01.
2. Характер зміни нормованих взаємних кореляційних функцій кутів повороту керованих коліс трактора та його рами (курсний кут) свідчить про індиферентність досліджуваного агрегату щодо схеми приєднання сівалки. Як при симетричному агрегуванні, так і при спів паданні її поперечного зміщення з виносом маркера різниця між вказаними функціями в усьому досліджуваному діапазоні частот вхідного α та вихідного ϕ параметрів є малою.
3. Основна доля дисперсій коливань крайньої секції 12-ти рядної асиметрично приєднаної просапної сівалки зосереджена практично в тому ж діапазоні частот (0...0,37 с⁻¹), що і дисперсія коливань курсового кута трактора (0...0,36 с⁻¹).
4. У порівнянні з відомими, розроблений новий показник оцінки криволінійності траєкторій рядків просапних культур є більш інформативним. При незначній трудомісткості визначення, він дозволяє отримати данні як відносно енергії (дисперсії), так і частоти коливального процесу. Згідно з розробленим показником криволінійність рядків просапних культур є агротехнічно допустимою, якщо дисперсія коливань їх траєкторій не перевищує 12,5 см², а частота зрізу спектральної щільності не більша за 0,25 м⁻¹.
5. Трудомісткість встановлення на орно-просапний трактор пристрою для асиметричного агрегування сівалки складає 0,3 люд.·год. Це у 44 рази менше за трудомісткість переобладнання енергетичного засобу чотирма додатковими проставками, які дозволяють збільшити колію його коліс з 2100 до 2800 мм.
6. При встановлених 70 см дійсна середня значина стикових міжрядь становила 73 см при асиметричному і 69 см – при симетричному агрегуванні сівалки. Нуль-гіпотеза про відсутність суттєвої різниці між стандартами даного параметру ($\pm 2,4$ і $\pm 2,8$ см відповідно) не відхиляється на статистичному рівні значущості 0,01.
7. Встановлено, що ймовірність збереження агротехнічного допуску на відхилення ширини захисної зони (3 см) під час міжрядного обробітку посівів просапної культури асиметричним МТА становить не менше 77%. Можлива частота виходу за межі допуску дорівнює 0,029 м⁻¹, тобто 1 викид на кожні 34 м робочого шляху. В кінцевому рахунку це забезпечило проведення вказаної технологічної операції з продуктивністю 5 га/год. і пошкодженням культурних рослин менше 1%.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ
ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ

Економічне оцінювання агрегатів проводили згідно з ДСТУ 4397:2005 [116]. Відповідно до нього критерієм економічного оцінювання було обрано річний економічний ефект від експлуатації нового посівного агрегату з урахуванням зміни кількості та якості продукції у гривнях.

Обраний критерій визначали за формулою:

$$O = E_{я} + B_{з} \cdot (П_{б} - П_{н}), \quad (5.1)$$

де $П_{б}$, $П_{н}$ – сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовому і новому агрегату, грн/га;

$B_{з}$ – річний обсяг наробітку новим МТА в умовах певної природнокліматичної зони, га;

$E_{я}$ – річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

тут
$$E_{я} = C_{ян} - C_{яб}, \quad (5.2)$$

$C_{ян}$, $C_{яб}$ – вартість продукції, одержаної у разі застосування відповідно нової та базової машини протягом року, грн.

$$C_{я} = \sum_{j=1}^n Ц_j \cdot V_j, \quad (5.3)$$

де $Ц_j$ – закупівельна ціна одиниці j -ої продукції, грн.;

V_j – кількість j -ої продукції, одержаної у разі застосування нової чи базової машини, кг.

Після підстановки (5.3) у (5.2) річний економічний ефект, отриманий за рахунок зміни кількості та якості продукції, визначиться як

$$E_{я} = Ц_{н} \cdot V_{н} - Ц_{б} \cdot V_{б}, \quad (5.4)$$

Зональний річний обсяг наробітку новим агрегатом $B_{з}$ становив

$$B_{з} = W_{зм} \cdot T_{з}, \quad (5.5)$$

де $W_{зм}$ – продуктивність нового агрегату за 1 год. змінного часу, га/год.;

$T_{з}$ – зональне річне навантаження агрегату, год./рік [117 – 119].

А сукупні витрати у гривнях на одиницю наробітку визначили з виразу

$$П = И + K \cdot E_{н}, \quad (5.6)$$

де $И$ – прямі експлуатаційні витрати, грн/га;

K – питомі інвестиційні вкладення на агрегат, грн/га;

$E_{н}$ – коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень ($E = 0,15$) [116, 119];

тут питомі інвестиційні вкладення на агрегат дорівнювали:

$$K = B / (T_3 \cdot W_{зм}), \quad (5.7)$$

де B – балансова вартість компонента агрегату (трактора, знаряддя), грн.

$$\text{тут} \quad B = C_M \cdot k_{\delta}, \quad (5.8)$$

C_M – ціна машини, грн;

k_{δ} – коефіцієнт перерахунку ціни машини у балансову вартість.

Коефіцієнт перерахунку ціни машини у балансову вартість дорівнює $k_{\delta} = 1,1$ для машин та устаткування, що не потребують монтажних робіт чи додаткового складання безпосередньо на місці експлуатації і $k_{\delta} = 1,2$ – якщо вони потребують вище перелічені роботи.

Прямі експлуатаційні витрати у гривнях на одиницю наробітку визначали як

$$H = Z + \Gamma + P + A + M, \quad (5.9)$$

де Z – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/га;

Γ – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

P – затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн/га;

A – затрати на амортизацію, грн/га;

M – затрати на зберігання, страхування та монтування, грн/га.

