

Національна академія аграрних наук України
Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

КЮРЧЕВ Володимир Миколайович

УДК 631.37 + 631.3.00.65

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
АГРЕГАТУВАННЯ ОРНО-ПРОСАПНИХ ТРАКТОРІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Глеваха – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор, академік НААН України, Заслужений винахідник України **Булгаков Володимир Михайлович**, Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри механіки та опору матеріалів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Мироненко Валентин Григорович**, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, заступник директора з наукової роботи

доктор технічних наук, професор **Пастухов Валерій Іванович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри сільськогосподарських машин

доктор технічних наук, професор **Свірень Микола Олександрович**, Кіровоградський національний технічний університет, завідувач кафедри сільськогосподарського машинобудування

Захист відбудеться «2» квітня 2015 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 27.358.01 в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України за адресою: 08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України за адресою: 08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11

Автореферат розісланий «28» лютого 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.П. Погорілий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні сільське господарство нині виступає основною рушійною силою всієї економіки. Тому держава повинна мати чітку тракторну політику, організаційну основу якої складає типаж тракторів.

Із формально існуючого нині типорозмірного ряду енергетичних засобів для ефективного вирощування сільськогосподарських культур на півдні країни потрібні універсально-просапні трактори тягового класу 2 і енергетичні засоби загального призначення тягового класу 3.

Нині в нашій країні зазначених універсально-просапних тракторів немає. Через це сільгоспвиробники змушені зі значними для себе збитками реалізовувати менш ефективний комплекс машин на основі універсально-просапних енергетичних засобів тягового класу 1,4.

Вітчизняні колісні енергетичні засоби тягового класу 3 створюють суттєві проблеми при їх використанні на вирощуванні просапних культур. Для агрегування з плугами вони є мало привабливими, оскільки мають відносно велику колію і широкі шини. Технологічні властивості тракторів цього класу також досить обмежені, оскільки вони не мають переднього навісного механізму, переднього валу і інших систем відбору потужності, реверсивного посту керування тощо.

Найбільш привабливими є енергетичні засоби, які можуть практично з однаковою ефективністю використовуватися як на операціях основного і поверхневого обробітку ґрунту, так і на вирощуванні зернових колосових та просапних культур. Згідно із запропонованим нами визначенням щодо призначення це мають бути орно-просапні колісні енергетичні засоби з такими технологічними властивостями, які забезпечують їм високу універсальність практичного застосування.

Вітчизняною промисловістю освоєно виробництво тракторів сімейства ХТЗ-160, які потенційно відповідають цим вимогам. Поєднавши в одній конструкції тягово-зчіпні показники трактора тягового класу 3 і параметри ходової системи тракторів класу 2, вони обладнані фронтальними навісним механізмом і валом відбору потужності, реверсивними трансмісією і постом керування тощо. Це створює передумови реалізації на їх основі нових перспективних широкозахватних і комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА).

Водночас, ефективна практична реалізація потенційних технологічних властивостей орно-просапних тракторів нині відсутня. Внаслідок цього сільськогосподарське виробництво країни відчуває нестачу високопродуктивних, енергоощадних та екологічно безпечних машинно-тракторних агрегатів.

Обумовлена цим несвоєчасність та низька техніко-економічна ефективність виконання технологічних операцій тих чи інших технологій вирощування сільськогосподарських культур породжує народногосподарську проблему. Проте її розв'язання практично неможливе без вирішення відповідної науково-технічної проблеми. Суть її полягає в розробленні системи ефективного агрегування орно-просапних тракторів з широкими технологічними властивостями.

Відома нині методологія вибору конструктивних схем, обґрунтування параметрів та режимів роботи широкозахватних і комбінованих машинно-тракторних агрегатів на основі серійних енергетичних засобів практично не підходить для розв'язання вищезазначеної науково-технічної проблеми.

Конструктивно-технологічні особливості орно-просапних тракторів вимагають розробки принципово іншої системи їх агрегування. Використання потенційних технологічних властивостей цих енергетичних засобів для розв'язання проблеми забезпечення сільськогосподарського виробництва України високопродуктивними, енергоощадними та екологічно безпечними машинно-тракторними агрегатами – є науковою гіпотезою даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались у Таврійському державному агротехнологічному університеті за державною програмою «Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України» (2000-2010 рр., №№ державної реєстрації 0106U001219 і 0107U008957), державною програмою «Розробити адаптовані до умов півдня України енергоощадні технології і комплекси машин на основі нових енергетичних засобів» (2011-2014 рр. № державної реєстрації 0111U002562) та господарчим договором за №1-2009 від 28.04. 2009 р. з публічним акціонерним товариством «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є покращення техніко-експлуатаційних показників роботи МТА на основі орно-просапних тракторів шляхом розроблення і впровадження основ їх агрегування.

Задачі дослідження:

- провести аналіз сучасного стану досліджень використання технологічних властивостей мобільних енергетичних засобів при їх агрегуванні із сільськогосподарськими машинами та знаряддями;
- розробити методику оцінки технологічних властивостей орно-просапних тракторів з урахуванням їх конструктивних особливостей і універсальності застосування;
- розробити теорію плоско-паралельного руху комбінованих та асиметричних машинно-тракторних агрегатів і оцінити вплив їх схем, конструктивних параметрів та режимів роботи на керованість і стійкість у горизонтальній площині;
- розробити математичні моделі функціонування МТА в поздовжньо-вертикальній площині і на їх основі дослідити вплив кінематичних і силових параметрів орно-просапного трактора та фронтальних і агрегованих ззаду машин/знарядь на динаміку руху агрегатів;
- дослідити вплив конструктивних параметрів МТА на їх поворотність та величину кінематичної невідповідності в приводі ходової системи орно-просапного трактора;
- оцінити технічну здійсненність і виробничу ефективність застосування орно-просапних тракторів у колійній системі землеробства;
- провести експлуатаційно-технологічні дослідження і здійснити техніко-економічну оцінку комбінованих та широкозахватних агрегатів на базі орно-просапних тракторів;
- розробити науково-обґрунтовані рекомендації з вибору схем і параметрів МТА на базі орно-просапних тракторів, які забезпечують високі експлуатаційно-технологічні показники їх роботи.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування комбінованих та широкозахватних машино-тракторних агрегатів на основі орно-просапних тракторів як динамічних та технологічних систем.

Предмет дослідження – закономірності впливу схем та конструктивних параметрів машинно-тракторних агрегатів на ефективність агрегування орно-просапних тракторів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження, синтез конструктивних схем, параметрів і режимів роботи комбінованих та високопродуктивних МТА на основі тракторів з широкими технологічними властивостями здійснювали шляхом моделювання на ПЕОМ умов їх функціонування. В основу методів дисертаційного дослідження покладено положення теоретичної механіки, теорії трактора, статистичної динаміки та теорії автоматичного регулювання лінійних динамічних систем при відтворенні ними статистично випадкових керуючих та збурювальних вхідних впливів. Технологічну ефективність орно-просапних тракторів оцінювали методами теорії інженерного прогнозування.

Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і за розробленими методиками і передбачали використання сучасного тензометричного, навігаційного та відеознімального обладнання. Оброблення дослідних даних здійснювали на ПЕОМ із застосуванням теорії імовірності, регресійного, а також кореляційно-спектрального аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів.

Виведено нову аналітичну залежність, яка дозволяє визначити кількісну оцінку технологічної універсальності орно-просапних тракторів при їх комбінованому агрегуванні із фронтальними та задньоавісними і причіпними машинами /знаряддями.

Дістали подальший розвиток диференціальні рівняння плоско-паралельного руху комбінованих і асиметричних машинно-тракторних агрегатів на основі орно-просапного трактора, які дозволяють здійснювати достовірне обґрунтування нових схем, конструктивних параметрів та режимів роботи МТА з огляду на їх прийнятну керованість і стійкість руху у горизонтальній площині.

Розроблено нові математичні моделі функціонування комбінованих МТА у поздовжньо-вертикальній площині, застосування яких дозволяє підвищити плавність руху агрегатів з урахуванням кінематичних і силових взаємозв'язків орно-просапного трактора із фронтальними та задньоагрегованими машинами/знаряддями.

На підставі складених нових рівнянь руху МТА на поворотній смузі вперше встановлено закономірності впливу конструктивних параметрів машин/знарядь і орно-просапного трактора на показники його повороту.

Одержано нові аналітичні залежності, які дозволяють обґрунтувати вибір конструктивних параметрів переднього навісного механізму орно-просапного трактора і зчіпних пристроїв фронтальних машин/знарядь, що з ним агрегуються.

Вперше запропоновано новий показник оцінки кінематичної невідповідності в приводі переднього і заднього мостів орно-просапного трактора, який, на відміну від відомих, пов'язує дійсні значини вертикального навантаження рушіїв з їх конструктивними параметрами, забезпечуючи при цьому мінімальний шкідливий вплив ходової системи енергетичного засобу на ґрунт.