Проведемо розрахунки кожного зі складових виразу (5.9).

Оплата праці працівників при виконанні технологічної операції залежить від складності роботи, а відповідно й від кваліфікації робітника. У сільському господарстві кваліфікація працівника оцінюється за розрядами. Технологічні операції сівби і міжрядного обробітку пропасних культур відносяться до 5 розряду [117 – 119].

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу знаходили з виразу:

$$Z = \sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_{\text{д}} \cdot n_i / W_{\text{зм}}, \quad (5.10)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини, люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год.;

r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн/люд.год;

$k_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування, фонд сприяння зайнятості).

Затрати на паливо-мастильні матеріали розраховували по формулі:

$$\Gamma = q \cdot C_{\text{км}}, \quad (5.11)$$

де q – питомі витрати палива, кг/га;

$C_{\text{км}}$ – комплексна ціна палива, грн./кг.

А затрати на ремонт і технічне обслуговування визначали з виразу:

$$P = \frac{B \cdot (r_T + r_K)}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (5.12)$$

де r_T – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та ТО;

r_K – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт.

Затрати на амортизацію знаходили по формулі:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (5.13)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.

Коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини визначали за допомогою прямо-лінійного методу нарахування амортизації:

$$a = 1/n,$$

де n – термін служби машини в роках.

Затрати на зберігання, страхування та монтування визначали як

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n 3_{ni} \cdot r_i \cdot k_i + C_D + S_{3CM}}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (5.14)$$

де 3_{ni} – затрати праці i -ої категорії працівників на доскладання та монтування устаткування, люд.-год.;

C_D – вартість матеріалів, які використані на доскладанні та монтуванні машини, грн.;

S_{3CM} – річні витрати на зберігання та страхування машини, грн.

Після підстановки (5.10) – (5.14) у вираз (5.9) і перетворень отримуємо

$$H = \sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_D \cdot n_i / W_{3M} + q \cdot C_{kn} + \frac{C_M \cdot k_6 \cdot (r_T + r_K + 1/n) + \sum_{i=1}^n 3_{ni} \cdot r_i \cdot k_i + C_D + S_{3CM}}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (5.15)$$

Тоді сукупні витрати у гривнях на одиницю виробітку визначаються як

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_D \cdot n_i / W_{3M} + q \cdot C_{kn} + \\ & + \frac{C_M \cdot k_6 \cdot (r_T + r_K + 1/n) + \sum_{i=1}^n 3_{ni} \cdot r_i \cdot k_i + C_D + S_{3CM} + C_M \cdot k_6 \cdot E_n}{W_{3M} \cdot T_3} \end{aligned} \quad (5.16)$$

Після підставлення (5.4), (5.5) і (5.16) до (5.1) і перетворень річний економічний ефект від експлуатації нового посівного агрегату з урахуванням зміни кількості та якості продукції визначиться за формулою

$$O = U_n \cdot V_n - U_{\bar{b}} \cdot V_{\bar{b}} + W_{зм} \cdot T_3 \times$$

$$\left(\begin{array}{l} \left(\sum_{i=1}^n L_{\bar{b}i} \cdot t_{\bar{b}i} \cdot r_{\bar{b}i} \cdot k_{\bar{b}Д} \cdot n_{\bar{b}i} / W_{\bar{б}зм} + q_{\bar{b}} \cdot U_{\bar{б}кп} + \right. \\ \left. \frac{U_{\bar{б}М} \cdot k_{\bar{б}б} \cdot (r_{\bar{б}Т} + r_{\bar{б}К} + 1/n_{\bar{б}} + \cdot E_n) + \sum_{i=1}^n Z_{\bar{б}ни} \cdot r_{\bar{б}i} \cdot k_{\bar{б}i} + U_{\bar{б}Д} + S_{\bar{б}ЗСМ}}{W_{\bar{б}зм} \cdot T_{\bar{б}з}} \right) - \\ \times \left(\sum_{i=1}^n L_{ни} \cdot t_{ни} \cdot r_{ни} \cdot k_{нД} \cdot n_{ни} / W_{нзм} + q_n \cdot U_{нкп} + \right. \\ \left. - \frac{U_{нМ} \cdot k_{нб} \cdot (r_{нТ} + r_{нК} + 1/n_n + \cdot E_n) + \sum_{i=1}^n Z_{ни} \cdot r_{ни} \cdot k_{ни} + U_{нД} + S_{нЗСМ}}{W_{нзм} \cdot T_{нз}} \right) \end{array} \right) \quad (5.17)$$

Другим важливим показником ефективності МТА є питомі витрати праці:

$$Z_{\Pi} = \sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i / B_3,$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини, люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год.;

B_3 – зональний річний обсяг наробітку машиною, га.

Річна економія витрат праці Z_{np} під час експлуатації нової машини, люд.-год.

$$Z_{np} = (Z_{\bar{б}3} - Z_{н3}) \cdot B_3,$$

де $Z_{\bar{б}3}$, $Z_{н3}$ – витрати праці відповідно базовою та новою машиною на одиницю наробітку, люд.-год./га.

А річна економія ресурсів під час експлуатації нової машини дорівнювала:

$$Z_{pp} = (Z_{\bar{p}3} - Z_{п3}) \cdot B_3,$$

де $Z_{\bar{p}3}$, $Z_{п3}$ – затрати ресурсів базовим та новим МТА на одиницю наробітку, грн./га.