Дістали подальший розвиток наукові аспекти обґрунтування схем і конструктивних параметрів машинно-тракторних агрегатів на базі орно-просапних енергетичних засобів при реалізації ними принципово нових технологій вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії та смугового основного обробітку ґрунту.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати досліджень автора з розробки системи агрегування орно-просапних тракторів впроваджені Міністерством аграрної політики України (2005 р.) та Державною установою Науково-методичний центр інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності вищих навчальних закладів «Агроосвіта» (2013 р.).

Практичні рекомендації ефективного використання орно-просапних тракторів сімейства ХТЗ-160 впроваджені Публічним акціонерним товариством «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» при розробці тракторів сучасного технічного рівня і формуванні системи машин і знарядь (у т.ч. і фронтальних), призначених для агрегування із вказаними енергетичними засобами.

На підставі отриманих результатів досліджень під керівництвом автора виготовлені і у господарствах Запорізької області на площі більше 1500 га успішно застосовані широкозахватні та комбіновані МТА на основі орно-просапних тракторів сімейства ХТЗ-160: жнивально-луцильний (ХТЗ-16131+ЖВН-6Б+БДН-3), посівний (ХТЗ-16131+12-и рядна сівалка «Optima»), просапний (ХТЗ-16131+КРН-8,4), силосозбиральний (ХТЗ-16131+КСС-2,6), орно-подрібнювальний (ХТЗ-16131+ППР-1,5+ПЛН-4-35), боронувальний (ХТЗ-16131 зі здвоєними шинами + СГ-21), орний (ХТЗ-16131+ПЛН-5-35), дискувально-чизельний (ХТЗ-16132 + БДН-3+ПЧ-2,5).

Основні положення виконаного дослідження використані в навчальному процесі, зокрема в Таврійському державному агротехнологічному (м. Мелітополь) і Дніпропетровському державному аграрно-економічному університетах, де протягом останніх 5 років викладаються в межах дисципліни «Машиновикористання в землеробстві».

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методики оцінювання технологічної універсальності орно-просапних тракторів [7, 17–19], математичних моделей руху комбінованих МТА в горизонтальній та поздовжньо-вертикальній площинах [1, 2, 6, 22], виведенні нового показника кінематичної невідповідності в приводі мостів орно-просапного трактора [32], розробці і практичній реалізації схем агрегування комбінованих МТА [1, 2, 3, 5, 16, 21, 25–27, 28, 30, 36–39], розробці методик експериментальних досліджень і методів оброблення отриманих результатів [10, 13, 23, 31], розробці рекомендацій з вибору оптимальних конструктивних та кінематичних параметрів агрегатів на основі орно-просапних тракторів [1, 2, 8, 9, 11, 12, 14, 20, 24, 29, 33–35, 40]. Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві працях складає до 75%, а в охоронно-правових документах – до 90%.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи викладені в доповідях на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях Таврійського ДАТУ (2003–2014 рр.), на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях ННЦ «ІМЕСГ» НААН України (2005–2013 рр.), на міжнародних науково-технічних конференціях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого (2007–2013 рр.), на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячених дню народження академіка П.М. Василенка (2004–2014 рр.), на XII інтернаціональному симпозіумі «Екологічні аспекти механізації вирощування культур» (Польща, 2006), на міжнародній науково-практичній конференції Білоруського державного аграрного технічного університету (Мінськ, 2012), в болгарській асоціації аграрних інженерів (Варна, Болгарія, 2013), на міжнародному семінарі, присвяченому 110 річниці від дня народження В.М. Болтінського (Росія, 2014).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 43 наукових працях, серед яких 2 монографії, 23 статті у фахових виданнях, 4 закордонні публікації, 5 тез доповідей, 5 патентів на винаходи і 1 патент на науковий твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків і пропозицій, списку літератури та додатків. Дисертація викладена на 377 сторінках машинопису і включає 34 таблиці та 186 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз проблеми та постановка задач досліджень» встановлено, що сучасні енергетичні засоби, до яких відносяться орно-просапні трактори, характеризуються високими потенційними технологічними властивостями. Їх реальна придатність до практичного використання у тому чи іншому технологічному процесі оцінюється відповідними показниками універсальності застосування. Питаннями розробки цих показників досить ґрунтовно займалися такі відомі вчені, як Кутьков Г.М., Євтенко В.Г., Яцкевич В.В., Лисенко О.М., Петров Г.Д., Хвостов В.А., Шкарівський Г.В. та інші. Д.т.н. Кутьков Г.М. запропонував такий показник, який у сукупності найбільш органічно представляє трактор як технологічний об'єкт, а не тільки як джерело енергії та тягової сили.

Водночас, покладена в основу запропонованого показника універсальності застосування енергетичного засобу методика комплексного оцінювання його технологічних властивостей є досить складною. Опанування нею передбачає ґрунтовне знання як регресійного аналізу, так і теорії матричного числення.

З урахуванням цього виникла потреба в розробці більш простих методів оцінювання функціональних властивостей орно-просапних тракторів як бази для створення сімейства перспективних комбінованих (КМТА) та широкозахватних МТА. Пошук шляхів практичного впровадження потенційно можливих схем КМТА на основі орно-просапних тракторів здійснювали в своїх дослідженнях Євтенко В.Г., Надикто В.Т., Погорілий Л.В., Юшин О.О., Мироненко В.Г., Кравчук В.І., Черепухін В.Д., Недовесов В.І., Лебедев А.Т., Пащенко В.Ф., Самородов В.Б., Пастухов В.І. та ін.

Зробивши певний внесок у розробку системи агрегування цих енергетичних засобів, попередники не розробили відповідної методології обґрунтування схем параметрів та режимів роботи комбінованих МТА за перспективною схемою «push-pull», виходячи із предметного аналізу стійкості, керованості, повороткості та плавності їх робочого руху.

Встановлено, що математичні моделі функціонування машинно-тракторних агрегатів, розроблені свого часу Василенком П.М., Габаєм Є.В., Кутьковим Г.М., Булгаковим В.М., Надиктом В.Т., Рославцевим А.В., Гячевим Л.В., Фаробіним Я.Є., Лур'є А.Б., Бартахановим Г.Б., Волковим Б.Г., Тарасиком В.П. та ін. не можуть бути використаними для розв'язання зазначеної проблеми. Переважно через наявність і специфіку агрегування фронтальних машин і знарядь.

Підвищений тиск рушіїв орно-просапних тракторів на ґрунт змушує шукати нові ефективні шляхи розв'язання цієї проблеми. Прикладами тих із них, які свого часу досліджувалися Черепухіним В.Д., Медведєвим В.В., Улексіним В.О., Yuxia L, Tullberg J., Freebairn D., Taylor J., Williford J., Татибер Й., Ziebarth P., Євтушен-

ком В.О., Жолобецьким Г.І. та ін., є впровадження колійної системи землеробства, застосування смугового обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур тощо.

Водночас, методичні підходи щодо обґрунтування схем, параметрів і режимів роботи МТА на основі орно-просапних енергетичних засобів при їх застосуванні у таких технологічних варіантах виявилися не до кінця вивченими. З урахуванням вищезначених проблем були сформульовані мета і задачі дослідження.

У другому розділі «Теоретичні основи оптимізації параметрів МТА на основі орно-просапного трактора» оцінено його технологічну придатність до роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Для цього запропоновано враховувати максимальну значину показника ($K_{\text{ТП}}$), функціональна залежність якого від технологічних властивостей орно-просапного трактора має наступний вигляд:

$$K_{\text{ТП}} = [4 \cdot G_{\text{ПМ}} / G_{\text{ПШ.маx}} + n_{\text{ПН1}} + n_{\text{ПН2}} + n_{\text{ПН3}} + n_{\text{ПС}} + n_{\text{ЗН1}} + n_{\text{ЗН2}} + n_{\text{ЗН3}} + n_{\text{ЗС}} + 2 \cdot (n_{\text{РТ}} + n_{\text{РП}} + n_{\text{ГЛ}} / n_{\text{ГЛ.маx}} + n_{\text{ГВ}} + E_{\text{Т}} / E_{\text{СТ}} + e_{\text{Л}} / e_{\text{Л.маx}}) + n_{\text{РК}} + T_{\text{РТ}} + N_{\text{АГ}} / N_{\text{АГ.маx}} + (C - 2 \cdot B_{\text{З}}) / B_{\text{К}}] / 28, \quad (1)$$