Ступінь зміни витрат під час експлуатації нової машини порівняно з базовою у відсотках визначають за формулою:

$$C = 100 \cdot (Z_{\bar{сб}} - Z_{сн}) / Z_{сн},$$

де $Z_{\bar{сб}}$, $Z_{сн}$ – річні затрати (затрати праці, ресурсів, прями експлуатаційні затрати, сукупні затрати) відповідно за базовою та новою машиною.

В даній дисертаційній роботі порівняний аналіз проводили між симетричними і асиметричним просапними МТА на операціях сівби і міжрядному обробітку. Техніко-економічний аналіз проводили для таких МТА:

– МТЗ-80 + СУПН-8 (симетричний МТА);

– ХТЗ-120, обладнаного спеціально виготовленим корегуючим пристроєм (брусом), який дозволяє зміщувати на половину міжряддя вирощуваної культури, у даному випадку на 35 см + СУПН-12 (асиметричний МТА);

– МТЗ-80 + КРН-5,6 (симетричний МТА);

– ХТЗ-120 з брусом + КРН-8,4 (асиметричний МТА).

Базові та нові МТА обслуговуються 1 людиною. Всі агрегати пройшли експлуатаційно-технологічні випробування (див. 4.3, 4.4). Отримані при цьому результати прийняті в якості вихідних даних для розрахунків техніко-економічних показників (табл. 5.1 і 5.2), деякі показники наведені з літературних джерел [117 – 119].

Таблиця 5.1

Вихідні параметри для техніко-економічного аналізу посівних агрегатів

Показник	Агрегати	
	базовий	новий
	МТЗ-80 + СУПН-8	ХТЗ-120 + СУПН-12 (асиметричний)
Витрати дизельного палива агрегатом, кг/га	3,5	3,3
Продуктивність МТА за годину змінного часу, га/год.	2,35	3,52
Вартість, грн.:		
– трактора	139500	415050
– корегуючого пристрою	–	350
– знаряддя	75154	91500
Норма відрахувань на амортизацію, %:		
– трактора	15	15
– знаряддя	15	15
Норма відрахувань на ремонт і ТО, %:		
– трактора	13	13
– знаряддя	4,5	4,5
Нормативне річне завантаження, год.:		
– трактора	1600	1600
– знаряддя	140	140

Таблиця 5.2

Вихідні параметри для техніко-економічного аналізу агрегатів для міжрядного обробітку

Показник	Агрегати	
	базовий	новий
	МТЗ-80 + КРН-5,6	ХТЗ-120 + КРН-8,4 (асиметричний)
Витрати дизельного палива агрегатом, кг/га	3,6	3,4
Продуктивність МТА за годину змінного часу, га/год.	3,9	5,8
Вартість, грн.:		

Продовження таблиці 5.2

Показник	Агрегати	
	базовий	новий
	МТЗ-80 + КРН-5,6	ХТЗ-120 + КРН-8,4 (асиметричний)
– трактора	139500	415050
– бруса	–	350
– знаряддя	50300	75450
Норма відрахувань на амортизацію, %:		
– трактора	15	15
– знаряддя	15	15
Норма відрахувань на ремонт і ТО, %:		
– трактора	13	13
– знаряддя	9,0	9,0
Нормативне річне завантаження, год.:		
– трактора	1600	1600
– знаряддя	350	350

Розрахунок техніко-економічних показників порівнюваних агрегатів проводили на ЕОМ з використанням програми, написаної у Microsoft Office Excel 2003. Річний прибуток від експлуатації нового агрегату з урахуванням кількості і якості продукції E_n у гривнях визначали відповідно до формули (5.17).

Сьогодні через значні витрати на переобладнання і підвищену травмонебезпечність (див. розділ 4.3), встановлення проставок для збільшення колії енергетичного засобу у господарствах не використовується.

Як відомо, зменшення врожайності кукурудзи та соняшнику при затримці з посівом на тиждень може складати 0,2...4,3 ц/га в залежності від гібриду [59, 120, 121]. Враховуючи, що продуктивність 12-рядної сівалки порівняно з 8-рядною більша на 33,2% (навіть при коефіцієнті використання часу зміни 0,6), кількість виробленої продукції може зменшуватися від 20 ц до 430 ц з обробленої площі (на 100 га).

Висновки по розділу

1. Аналіз отриманих даних показав, що асиметричне агрегування просапної сівалки дозволяє зменшити витрати праці на переобладнання (встановлення бруса замість чотирьох проставок) у 22 рази, а питомі капіталовкладення – в 5 разів.
2. При експлуатації 12-рядного агрегату на базі орно-просапного трактору на протязі року отримуємо підвищення кількості продукції не менше 0,2 ц/га.
3. Використання асиметричного просапного МТА на базі орно-просапного трактора ХТЗ-120 на посіві та міжрядному обробітку просапних культур з міжряддям 70 см дозволить додатково отримати економію коштів за рахунок зменшення трудомісткості переобладнання енергетичного засобу.