де $G_{\text{ПМ}}$, $G_{\text{ПШ.маx}}$ – вантажопідйомність переднього навісного механізму (ПНМ) трактора і допустима вантажопідйомність шин його передніх рушіїв відповідно, кН; $n_{\text{ПН1}}$, $n_{\text{ПН2}}$, $n_{\text{ПН3}}$ і $n_{\text{ЗН1}}$, $n_{\text{ЗН2}}$, $n_{\text{ЗН3}}$ – показники наявності режиму роботи переднього і заднього незалежних валів відбору потужності (ВВП) енергетичного засобу; $n_{\text{ПС}}$, $n_{\text{ЗС}}$ – показники наявності режиму роботи переднього і заднього синхронних ВВП; $n_{\text{РТ}}$, $n_{\text{РП}}$ – показники наявності реверсивної трансмісії та реверсивного посту керування; $n_{\text{ГЛ}}$, $n_{\text{ГЛ.маx}}$ – наявність гідравлічних ліній та їх максимальна кількість; $n_{\text{ГВ}}$ – наявність ліній підвищеного гідровідбору; $E_{\text{Т}}$, $E_{\text{СТ}}$ – дійсна та еталонна енергонасиченості трактора, кВт/т; $e_{\text{Л}}$, $e_{\text{Л.маx}}$ – дійсна та допустима значини лівостороннього поперечного зміщення плуга при його агрегуванні з трактором, м; $n_{\text{РК}}$ – показник регулювання (ступінчасте чи безступінчасте) колії трактора; $T_{\text{РТ}}$ – показник виду рами трактора (жорстка чи шарнірно-зчленована); $N_{\text{АГ}}$, $N_{\text{АГ.маx}}$ – дійсна та максимальна значини агротехнічного просвіту трактора, м; C – ширина міжрядь, м; $B_{\text{З}}$ – мінімальна ширина односторонньої захисної зони, м; $B_{\text{К}}$ – ширина колеса трактора, м.

Як показали розрахунки виразу (1), найбільша значина оцінюваного показника $K_{\text{ТП}} = 0,8$ виявилась у орно-просапного трактора серії ХТЗ-160 (ХТЗ-16131, табл. 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку показника $K_{\text{ТП}}$

Трактори	ХТЗ-16131	МТЗ-1523	ЛТЗ-155	Fendt 711 Vario
Значина показника $K_{\text{ТП}}$	0,8	0,78	0,60	0,75

Разом з цим для тракторів сімейства ХТЗ-160 оцінювали показник технічного рівня (K_1), що характеризує об'єкт, який прогнозується по відношенню до аналогічних існуючих вітчизняних зразків. У якості останнього приймали трактор серії ХТЗ-170. Для визначення показника K_1 використовували метод числових параметрів, до яких увійшли: найбільше статичне навантаження на вісь трактора, кН; витрати палива на найбільш енергоємній операції, кг/га; енергонасиченість трактора, кВт/т; номінальне тягове зусилля, кН; відношення колії до номінального тягового зусилля, мм/кН; відношення радіусу повороту трактора до його бази; річне завантаження трактора, год. При цьому, якщо $K_1 > 1$, то вважається, що прогнозоване технічне рішення вище рівня кращих вітчизняних зразків, а тому перспективне для впровадження.

Проведеними розрахунками встановлено, що показник K_1 технічного рівня трактора ХТЗ-16331 становить 1,12. Це дозволяє впевнено прогнозувати, що енергетичні засоби цієї серії за умови розробки відповідної системи їх агрегування можуть знайти широке застосування у сільськогосподарському виробництві.

При агрегуванні орно-просапного трактора першочергову роль відіграють питання його керованості та стійкості руху в складі комбінованих і широкозахватних асиметричних МТА.

Одним із таких розглянуто комбінований жнивально-луцильний агрегат. На рис. 1 наведена його еквівалентна схема, за якої орно-просапний трактор налаштовано на реверсивний хід. Попереду енергетичного засобу жорстко навішено валкову жниварку, а позаду приєднано ґрунтообробне знаряддя з можливістю його поворотів у горизонтальній площині.

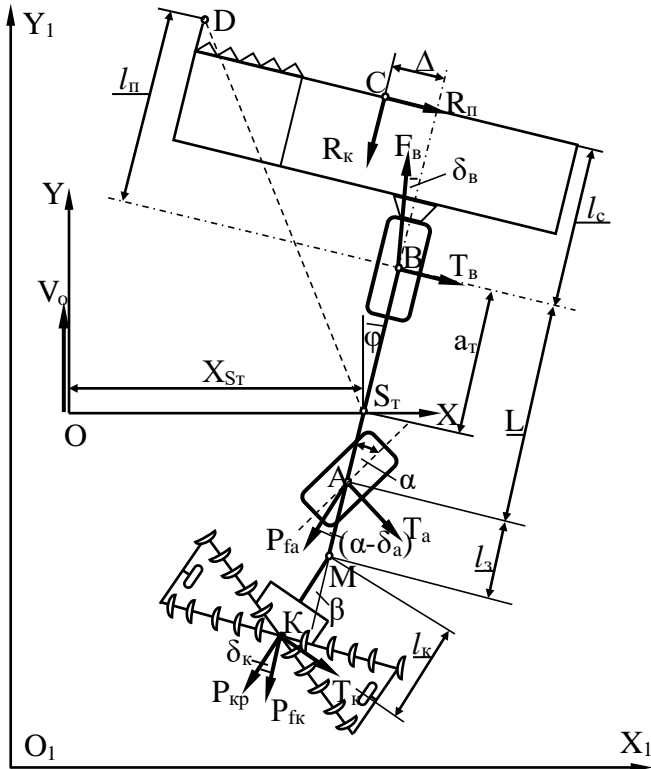


Рис. 1 – Еквівалентна схема жнивально-луцильного МТА

При цьому були зроблені наступні припущення: поверхня поля, зв'язана з нерухомою системою координат $Y_1O_1X_1$, строго горизонтальна, крен та диферент агрегату відсутні; коливання тягового опору використовуваних машин / знарядь не викликають суттєвого впливу на швидкість поступального руху МТА, а тому вона приймається постійною ($V_0 = \text{const}$); кути уводу шин коліс трактора і кути повороту його керованих коліс, розташованих на одній геометричній осі, є малими.

Врахування останнього із вищевикладених припущень дозволило передній і задній мости орно-просапного трактора представити у вигляді «еквівалентних» коліс з центрами у точках В і А (рис. 1).

Для опису руху жнивально-луцильного агрегату в горизонтальній площині використовували рівняння Лагранжу II роду, застосовуючи три узагальнені координати: переміщення X_{St} і кути φ і β .

У диференціальній формі запису математична модель функціонування даного МТА як динамічної системи має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \ddot{X}_{St} + A_{12} \dot{X}_{St} + A_{13} \dot{\varphi} + A_{14} \dot{\beta} + A_{15} \beta &= f_{11} \alpha + f_{12}; \\ A_{21} \ddot{\varphi} + A_{22} \dot{\varphi} + A_{23} \dot{\beta} + A_{24} \dot{X}_{St} + A_{25} \beta &= f_{21} \alpha + f_{22}; \\ A_{31} \ddot{\beta} + A_{32} \dot{\beta} + A_{33} \beta + A_{34} \dot{\varphi} + A_{35} \varphi + A_{36} \dot{X}_{St} &= f_{32}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

У операторній формі запису система рівнянь (2) є такою:

$$\left. \begin{aligned} K_{11} \cdot X_{St}(p) + K_{12} \cdot \varphi(p) + K_{13} \cdot \beta(p) &= F_{11} \cdot \alpha(p) + F_{12} \cdot R_n(p); \\ K_{21} \cdot X_{St}(p) + K_{22} \cdot \varphi(p) + K_{23} \cdot \beta(p) &= F_{21} \cdot \alpha(p) + F_{22} \cdot f_{22}(p); \\ K_{31} \cdot X_{St}(p) + K_{32} \cdot \varphi(p) + K_{33} \cdot \beta(p) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
\text{де } K_{11} &= A_{11} \cdot p^2 + A_{12} \cdot p; & A_{11} &= M_a; \\
K_{12} &= A_{13} \cdot p + A_{14}; & A_{12} &= (k_a + k_b + P_{fa} - F_b) / V_o; \\
K_{13} &= A_{15}; & A_{13} &= \pm [(k_a + P_{fa}) \cdot (L - a_T) + (F_b - k_b) \cdot a_T] / V_o; \\
K_{21} &= A_{24} \cdot p; & A_{14} &= -A_{12} \cdot V_o; \\
K_{22} &= A_{21} \cdot p^2 + A_{22} \cdot p + A_{23}; & A_{15} &= P_{кр}; \\
K_{23} &= A_{25}; & A_{21} &= J_{sT}; \\
K_{31} &= A_{36} \cdot p; & A_{22} &= [(k_a + P_{fa}) \cdot (L - a_T)^2 + (k_b - F_b) \cdot a_T^2] / V_o; \\
K_{32} &= A_{34} \cdot p + A_{35}; & A_{23} &= -A_{13} \cdot V_o; \\
K_{33} &= A_{31} \cdot p^2 + A_{32} \cdot p + A_{33}; & A_{24} &= A_{13}; \\
F_{11} &= f_{11} = k_a; & A_{25} &= \begin{cases} -P_{кр} \cdot (L + l_3 - a_T) - \text{реверсивний рух трактора;} \\ -P_{кр} \cdot (l_3 + a_T) - \text{прямий рух трактора;} \end{cases} \\
F_{12} &= F_{22} = 1; \quad f_{12} = R_{п}; & A_{31} &= J_{sm}; \\
F_{21} &= f_{21} = \pm (L - a_T) \cdot k_a; & A_{32} &= (k_k + P_{fk}) \cdot l_k^2 / V_o; \\
f_{22} &= R_{п} \cdot (a_T + l_c) - R_{кр} \cdot \Delta; & A_{33} &= (k_k + P_{fk}) \cdot l_k; \\
A_{36} &= -A_{33} / V_o; & A_{34} &= (k_k + P_{fk}) \cdot l_k \cdot (L - a_T + l_3) / V_o; \\
p &= d/dt - \text{оператор} & A_{35} &= A_{33}. \\
&\quad \text{диференціювання}
\end{aligned}$$