ВИСНОВКИ

1. Проблема агрегування орно-просапного трактора з серійними просапними сівалками і культиваторами може бути вирішена шляхом їх поперечного зміщення відносно поздовжньої осі симетрії енергетичного засобу на величину, яка дорівнює половині міжряддя вирощувальної культури.
2. Зміщення сівалки відносно орно-просапного трактора у поперечному напрямку на половину міжряддя (0,35 м) мало впливає як на керованість, так і на стійкість руху асиметричного посівного МТА. При відпрацюванні корисного сигналу (кута повороту керованих коліс трактора) АЧХ і ФЧХ для симетричного і асиметричного агрегатів в робочому діапазоні частот ($\omega = 0 \dots 3 \text{ с}^{-1}$) практично не відрізняються ні в якісному, ні в кількісному вираженні. Амплітуда коливань курсового кута енергетичного засобу навіть при рухові асиметричного МТА зі швидкістю 12 км/год. не перевищує 0,02 рад.
3. Керованість асиметричного посівного МТА при рухові орно-просапного трактора прямим ходом зі швидкістю 6...12 км/год. краща, ніж при реверсивному його налаштуванні. Так, в робочому діапазоні частот коливань корисного сигналу (кута повороту керованих коліс трактора) коефіцієнт його підсилення в першому варіанті на 33...44% більший, ніж у другому. Запізнення реакції агрегату на керуючий вплив при цьому зменшується.
4. Ширина захвату асиметричного посівного агрегату впливає лише на коефіцієнт підсилення асиметричною динамічною системою коливань керуючого впливу. Так, зі збільшенням цього конструктивного параметру вдвічі (від 4,2 м до 8,4 м) значення АЧХ небажано зменшуються на 8...10% для агрегату при прямому ході трактора, і на 4...6% – при реверсивному. Точність відпрацювання корисного сигналу посівними агрегатами обох систем при цьому практично не змінюється.
5. Для забезпечення більшої точності та швидкості відпрацювання динамічною системою у вигляді асиметричного посівного МТА на основі орно-просапного трактора, налаштованого як прямим ходом, так і реверсивним ходом, інтенсивність впливу на органи його керування повинна бути якомога меншою, а швидкість руху агрегату – якомога більшою.
6. Характер зміни нормованих взаємних кореляційних функцій кутів повороту керованих коліс трактора (α) та його рами (курсний кут φ) свідчить про індиферентність досліджуваного агрегату щодо схеми присіднання просапної сівалки. Як при симетричному агрегуванні, так і при співпадінні напрямку її поперечного зміщення з виносом маркеру різниця між вказаними функціями в усьому діапазоні частот коливань вхідного (α) і вихідного (φ) параметрів є малою.
7. У порівнянні з відомими, розроблений новий показник оцінки криволінійності тракторній рядків просапних культур є більш інформативним. При незначній трудомісткості визначення він дозволяє отримати дані як відносно енергії (дисперсії), так і частот зрізу коливального процесу. Згідно з розробленим показником криволінійність рядків просапних культур є агротехнічно допустимою, коли дисперсія

- коливань амплітуди їх траєкторій не перевищує $12,5 \text{ см}^2$, а частота зрізу спектральної щільності не більша за $0,25 \text{ м}^{-1}$.
8. При встановлених 70 см дійсна середня значина стикових міжрядь просапної культури (соняшнику) становила 73 см при асиметричному і 69 см – при симетричному агрегуванні сівалки. Нуль-гіпотеза про відсутність суттєвої різниці між стандартами даного параметру ($\pm 2,4$ і $\pm 2,8$ см відповідно) не відхиляється на статистичному рівні значущості 0,01.
 9. Експериментально встановлено, що ймовірність збереження агротехнологічного допуску на відхилення ширини захисної зони (3 см) під час міжрядного обробітку ґрунту посівів просапної культури асиметричним МТА становить не менше 77%. Можлива частота виходу за межі допуску дорівнює $0,029 \text{ м}^{-1}$, тобто 1 викид на кожні 34 м робочого шляху. В кінцевому рахунку це забезпечило проведення вказаної технологічної операції з продуктивністю 5 га/год. і пошкодженням культурних рослин менше 1%.
 10. Впровадження асиметричних агрегатів для посіву у міжрядного обробітку на основі орно-просапного трактора, налагодженого у відповідності до розроблених практичних рекомендацій, дозволяє зменшити витрати праці на переобладнання (встановлення бруса замість чотирьох проставок) у 22 рази, а питомі капіталовкладення – в 5 разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Осауленко О.Г. Валова продукція сільського господарства у 2008 році [Електронний ресурс] / О.Г. Осауленко // Експрес-випуск. – 2009. – №105 – 2 с. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2009/0509/105.zip>
2. Юшин А. Проблемы тракторной энергетики / А. Юшин // Техніка АПК. – 1999. – № 6-7. – С. 45-46.
3. Рослинництво Запорізької області за 1990-2006 роки : статистичний збірник / за ред. В.П. Голоवेशка. – Запоріжжя: Головне управління статистики у Запорізькій області, 2007. – 103 с.
4. Инвестиционная привлекательность Запорожской области [Электронный ресурс] / Посольство Украины в Республике Беларусь. – 2006. – Режим доступа: <http://www.belarus.mfa.gov.ua/belarus/ru/publication/content/5613.htm#top>
5. Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур у 2008 році (попередні дані): експрес-випуск / Державний комітет статистики України. – 2009. – №4. – 28 с.
6. Прогноз Єврокомісії щодо світових ринків сільгоспродукції // Пропозиція. – 2007. – №6. – С. 42 – 44.
7. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
8. Универсальная пневматическая сеялка точного высева УПС-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.chervonazirka.com/ups_12.html
9. Сеялки John Deere 1770: каталог техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://irontrade.ru/auto/34.html>
10. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / А.І. Бойко, М.О. Свірень, С.І. Шмат, М.М. Ножнов. – Кіровоград: Центрально-українське видавництво. – 2003. – 203 с.
11. Дружинов С. Сеялки «Amazon» російським свекловодам / С. Дружинов, М. Скорик // Агропромислова газета юга России. – 2006. – №6. – С. 7
12. Сеялка точного высева ED // Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=11198>
13. Продукция фирмы Monosem [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://monosem.cyberhal.com/ru>
14. Monosem NG+ 12-рядная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ugagro.biz/technics/seeder/monosem-12/>
15. Сеялка Maestra : каталог продукции [Электронный ресурс] / ПромРегионСнаб. – Режим доступа: <http://www.prs.su/index.php?action=content&id=202>
16. Лурье А.Б. Широкозахватные почвообрабатывающие машины / А.Б. Лурье, А.И. Любимов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 270 с.
17. Хачатрян Х.А. Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов / Х.А. Хачатрян. – М.: Машиностроение. – 1974. – 206 с.

18. Шкарівський Г.В. Підвищення ефективності використання просапних агрегатів на базі трактора тягового класу 3 (на прикладі Т-150К): автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.В. Шкарівський ; Національний аграрний університет. – К., 1996. – 26 с.
19. Пожидаев С.П. Обоснование способа повышения точности движения пропашного агрегата с трактором Т-150К: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / С.П. Пожидаев ; Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – К., 1984. – 17 с.
20. Поляк А.Я. Тракторы общего назначения на возделывании пропашных культур / А.Я. Поляк, Н.М. Антышев, Б.И. Пейсахович. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 140 с.
21. Разработка и внедрение широкозахватных агрегатов на базе тракторов класса 3 для возделывания пропашных культур: экспресс-информация. – М.: ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш, 1985. – 21 с. – (Тракторы и двигатели, отечественный производственный опыт, вып.1.)
22. Мельник А.Т. Выбор и обоснование схемы мобильного энергетического средства (МЭС) пропашного назначения: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Т. Мельник ; НАТИ. – М., 1989. – 23 с.
23. Гаранько М.П. Широкозахватные машины для возделывания кукурузы / М.П. Гаранько, В.Н. Киреев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1964. – №3. – С. 52 – 54.
24. Есипов А.В. Повышение точности движения машинно-тракторного агрегата на междурядной обработке пропашных культур : автореф. дис.... канд. техн. наук:05.20.01 / А.В. Есипов ; Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства. – Харьков, 2001. – 17 с.
25. Жиган В.Й. Исследование основных эксплуатационных параметров и эффективности использования широкозахватного агрегата с гусеничным трактором класса 3 тонны на обработке пропашных культур (в степной зоне Украины): автореф. дис....канд. техн. наук:05.20.01 / В.Й. Жиган ; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства. – Мелитополь, 1967. – 21 с.
26. Попков А. Сельское хозяйство США / А. Попков // Аграрная экономика. – 2006. – №3. – С. 21 – 23
27. Басін В. Щодо стратегії тракторного виробництва в Україні / В. Басін // Техніка АПК. – 2007. – №1-2. – С. 5 – 8.
28. Кононенко М.П. Ефективність використання енергонасичених тракторів у аграрному секторі / М.П. Кононенко, В.В. Марченко // Агронаом. – 2006. – №3. – С.50-53.
29. Колесные универсально-пропашные тракторы класса 1,4 и 2,0 [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.ltz.lipetsk.ru/ru_products_ltz95_ltz120.htm
30. Надикто В.Т. Колійна та мостова системи землеробства: монографія / В.Т. Надикто, В.О. Улексін. – Мелітополь: ММД. – 2008. – 270 с.
31. ХТЗ-16131: продукция и производство: трактора колесные: пахотно-пропашные [Электронный ресурс] / Харьковский тракторный завод. – Режим доступа: http://www.xtz.ua/rus/production_and_manufactures/tractors/kolesnie/pahotno-propashnie/htz-16131.html

32. Нефедов А. Зарубежные интегральные тракторы / А. Нефедов // Сельский механизатор. – 2003. – №6-7. – С. 12 – 16.
33. Основные тенденции развития конструкций и производства сельскохозяйственных тракторов: обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш, 1986. – 56 с. – (Тракторы и двигатели, вып. 6).
34. Кюрчев В.М. Проблеми та перспективи тракторної енергетики України / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Вісник ЛНАУ. Агроінженерні дослідження. – Львів, 2008. – №12. – Т.2. – С. 131 – 138.
35. Комплекс машин на основі ХТЗ-121 для вирощування просапних культур / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.Т. Лебедев, М.П. Артьомов // Техніка АПК. – 2007. – № 6. – С. 33 – 35.
36. Перспективы использования трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.Д. Черепухин, С.Л. Абдула, А.В. Рославцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1995. – №10. – С. 15 – 17.
37. Надикто В. Т. Перспективи використання нових тракторів ХТЗ-120/121 на вирощуванні просапних с.-г. культур / В.Т. Надикто, В.З. Мухаметшин // Праці ТДАТА. – Мелітополь: Тавр. держ. агротехн. акад., 2000. –Вип. 1, т.12. – С. 84-86.
38. Надикто В.Т. Агрегаты на основе трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, Ю.К. Шаповалов, Н.Г. Амелин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – №8. – С. 12 – 14.
39. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві : навч. посібник / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула. – Мелітополь: ММД, 2006. – 337 с.
40. Абдула С.Л. Використання трактора ХТЗ-120 у складі комбінованих та широкозахватних агрегатів / С.Л. Абдула, В.Т. Надикто // Вісті АІНУ. – 2004. – №1(21). – С. 19-22.
41. Надикто В.Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА / В.Т. Надикто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 3. – С. 7 – 9.
42. Кюрчев В.М. Нова технологія вирощування просапних культур: проблеми та перспективи / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, В.В. Федоренко // Збірник наукових праць ННЦ «ІМЕСГ» УААН. – Глеваха, 2008. – Вип. 92. – С. 28 – 33.
43. Трактори ХТЗ у високоефективній технології вирощування баштанних культур / А.О. Лимар, П.П. Годоров, С.П. Гудзь, С.Л. Абдула, В.Г. Кухтов, В.В. Біблік // Вісті АІНУ. – 2004. – №1(21). – С. 13-15.
44. Застосування трактора ХТЗ-120 на вирощуванні картоплі / С.П. Годоров, В.В. Біблік, С.П. Гудзь, С.Л. Абдула, В.В. Кононученко // Вісті АІНУ. – 2004. – №1(21). – С. 16-18.
45. Абдула С.Л. Використання трактора ХТЗ-120 на вирощуванні просапних культур / С.Л. Абдула, В.Т. Надикто // Вісті АІНУ. – 2001. – №2(13). – С. 20 – 23.
46. Абдула С.Л. Чи довго Україна здаватиме свої позиції? / С.Л. Абдула, В. Пашенко // Техніка АПК. – 2007. – № 1-2. – С. 18 – 19.