У системі рівнянь (3) у коефіцієнтів A_{13} і f_{21} знак «+» відповідає прямому, а знак «-» – реверсивному рухову трактора. M_a , V_o – маса (кг) і швидкість руху МТА, м/с; k_a , k_b і k_k – коефіцієнти опору уводу шин трактора і борони, кН/рад.; P_{fa} , F_b – сила опору коченню задніх та рушійна сила передніх коліс трактора, кН; J_{sT} – момент інерції повороту МТА у горизонтальній площині відносно вертикальної осі, яка проходить через точку S_T , кН·м·с²; J_{sm} – момент інерції дискової борони у горизонтальній площині відносно т. М, кН·м·с²; $R_{кр}$, $P_{кр}$ і $R_{п}$, T_k – поздовжні та поперечні складові тягового опору жатки і дискової борони відповідно, кН; P_{fk} – сила опору коченню коліс дискової борони, кН; L , a_T , l_3 , l_c , l_k , Δ – конструктивні параметри МТА, м (рис. 1).

Вхідними змінними в системі рівнянь (2) виступають: керуючий вплив у вигляді кута повороту керованих коліс трактора (α); збурювальний вплив збоку сили $R_{п}$; сумарний збурювальний момент, виражений коефіцієнтом f_{22} .

Вихідними параметрами функціонування такої динамічної системи, якою є жнивально-луцильний агрегат, що розглядається, виступають: 1) поперечне зміщення центру мас трактора (X_{ST}); 2) курсовий кут енергетичного засобу (φ); 3) кут повороту дискової борони (β).

Стійкість та керованість руху цього (а в подальшому – і інших) МТА як слідкуючих динамічних систем оцінювали з допомогою амплітудних (АЧХ) та фазових (ФЧХ) частотних характеристик відпрацювання ними вхідних впливів.

Бажана керованість руху машинно-тракторного агрегату матиме місце тоді, коли амплітуда курсового кута (φ) орного-просапного трактора без запізнення у часі буде дорівнювати амплітуді кута повороту (α) його керованих коліс. Тобто, АЧХ відпрацювання агрегатом керуючого впливу в діапазоні робочих частот має дорівнювати 1, а ФЧХ – 0. Для забезпечення бажаної (або ідеальної) стійкості руху агрегату АЧХ повинно дорівнювати нулю, а ФЧХ – прямувати до нескінченності.

Розрахунок амплітудних і фазових частотних характеристик здійснювали на основі відповідних передаточних функцій. При відпрацюванні жнивально-луцильним агрегатом керуючого впливу така функція $[W_{\alpha\phi}(p)]$ має наступний вигляд:

$$W_{\alpha\phi}(p) = \frac{p \cdot (F_3 \cdot p^3 + F_2 \cdot p^2 + F_1 \cdot p + F_0)}{p^2 \cdot (C_4 \cdot p^4 + C_3 \cdot p^3 + C_2 \cdot p^2 + C_1 \cdot p + C_0)},$$

де

$$F_3 = A_{11} \cdot A_{31} \cdot F_{21};$$

$$F_2 = (A_{11} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31}) \cdot F_{21} - A_{31} \cdot A_{24} \cdot F_{11};$$

$$F_1 = (A_{11} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{32}) \cdot F_{21} - A_{32} \cdot A_{24} \cdot F_{11};$$

$$F_0 = (A_{12} \cdot A_{33} - A_{15} \cdot A_{36}) \cdot F_{21} + (A_{25} \cdot A_{36} - A_{24} \cdot A_{33}) \cdot F_{11};$$

$$C_4 = A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{31};$$

$$C_3 = A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{32} + A_{11} \cdot A_{22} \cdot A_{31} + A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{31};$$

$$C_2 = A_{12} \cdot A_{22} \cdot A_{31} - A_{13} \cdot A_{31} \cdot A_{24} + A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{32} + A_{11} \cdot A_{31} \cdot A_{23} + A_{11} \cdot A_{22} \cdot A_{32} + A_{11} \cdot A_{21} \cdot A_{33};$$

$$C_1 = A_{11} \cdot A_{22} \cdot A_{33} + A_{11} \cdot A_{23} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{21} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{22} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{31} \cdot A_{23} -$$

$$- A_{13} \cdot A_{32} \cdot A_{24} - A_{31} \cdot A_{14} \cdot A_{24} - A_{11} \cdot A_{25} \cdot A_{34} - A_{21} \cdot A_{15} \cdot A_{36};$$

$$C_0 = A_{13} \cdot A_{25} \cdot A_{36} + A_{15} \cdot A_{24} \cdot A_{34} - A_{22} \cdot A_{15} \cdot A_{36} - A_{12} \cdot A_{25} \cdot A_{34} - A_{11} \cdot A_{25} \cdot A_{35} -$$

$$- A_{14} \cdot A_{32} \cdot A_{24} - A_{13} \cdot A_{24} \cdot A_{33} + A_{12} \cdot A_{23} \cdot A_{32} + A_{12} \cdot A_{22} \cdot A_{33} + A_{11} \cdot A_{23} \cdot A_{33}.$$

Аналіз результатів математичного моделювання показав, що характер відпрацювання керуючого впливу жнивально-луцильним агрегатом при прямому ходові трактора і шарнірному приєднанні дискової борони залежить від швидкості його робочого руху. У реальних умовах експлуатації її бажано витримувати близькою до 3 м/с.

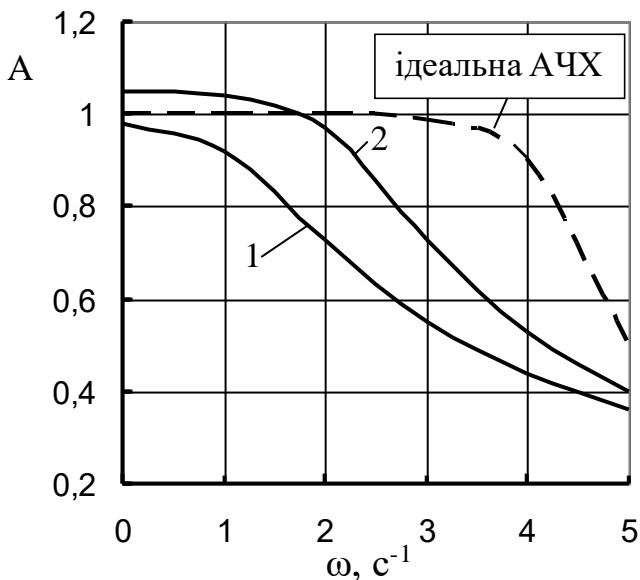


Рис. 2 – АЧХ відпрацювання агрегатом керуючого впливу при шарнірному (1) та жорсткому (2) приєднанні дискової борони

трактора практично відповідає бажаній (або ідеальній) у більш широкому діапазоні частот коливань керуючого впливу: $0 \dots 2 \text{ с}^{-1}$ (крива 2, рис. 2).

Кількісний вплив коефіцієнтів уводу шин передніх і задніх рушіїв орно-просапного трактора на керованість руху жнивально-луцильного МТА можна вважа-

Інтенсивність (частота) впливу на кермо трактора має бути при цьому якомога меншою (знаходиться в діапазоні $0 \dots 1 \text{ с}^{-1}$). У результаті динамічна система буде досить точно відтворювати керуючий вплив у вигляді кута повороту керованих коліс енергетичного засобу.

Значно кращу керованість руху жнивально-луцильного МТА можна забезпечити за жорсткого приєднання дискової борони до трактора. Як показують розрахунки, в цьому випадку майже на 11% зростає маса агрегату і на 44% – його момент інерції в горизонтальній площині. У результаті амплітудно-частотна характеристика відпрацювання даним комбінованим агрегатом кута повороту керованих коліс

ти незначним, причому, як за прямого, так і за реверсивного налаштування орно-просапного трактора.