47. Інтенсивні технології вирощування і збирання цукрових буряків з використанням тракторів типу ХТЗ-16131 ВАТ «ХТЗ» / С.П. Тодоров, В.В. Біблік, С.П. Гудзь, С.Л. Абдула, М.В. Роїк, В.М. Пашенко, С.І. Корнієнко // Вісті АІНУ. – 2004. – №1(21). – С. 23-27.
48. Пастухов В.І. Визначення критеріїв реалізації біопотенціалу та стану екосистеми під час виробництва цукрових буряків / В.І. Пастухов, А.І. Бойко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип. 36. – С. 68-74.
49. Пастухов В.І. Аналіз механізованих технологій виробництва цукрових буряків в Україні / В.І. Пастухов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 2 (26). – С. 28 – 31.
50. Пат. 30201А, Україна, МКІ⁶ А 01 В 59/04. Зчіпний пристрій енергетичного засобу / В.Т. Надикто, С.Л. Абдула, Г.А. Санін, А.В. Рославцев (Україна). – № u200005003; заявл. 10.05.2000 ; опубл. 15.11.2000, Бюл. № 11.
51. Надикто В.Т. Дослідження просапного МТА на базі ХТЗ – 120 / В.Т. Надикто, В.З. Мухаметшин // Праці ТДАТА. – Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія. – 2001. – Вип. 2, т.16. – С. 20 – 24.
52. Чорна Т.С. Підвищення ефективності використання просапного агрегату на базі орно-просапного трактору / Т.С. Чорна // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2008. – Вип. 8, т.9 – С. 125 – 128.
53. Лебедев А.Т. Наука про тракторі: проблеми та рішення / А.Т. Лебедев // Тракторна енергетика в рослинництві. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 60. – С. 5-15.
54. Пат. 11955 Україна, МПК⁷ А01В59/04. Зчіпний пристрій енергетичного засобу / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев (Україна). – № u200507003; заявл.15.07.05; опубл. 16.01.06, Бюл. №1.
55. Чорна Т.С. Зчіпний пристрій енергетичного засобу / Т.С. Чорна // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2008. – Вип. 8, т.1. – С. 144 – 147.
56. Мітков В.Б. Обґрунтування схеми і параметрів агрегата для основного обробітку ґрунту: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.05.11 / В.Б. Мітков ; Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2007. – 23 с.
57. Булгаков В.М. Агрегування плугів : навчальний посібник / В.М. Булгаков, В.І. Кравчук, В.Т. Надикто. – К.: Аграрна наука. – 2008. – 150 с.
58. Теоретичне дослідження орного агрегату з експериментальним начіпним пристроєм / В.І. Пастухов, В.П. Ольшанський, Г.В. Фесенко [та ін.] // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2009.- Вип. 77.- С. 380-386.
59. Державний насінневий фонд України. Кукурудза. Характеристика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nsfond.org.ua/?id=607
60. Орманджи К.С. Контроль качества полевых работ / К.С. Орманджи – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.

61. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / П.М. Василенко // Сборник трудов по земледельческой механике. – М., 1954. – Т.2. – С. 73 – 93.
62. Тракторні властивості навісного культиваторного агрегату з трактором Т-150К / С.П. Пожидаєв, П.Г. Ляшенко, О.О. Юшин, С.Ф. Голубчик, М.С. Єфименко, А.Д. Левітанус // Вісник сільськогосподарської науки. - 1980.-№11.- С. 31 – 35.
63. Пожидаєв С.П. До питання про вибір показника для оцінки на прямолінійності рядків просапних культур / С.П. Пожидаєв // Вісник сільськогосподарської науки. – 1980. – №11. – С. 61-64.
64. Дворцов Е.Ф. Оценка управляемости тракторов / Е.Ф. Дворцов // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1960. – №3. – С. 8 – 11.
65. Астафьев В.Л. Повышение точности обработки рядков пропашных культур: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Л. Астафьев ; Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Челябинск, 1989. – 16 с.
66. Гячев Л.В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л.В. Гячев. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та. – 1976. – 192 с.
67. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / Л.В. Гячев. – М.: Машиностроение. – 1981. – 206 с.
68. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – Л.: Колос. – 1970. – 376 с.
69. Фортуна В.И. Оптимальная скорость агрегата при междурядной обработке / В.И. Фортуна // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства.- 1961. – №6. – С. 18 – 21.
70. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. – М.: ГИТТЛ, 1950. – 195 с.
71. Бартаханов Г.Б. Исследование устойчивости движения и управляемости колесного агрегата в условиях эксплуатации / Г.Б. Бартаханов // Научные основы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. – М., 1965.– С. 57 – 65.
72. Возняк В.Н. Исследование устойчивости движения и управляемости машинно-тракторного агрегата при междурядной обработке пропашных культур на повышенных скоростях: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Н. Возняк. – Ставрополь, 1970. – 25 с.
73. Завалишин Ф.С. Устойчивость и управляемость машинно-тракторного агрегата с позиции технологической надежности / Ф.С. Завалишин, Г.Л. Акимов, Н.П. Миляев // Научные труды Воронежского СХИ. – Воронеж, 1978. – Т.101. – С.12 – 20.
74. Фортуна В.И. Технология механизированных сельскохозяйственных работ / В.И. Фортуна В.И., С.К. Миرونюк. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 304 с.
75. Пожидаєв С.П. Дослідження точності руху просапного агрегату на базі трактора Т-150К / С.П. Пожидаєв, Г.В. Шкарівський // Механізація та електрифікація сільськогосподарства. – К., 1992. – Вип. 75. – С. 12 – 16.
76. Каспаров Б.М. Об устойчивости прямолинейного движения управляемых колесных навесных сельскохозяйственных агрегатов / Б.М. Каспаров // Труды ВИМ. – М., 1972. – Т.60. – С. 50 – 56.