Такий варіант налаштування енергетичного засобу на реверсивний рух погіршує керованість руху усього агрегату. Точність відпрацювання динамічною системою керуючого впливу при цьому значно менша (крива 1, рис. 3а), ніж при русі трактора прямим ходом (крива 2, рис. 3а).

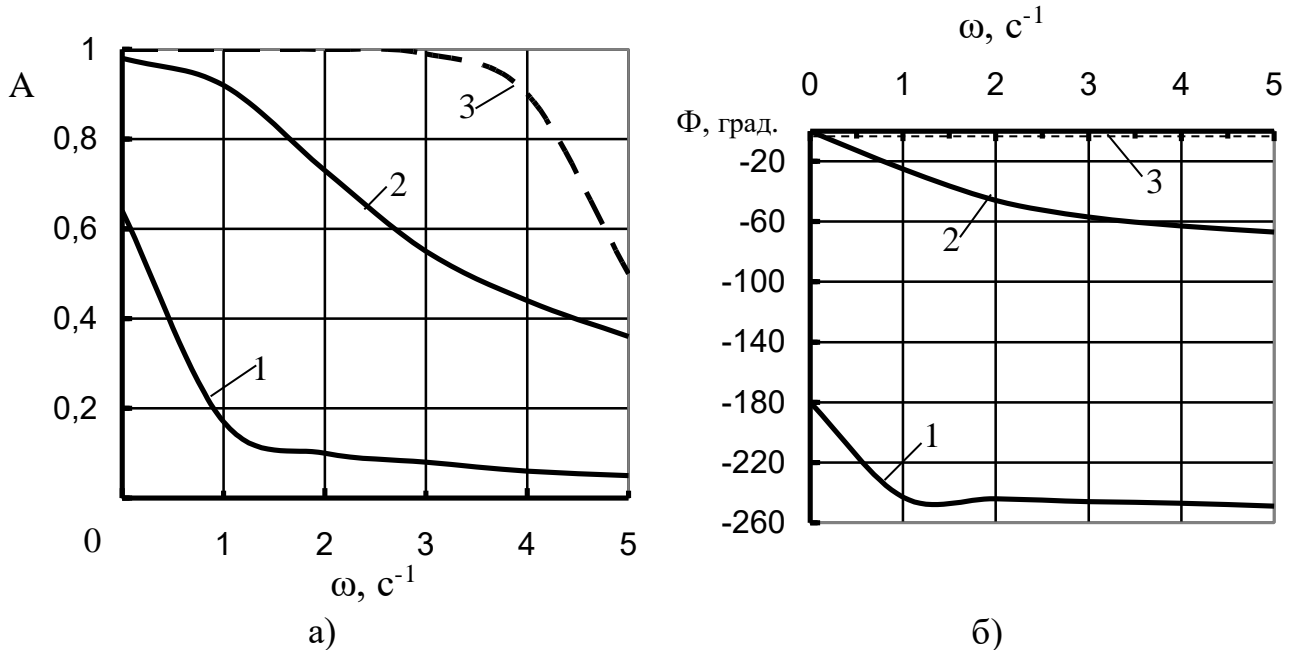


Рис. 3 – Амплітудні (а) та фазові (б) частотні характеристики відпрацювання жнивтарно-луцильним агрегатом керуючого впливу при налаштуванні трактора на реверсивний (1) та прямий (2) рух: 3 – ідеальні АЧХ і ФЧХ

Значно більшим, що небажано, є і запізнення реакції МТА на вхідний сигнал. За частоти його коливань, близькій до нуля, фазовий зсув становить 180° . Практично це означає, що за реверсивного налаштування трактора у складі жнивтарно-луцильного машинно-тракторного агрегату останній повністю реагує на керуючий сигнал тільки через 3 с. Більше того, при оцінюванні стійкості руху такого МТА встановлено, що характер відпрацювання ним збурювальних впливів (кута повороту дискової борони, коливань розворотних моментів тощо) теж гірший.

Звідси вимальовується однозначний висновок, що для забезпечення задовільної керованості і стійкості руху у горизонтальній площині орно-просапний трактор у агрегаті із фронтальною жнивтаркою і жорстко-приєднаною бороною бажано налаштувати на прямий хід.

Серед асиметричних широкозахватних МТА на основі орно-просапного трактора найбільш типовим є агрегат для сівби (і міжрядного обробітку) просапних культур. За колії 2100 мм симетричне агрегування просапної сівалки призводить до того, що два її сошники попадають безпосередньо у сліди рушіїв трактора типу ХТЗ-160. Для експлуатування цього енергетичного засобу з серійними просапними сівалками та культиваторами без зміни колії 2100 мм розроблено відповідний зчіпний пристрій. При його використанні агрегована машина зміщується відносно поздовжньої осі симетрії енергетичного засобу на $\Delta = 35$ см (рис. 4).

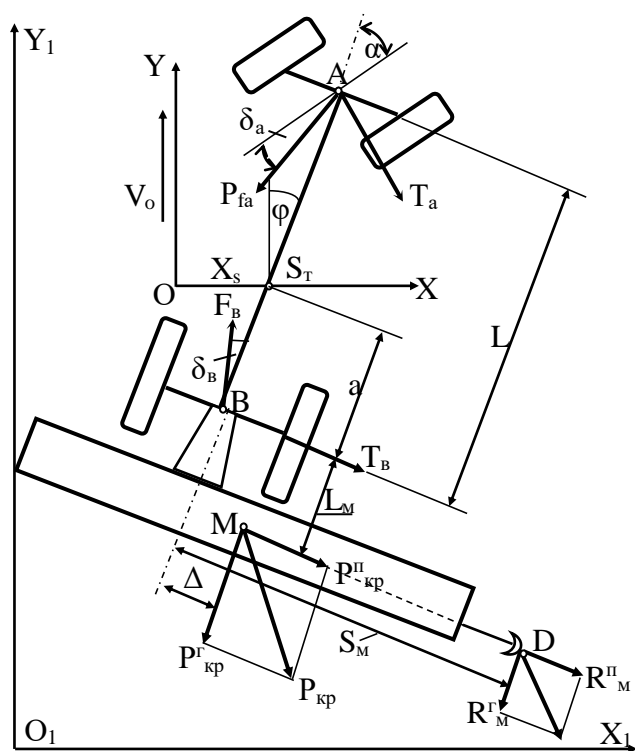


Рис. 4 – Еквівалентна схема асиметричного посівного МТА

У результаті унеможлиблюється розміщення висівних секцій просапної сівалки по колії трактора і рух останнього по рядках культурних рослин під час міжрядного обробітку.

Для оцінювання асиметричного агрегування сівалки на стійкість та керованість руху посівного МТА розроблено математичну модель з урахуванням усіх основних сил, які діють на агрегат в горизонтальній площині.

До числа зовнішніх чинників, що діють на посівний агрегат, входять: рушійна сила тяги заднього моста трактора (F_B) і сила опору коченню коліс його переднього моста (P_{fa}); поздовжня ($R_{кр}^р$) і поперечна ($P_{кр}^п$) складові тягового опору сівалки; поздовжня ($R_M^р$) і поперечна ($R_M^п$) складові тягового опору маркера; бокові сили T_a і T_b , зосереджені відповідно в точках А і В (див. рис. 4).

Математична модель посівного агрегату на базі орно-просапного трактора в диференціальній формі запису має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \cdot \ddot{X}_s + A_{12} \cdot \dot{X}_s + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi &= f_{11} \cdot \alpha + f_{12}; \\ A_{21} \cdot \dot{\varphi} + A_{22} \cdot \varphi + A_{23} \cdot \dot{\varphi} + A_{24} \cdot \dot{X}_s &= f_{21} \cdot \alpha + f_{22}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $A_{11} = M_a$;

$$A_{12} = (k_a + k_b + P_{fa} - F_B) / V_o;$$

$$A_{13} = [(k_a + P_{fa}) \cdot (L - a) + (F_B - k_b) \cdot a] / V_o;$$

$$A_{14} = -A_{12} \cdot V_o;$$

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

$$A_{22} = [(k + P_{fa}) \cdot (L - a)^2 + (k_b - F_B) \cdot a^2] / V_o;$$

$$A_{23} = -A_{13} \cdot V_o;$$

$$A_{24} = A_{13};$$

$$f_{11} = k_a;$$

$$f_{12} = P_{кр}^п + R_M^п;$$

$$f_{21} = k_a \cdot (L - a);$$

$$f_{22} = P_{кр}^р \cdot \Delta + R_M^р \cdot S_M - (P_{кр}^п + R_M^п) \cdot (L_M + a),$$

α – кут повороту керованих коліс трактора – керуючий вплив, град.; X_s , φ – поперечне зміщення центру мас МТА (м) і курсовий кут трактора (град.) – вихідні параметри моделі (4); M_a – маса агрегату, кг; k_a , k_b – кути опору уводу шин передніх і задніх коліс трактора, кН/рад.; J_{s_T} – момент інерції МТА відносно вертикальної осі, яка проходить крізь точку S_T , кН·м·с²; V_o – швидкість руху МТА, м/с; L , a , Δ , L_M , S_M – конструктивні параметри посівного агрегату, м (рис. 4).