77. Калоев А.В. Основы проектирования систем автоматического вождения самоходных машин / А.В. Калоев. – М.: Машиностроение. – 1978 – 152 с.
78. Саакян Д.Н. Контроль качества механизированных работ в полеводстве / Д.Н. Саакян. – М.: Колос. – 1973. – 264 с.
79. Миляев Н.П. Влияние технического состояния ходовой части на устойчивость и управляемость тракторного агрегата / Н.П. Миляев // Труды Пермского СХИ. – Пермь, 1976. – Т.122. – С. 50 – 58.
80. Коновалов В.Ф. Устойчивость и управляемость машинно-тракторных агрегатов / В.Ф. Коновалов. – Пермь: Пермск. кн. изд-во. – 1969. – 409 с.
81. Коденко М.Н. Динамика управления движением гусеничных тракторов / М.Н. Коденко. – Х.: Вища школа. – 1983. – 128 с.
82. Пожидаєв С.П. Обґрунтування вимог до тракторних властивостей посівного та просяного агрегатів / С.П. Пожидаєв // Вісник сільськогосподарської науки. – 1983. – №4. – С. 22 – 25.
83. Баев И.В. Обоснование критериев устойчивости движения сельскохозяйственных машин и агрегатов в горизонтальной плоскости / И.В. Баев // Труды УСХА. – К., 1986. – С. 44 – 54.
84. Чорна Т.С. Частотно-дисперсійний показник оцінки непрямолінійності рядків просяних культур / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто, А.І. Панченко // Праці ТДАТА. – Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія, 2007. – Вип.7, т.1. – С. 240 – 243.
85. Чорна Т.С. Використання комп'ютерної техніки у навчальному процесі / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто // Наука і методика. – К. – №11. – 2007. – С. 43 – 46.
86. Чорна Т.С. Використання частотно-дисперсійного показника оцінки непрямолінійності рядків просяних культур / Т.С. Чорна // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12(2). – С. 108 – 113.
87. Черная Т.С. Частотно-дисперсионный показатель оценки непрямолинейности рядов просяных культур / Т.С. Черная, В.Т. Надикто В.Т., О.П. Назарова // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – №8. – С. 15 – 17.
88. Чорна Т.С. Частотно-дисперсійний показник оцінки непрямолінійності рядків просяних культур / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто // Праці ТДАТУ – Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2009. – Вип. 9, т.2. – С. 49 – 55.
89. Мельников А.А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Мельников. – М.: Академия. – 2003. – 280 с.
90. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: учеб. пособие для вузов / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2004. – 640 с.
91. Зайдель А.И. Элементарные оценки ошибок измерения./А.И. Зайдель. – Л.: Наука, 1967. – 88 с.
92. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.

93. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: КолосС, 2004. – 504 с. (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).

94. Яровой В.Г. Исследование бокового увода тракторных шин и его влияние на некоторые показатели криволинейного движения агрегата: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Г. Яровой ; ХИМЕСХ. – Харьков, 1970. – 21 с.

95. Габай Е.В. Математическая модель и анализ качества управления направлением движения МТА с рассредоточенными по ширине захвата активными колесами. // Научные основы создания мобильных энерготехнологических средств (МЭС) / Е.В. Габай. – М.: НАТИ. – 1983. – С. 28 – 35.

96. Хвостов В.А. Динамика самоходного трехосного агрегата для пропашных культур / В.А. Хвостов, Н.В. Позов // Тракторы и сельхозмашины.- 1987.- №4. –С. 12 – 15.

97. Лурье А.И. Курс теоретической механики / А.И. Лурье, Л.Г. Лойцянский. – М.: Технико-теоретическая литература. – 1955. – Т. 2. – 596 с.

98. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М.: Наука, 1968. – 480 с.

99. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / А.Б.Лурье, И.С.Нагорский, В.Г.Озеров [и др.] – Л.: Колос. – 1979. – 312 с.

100. Справочник по элементарной математике. Геометрия, тригонометрия, векторная алгебра / под ред. Фильчакова П.Ф. – К.: Наукова думка, 1966. – 442 с.

101. Чорна Т.С. Математична модель асиметричного просапного агрегату / Т.С. Чорна // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2008. – Вип. 8, т.2.- С. 136 – 146.

102. Бородин И.Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И.Ф. Бородин, Н.И. Кирилин. – М.: Колос. – 1977. – 328 с. (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

103. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов. – М.: Наука. – 1979. – 255 с.