За асиметричного агрегування просапної сівалки керованість руху посівного МТА на основі трактора сімейства ХТЗ-160 суттєво залежить від швидкості його руху. При $V_o = 2,0$ м/с маємо суттєве недорегулювання в динамічній системі: максимальна значина коефіцієнта підсилення вхідного керуючого впливу (кута повороту керованих коліс α) не перевищує 0,7 (крива 1, рис. 5а).

Натомість, за швидкості робочого руху посівного агрегату на рівні 3,0 м/с (10,8 км/год.) бажана АЧХ відпрацювання керуючого впливу при частоті коливань цього вхідного параметра, яка близька до нуля, практично наближається до ідеальної (крива 3, рис. 5а).

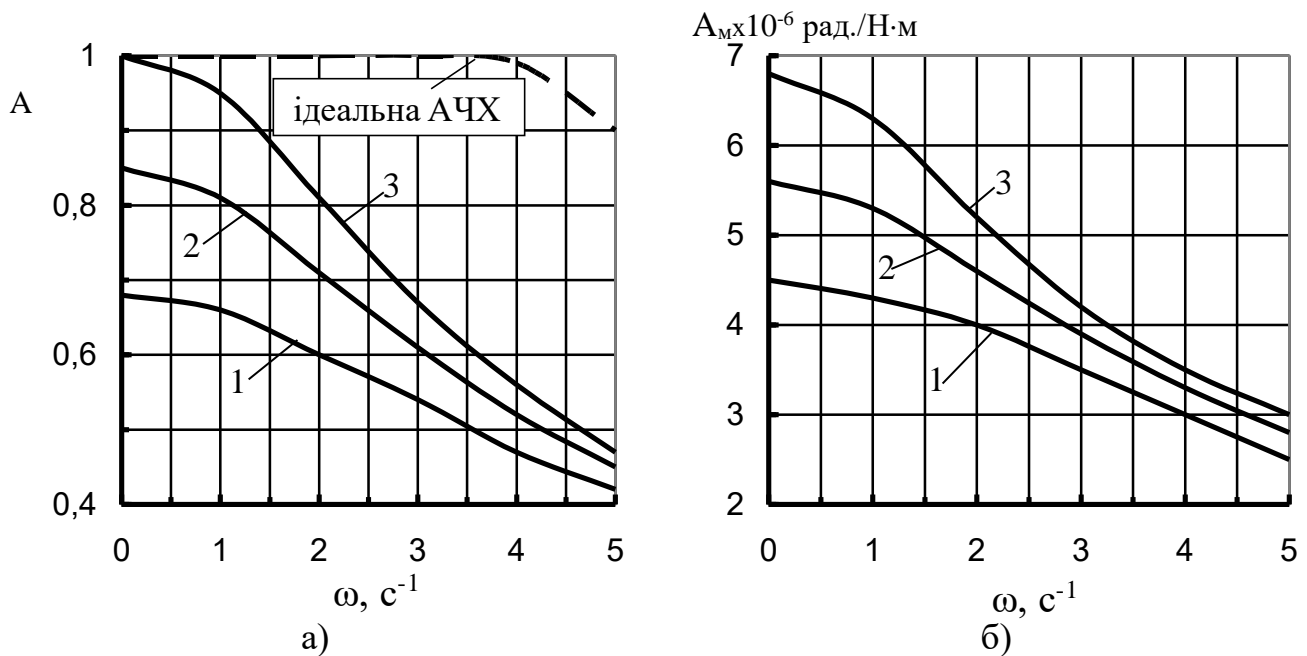


Рис. 5 – АЧХ відпрацювання посівним асиметричним агрегатом керуючого (а) і збурювального (б) впливів за різних швидкостей його робочого руху:
 1 – 2,0 м/с; 2 – 2,5 м/с; 3 – 3,0 м/с

При оцінюванні стійкості асиметричного посівного агрегату в якості збурювального впливу розглядали розворотний момент, природу якого відображає коефіцієнт f_{22} математичної моделі (4). Аналіз розрахункових АЧХ засвідчує, що при збільшенні швидкості руху МТА коливання амплітуди курсового кута трактора φ , як вихідного параметру, теж зростає. Найбільш відчутно цей процес проявляється на частотах коливання розворотного моменту, близьких до нуля (рис. 5б).

Водночас, максимальна амплітуда відхилення курсового кута трактора при цьому не перевищує $0,4^\circ$. Навіть при двократному збільшенні його робочої ширини захвату (16,8 замість 8,4 м) АЧХ відпрацювання асиметричним МТА збурювального впливу (тобто розворотного моменту) змінюються дуже мало. У зв'язку з цим можна констатувати, що зміна швидкісного режиму досліджуваного агрегату практично не погіршує стійкості його руху в горизонтальній площині.

Важливу роль в системі агрегування орно-просапного трактора відіграє динаміка руху МТА на його основі у поздовжньо-вертикальній площині. Особливо це стосується агрегатів, побудованих за схемою «push-pull». В першу чергу до них відносяться орні. Стабільне положення заглибленого у ґрунт фронтального плуга можна забезпечити за умови, коли у будь-який момент часу заглиблювальний момент (M_3), що діє на орне знаряддя, буде більшим за нуль. Проте ця умова є необхідною, але не достатньою. Для здійснення стабільного переміщення плуга на заданій глибині обробітку наступною умовою є невелика, але обов'язково позитивна (тобто більша за нуль) вертикальна реакція на опорному колесі плуга (N_k). У цілому умовами стабільності руху заглибленого плуга (рис. 6) є: $M_3 > 0$ і $N_k > 0$.

Аналітичні залежності, які у розгорнутому вигляді розкривають вплив конструктивних параметрів фронтального орного знаряддя на величини M_3 і N_k , мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 M_3 &= G_{\text{П}} \cdot (K_1 - r_{\text{H}} \cdot \cos\beta - L_{\text{П}}) + 0,2 \cdot k_0 \cdot B_{\text{П}} \cdot h_0 \cdot (K_1 - r_{\text{H}} \cdot \cos\beta - L_0) + f \cdot N_{\text{К}} \cdot r_{\text{К}}; \\
 N_{\text{К}} &= \{ G_{\text{П}} \cdot (K_3 - L_{\text{П}}) + k_0 \cdot B_{\text{П}} \cdot h_0 \cdot [0,2 \cdot (K_3 - L_0) - (h_{\text{В}} + K_2 - h_{\text{Д}} + h_0)] \} / [K_3 - L_{\text{К}} + f \cdot (h_{\text{В}} + K_2 - r_{\text{К}})]; \\
 K_1 &= (h_{\text{В}} - h_{\text{Н}}) / (\text{tg}\beta - \text{tg}\alpha); \\
 K_2 &= [(h_{\text{В}} - h_{\text{Н}}) / (\text{tg}\beta - \text{tg}\alpha)] \cdot \text{tg}\alpha; \\
 K_3 &= [(h_{\text{В}} - h_{\text{Н}}) / (\text{tg}\beta - \text{tg}\alpha)] - r_{\text{H}} \cdot \cos\beta,
 \end{aligned} \right\} (5)$$

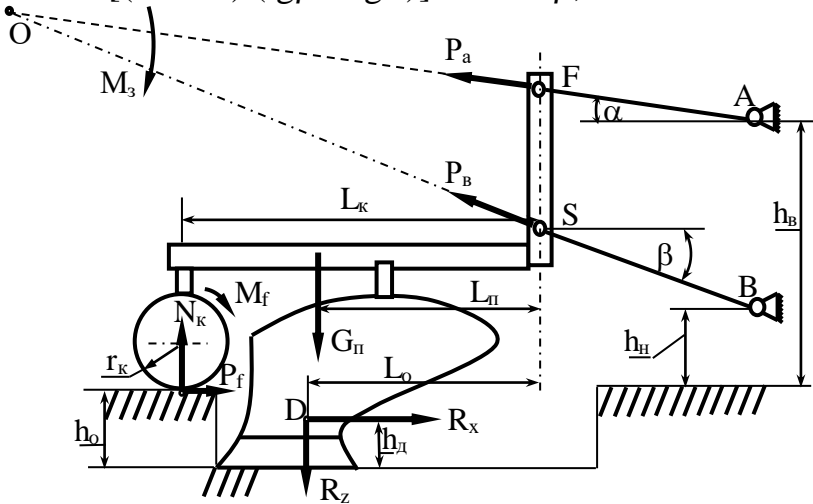


Рис. 6 – Еквівалентна схема сил і моментів, які діють на заглиблений фронтальний плуг

де $G_{\text{П}}$ – сила ваги плуга, кН; r_{H} – проекція довжини нижніх тяг ПНМ трактора на вертикальну площину, м; k_0 – коефіцієнт питомого опору плуга, кН/м²; $B_{\text{П}}$ – ширина захвату плуга, м; h_0 – глибина оранки, м; f – коефіцієнт опору коченню; $r_{\text{К}}$ – радіус опорного колеса плуга, м; α, β – кути нахилу центральної та нижніх тяг ПНМ трактора, град.; $L_{\text{П}}, L_0, L_{\text{К}}, h_{\text{В}}, h_{\text{Н}}, h_{\text{Д}}$ – конструктивні параметри, м (рис. 6).

Аналіз результатів розрахунків системи (5) показує, що для збільшення заглиблювального моменту, який діє на двокорпусний фронтальний плуг у роботі, і забезпечення позитивної реакції на опорному колесі знаряддя, кут нахилу нижніх тяг ПНМ орно-просапного трактора (β) слід встановлювати якомога меншим в діапазоні 2...6°, а кут нахилу центральної тяги (α) – якомога більшим в діапазоні 0...4°. При цьому, між вказаними кутами повинна виконуватися умова: $\alpha < \beta$.

Поздовжня координата $L_{\text{К}}$ установки опорного колеса фронтального плуга (рис. 6) змінює величини M_3 і $N_{\text{К}}$ лише на 7...10%. Тому при виборі параметра $L_{\text{К}}$ доцільно виходити із потреби забезпечення мінімальної габаритної довжини передньоनावісного знаряддя.

Динаміку вертикальних коливань МТА за схемою «push-pull» оцінювали на основі аналізу плавності руху орного (рис. 7), а також орно-подрібнювального машинно-тракторних агрегатів.

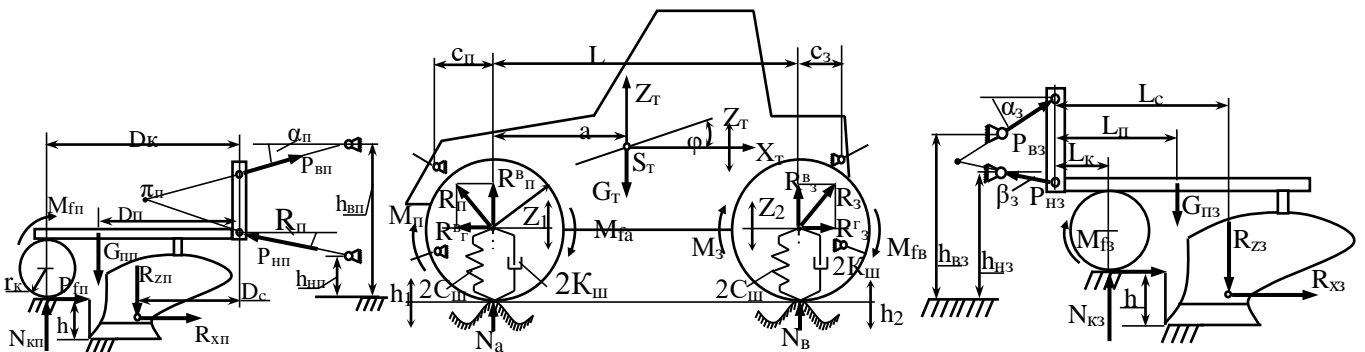


Рис. 7 – Схема сил, які діють на орно-просапний трактор при його агрегуванні з фронтальним та задньоनावісним плугами

Математична модель орного МТА за схемою «push-pull» є такою:

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \ddot{Z}_1 + A_{12} \dot{Z}_1 + A_{13} Z_1 + A_{14} \ddot{Z}_2 &= B_{11} \dot{h}_1 + B_{12} h_1 + B_{13} R_x + B_{14}; \\ A_{21} \ddot{Z}_2 + A_{22} \dot{Z}_2 + A_{23} Z_2 + A_{24} \ddot{Z}_1 &= B_{21} \dot{h}_2 + B_{22} h_2 + B_{23} R_x + B_{24}, \end{aligned} \right\}$$

де

$$\begin{aligned} A_{11} &= [M_T \cdot (L - a)^2 + J_T] / L^2; & A_{21} &= (M_T \cdot a^2 + J_T) / L^2; \\ A_{12} &= 2 \cdot K_{ш}; & A_{22} &= A_{12}; \\ A_{13} &= 2 \cdot C_{ш}; & A_{23} &= A_{13}; \\ A_{14} &= \{2 \cdot [M_T \cdot a \cdot (L - a) - J_T]\} / L^2; & A_{24} &= A_{14}; \\ B_{11} &= B_{21} = A_{12}; & B_{12} &= B_{22} = A_{13}; \\ B_{13} &= R_K / L; & B_{23} &= -B_{13}; \\ B_{14} &= [K_{3п} - K_{шп} - R^B_{п} \cdot L + G_T \cdot (L - a)] / L; & B_{23} &= (K_{шп} - K_{3п} - R^B_{3} \cdot L + G_T \cdot a) / L. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{3п} &= -P_{f3} \cdot h / 2 - G_{пв} \cdot (L_{п} + l_{пв} \cdot \cos \beta_3 + c_3) + N_{кз} \cdot (L_{к} + l_{пв} \cdot \cos \beta_3 + c_3) - R_{з3} \cdot (L_{с} + \\ &+ l_{пв} \cdot \cos \beta_3 + c_3) + P_{вз} \cdot [\sin \alpha_3 \cdot c_3 - \cos \alpha_3 \cdot (h_{вз} - R_{к})] - P_{пв} \cdot [\cos \beta_3 \cdot (R_{к} - h_{пв}) + \sin \beta_3 \cdot c_3]; \\ K_{шп} &= P_{пн} \cdot h / 2 - G_{пн} \cdot (D_{п} + l_{пн} \cdot \cos \beta_{п} + c_{п}) + N_{кп} \cdot (D_{к} + l_{пн} \cdot \cos \beta_{п} + c_{п}) - R_{зп} \cdot (D_{с} + \\ &+ l_{пн} \cdot \cos \beta_{п} + c_{п}) + P_{вп} \cdot [\sin \alpha_{п} \cdot c_{п} + \cos \alpha_{п} \cdot (h_{вп} - R_{к})] + P_{пн} \cdot [\cos \beta_{п} \cdot (R_{к} - h_{пн}) + \sin \beta_{п} \cdot c_{п}]; \\ R^B_{п} &= G_{шп} - N_{кп} + R_{зп} - P_{вп} \cdot \sin \alpha_{п} - P_{пн} \cdot \sin \beta_{п}; \quad R^B_{3} = G_{пз} - N_{кз} + R_{з3} - P_{вз} \cdot \sin \alpha_3 - P_{пв} \cdot \sin \beta_3; \\ R_x &= R_{хп} + R_{хз}, \end{aligned}$$

M_T , J_T – маса трактора (кг) і його момент інерції відносно осі, яка проходить через т. S_T , $\text{кН} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ (рис. 7); $K_{ш}$, $C_{ш}$ – коефіцієнт опору деформації ($\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$) та коефіцієнт жорсткості шин трактора ($\text{кН} / \text{м}$). Природа інших силових і конструктивних параметрів, які входять до цієї системи рівнянь, зрозуміла із рис. 7.

Основними збуреннями, які спричиняють вертикальні переміщення орно-просапного трактора у поздовжньо-вертикальній площині, є коливання амплітуди поздовжнього профілю шляху під передніми (h_1) і задніми (h_2) мостами, а також коливання тягових опорів фронтального ($R_{зп}$, $R_{хп}$) і заднього ($R_{з3}$ і $R_{х3}$) плугів (рис. 7).

У результаті математичного моделювання встановлено, що збільшення коефіцієнта жорсткості шин коліс енергетичного засобу призводить до наступного. На частотах до $6,5 \text{ с}^{-1}$ вплив цього параметра практично не відчувається (рис. 8).