104. Клюев А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Клюев. – М.: Высш. шк.. – 1986. – 351 с. (Учеб. для сред. спец. учеб. заведений).

105. Гельфенбейн С.П. Основы автоматизации сельскохозяйственных агрегатов / С.П. Гельфенбейн. – М.: Колос. – 1975. – 370 с.

106. Чорна Т.С. Аналіз динаміки горизонтальних коливань асиметричних просапних агрегатів / Т.С. Чорна // Праці ТДАТУ. – Вип. 9 Т.4. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2009. – С. 138 – 145.

107. Росляков В.П. Динамика колесных машинно-тракторных агрегатов при случайных возмущениях: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.П. Росляков. – Ереван, 1971. – 48 с.

108. Фролов С.В. Курс высшей математики / С.В. Фролов, Р.Я. Шостак. – М.: Высшая школа. – 1966. – 264 с.

109. Калинов А.Я. Модель бокового взаимодействия колеса с деформируемой поверхностью качения / А.Я. Калинов, А.В. Черницер // Тракторы и сельхозмашины.- 1980.- №6. – С. 15-18.

110. Тракторы. Теория: учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» / В.В.Гуськов, Н.Н.Велев, Ю.Е.Атаманов [и др.] – М.: Машиностроение. – 1988. – 376 с.
111. Соотношение коэффициента увода и поперечной жесткости эластичной пневмошины / И.В. Ходес, И.А. Долгов, М.В. Бондаренко // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 2006.- №3. – С. 10 – 12.
112. Надикто В.Т. До питання визначення коефіцієнта буксування рушіїв трактора / В.Т.Надикто, В.М.Мітін // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2003.- Вип. 11. - С.23-26.
113. Клейнман Г.Т. Оценка погрешности записи осциллограмм / Г.Т. Клейнман // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. – №11. – С.54 – 56.
114. Чорна Т.С. Вплив схеми агрегування просапного МТА на базі трактора ХТЗ-120 на тракторні показники його роботи / Т.С. Чорна // Праці ТДАТА. – Мелітополь: Таврійська державна агротехнічна академія, 2006. – Вип. 35 – С. 133 – 138.
115. ГОСТ 24055 – 88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения. – Взамен ГОСТ 24055 – 80.-[Введ. 01.01.89.] – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
116. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – Зі скасуванням в Україні ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23729-88, ГОСТ 23730-88.- [Чинний від 01.01.06.] – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 16 с.
117. Економічний довідник аграрника / В.І. Дробот, Г.І. Зуб, М.П. Кононенко [та ін.]; за ред. Ю.Я. Лузапа, П.Я. Саблука. – К.: Преса України. – 2003. – 800 с.
118. Типові норми виробітку і витрачання палива на механізовані польові роботи / Держагропром УРСР, Центр. нормат.-досл. ст. з праці Держагропрому УРСР. – К.: Урожай, 1991. – 472 с. (Літ. Для каб. економіста).
119. Сосновська О.О. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень в рослинництві: навч. посібник / О.О. Сосновська, П.П. Ярошенко, М.В. Іванюта. – К.: Центр навчальної літератури. – 2006. – 384 с.
120. Циков В.С. Кукурудза: технологія, гібриди, семена / В.С. Циков. – Днепропетровск: Заря. – 2003. – 296 с.
121. Вольф В.Г. Подсолнечник / В.Г. Вольф. – К.: Урожай. – 1972. – 228 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСІВНИХ МТА	4
1.1. Тенденції розвитку агрегатів для сівби просапних культур на базі колісних енергетичних засобів.....	4
1.2. Аналіз способів оцінювання стійкості та керованості робочого руху посівних агрегатів.....	16
Висновки по розділу	21
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ПОСІВНОГО МТА	23
2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при моделюванні коливань посівного агрегату в горизонтальній площині	23
2.2. Математична модель руху асиметричного посівного агрегату	25
2.3. Результати перевірки отриманої моделі на адекватність	37
2.4. Методика теоретичного аналізу динаміки руху посівного агрегату на базі орно-просапного трактора у горизонтальній площині.....	38
2.5. Оцінка впливу схеми, конструктивних та технологічних параметрів посівного агрегату на керованість його руху	41
2.6. Аналіз стійкості руху асиметричного посівного агрегату	46
Висновки по розділу	48
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МТА	49
3.1. Об'єкти експериментальних досліджень	49
3.2. Вимірювальні параметри, застосовані прилади та обладнання.....	52
3.4. Методика перевірки математичної моделі на адекватність	59
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МТА ДЛЯ СІВБИ І МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР	60
4.1. Оцінка впливу асиметричного приєднання знаряддя на траєкторні показники посівного агрегату	60
4.2. Розробка критерію оцінювання прямолінійності сходів просапних культур.....	62
4.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка асиметричного посівного агрегату	66
4.4. Оцінка якості роботи асиметричного агрегату для міжрядного обробітку сходів просапної культури.....	71
Висновки по розділу	73
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПОСІВНОГО МТА.....	74
Висновки по розділу	79
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	82

Наукове видання

Чорна Тетяна Сергіївна

**ОСОБЛИВОСТІ АГРЕГАТУВАННЯ ПОСІВНОГО
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ
НА БАЗІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ТРАКТОРА
ПРИ ВИРОЩУВАННІ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР
В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ**

Монографія

Підписано до друку 03.02.2016 р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 5,35.
Наклад 300 прим. Зам. № 1125.

ТОВ «Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні»
Св. ДК №1509 від 26.09.2003р.
72312, м. Мелітополь, вул. К. Маркса, 21/23.
т.: (06192) 6-55-16.

Надруковано ПП Скребейко П.В.