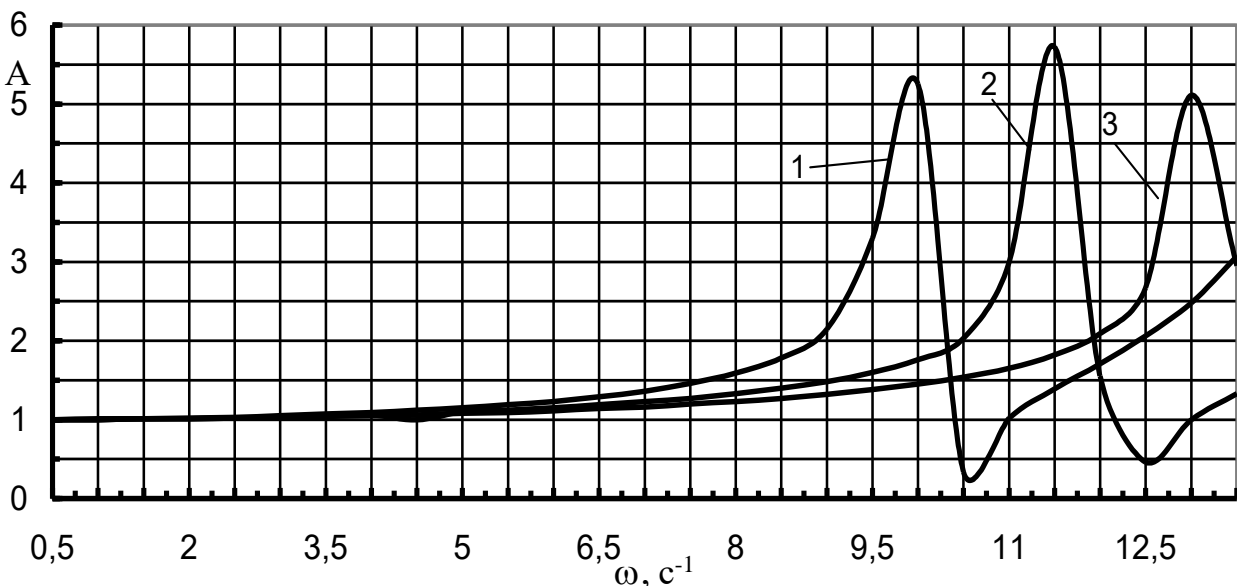


Рис. 8 – АЧХ (A) відтворення переднім мостом трактора коливань профілю шляху з різними коефіцієнтами жорсткості шин:
1 – $C_{ш} = 250 \text{ кН} / \text{м}$; 2 – $C_{ш} = 350 \text{ кН} / \text{м}$; 3 – $C_{ш} = 450 \text{ кН} / \text{м}$

При $\omega > 6,5 \text{ c}^{-1}$ зростання $C_{\text{ш}}$ викликає опускання амплітудо-частотних характеристик з одночасним зміщенням резонансних піків у бік більш високих частот.

Як бачимо, з точки зору бажаності відпрацювання динамічною системою збурення, що розглядається, збільшення коефіцієнта жорсткості шин трактора ХТЗ-160 взагалі є ефективним. Проте, певну значимість це матиме лише при коливаннях позовжнього профілю поля з частотою, більшою за $6,5 \text{ c}^{-1}$. За меншої частоти збурювального впливу вертикальні коливання переднього мосту дуже мало залежать від величини коефіцієнта жорсткості його шин. На практиці цей коефіцієнт можна змінювати шляхом вибору відповідного тиску повітря в шинах.

На відміну від параметра $C_{\text{ш}}$, значина коефіцієнта опору деформації шин ($K_{\text{ш}}$) суттєвого впливу на характер коливань переднього моста трактора ХТЗ-160 не здійснює. Причому в усьому діапазоні частот, що розглядаються: від 0 до $13,5 \text{ c}^{-1}$.

Основний спектр дисперсій коливань тягових опорів плугів припадає на частоти не більші за 11 c^{-1} . Із аналізу отриманих АЧХ маємо, що в діапазоні частот $0,5 \dots 11,0 \text{ c}^{-1}$ на кожний кН коливань тягового опору плугів припадає від 0,39 до 0,59 мм амплітуди коливань переднього мосту трактора ХТЗ-160 (рис. 9).

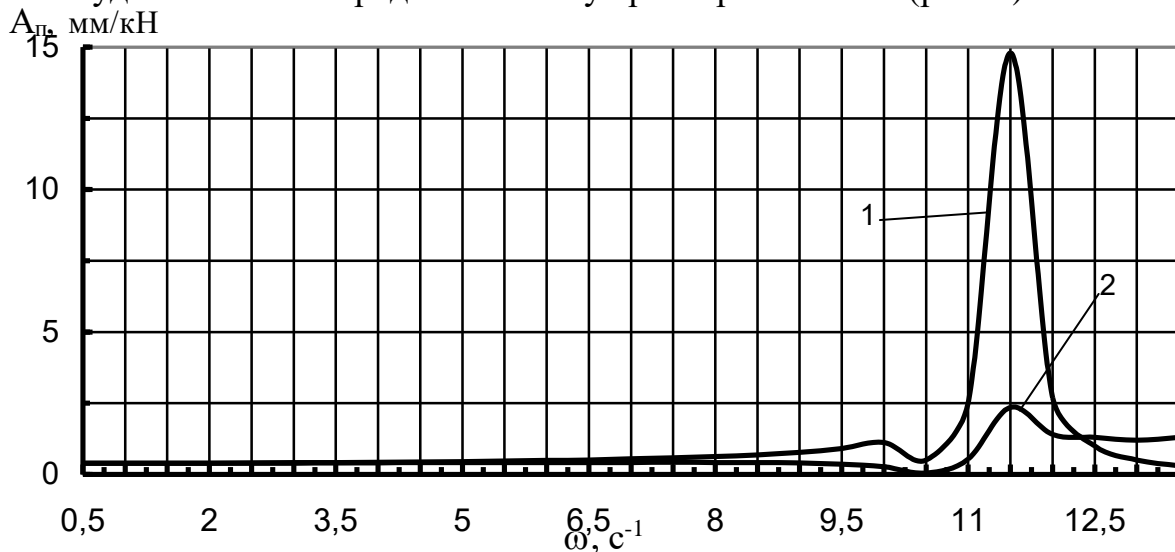


Рис. 9 – АЧХ ($A_{\text{п}}$) впливу коливань тягового опору плугів орного МТА на коливання переднього мосту трактора при його прямому (1) та реверсивному (2) рухах

Як встановлено експериментальними дослідженнями, середнє квадратичне відхилення тягового опору плугів в середньому знаходиться на рівні 4 кН. З урахуванням цього можна сказати, що в діапазоні частот $0,5 \dots 11,0 \text{ c}^{-1}$ коливання тягового опору агрегованих плугів викликати вертикальні переміщення переднього мосту трактора ХТЗ-160 з амплітудою не більше 2,4 мм. Реально це означає, що динаміку вертикальних коливань обумовлює профіль поля, який треба тримати у належному стані, а не коливання тягового опору орних знарядь.

Після збирання кукурудзи або соняшника на полі зазвичай залишається стерня, яка для забезпечення подальшого якісного основного обробітку ґрунту має бути подрібнена. Для практичного розв'язання цієї задачі пропонується орноподрібнювальний агрегат у складі орно-просапного трактора, фронтального активнопровідного подрібнювача рослинних решток і задньонавісного плуга.

Зв'язок між оптимальними значинами ширини захвату (B_p) і швидкості руху (V_p) цього агрегату відображає наступна аналітична залежність:

$$K_4^2 \cdot K_5 \cdot B_p^3 + K_4 \cdot (K_1 \cdot V_p - 2 \cdot K_3 \cdot K_5) \cdot B_p^2 + (K_3^2 \cdot K_5 + 2 \cdot K_2 \cdot K_4 \cdot V_p) \cdot B_p = K_2 \cdot K_3 \cdot V_p, \quad (6)$$

де $K_1 = k_0 \cdot h_0$;

$$K_2 = f \cdot (G_T + G_{np});$$

$$K_3 = \eta_{тр} \cdot (2 - K_v);$$

$$K_4 = k_6 \cdot k_0 \cdot h_0 \cdot (1 + 3 \cdot V_x) \cdot \eta_{тр} / (\mu \cdot G_T);$$

$$K_5 = N_0 \cdot U / 36;$$

$$K_v = [\rho_3 \cdot (2\pi \cdot \rho_{п} \cdot \sqrt{R^3 \cdot r} - G_{п})] / [\rho_{п} \cdot (2\pi \cdot \rho_3 \cdot \sqrt{R^3 \cdot r} - G_3)],$$

k_0 – питомий тяговий опір плуга, kH/m^2 ; h_0 – глибина оранки, м; f – коефіцієнт опору коченню; G_T , G_{np} – експлуатаційні сили ваги трактора і подрібнювача решток, kH ; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії енергетичного засобу; k_6 – константа апроксимації буксування трактора; V_x – середній коефіцієнт варіації тягового опору плуга; μ – коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора; N_0 – питомі витрати потужності на подрібнення рослинних решток, $\text{kВт} \cdot \text{м/кг}$; U – маса подрібнених рослинних решток на 1 га, ц/га ; $G_{п}$, G_3 – вертикальні навантаження на передні і задні колеса трактора, kH ; $\rho_{п}$, ρ_3 – тиск повітря в шинах передніх і задніх коліс трактора, МПа ; r – радіус передньої і задньої шин трактора у поперечному розрізі, м; R – радіус кочення передніх і задніх коліс трактора, м.

Розрахунками залежності (6) встановлено, що оптимальна ширина захвату орно-подрібнювального МТА має становити 2,05...2,12 м за глибини обробітку ґрунту 0,22 м і 1,65...1,70 м – при збільшенні h_0 до 0,30 м. Оптимальна значина швидкості робочого руху становить при цьому 2,0...2,2 м/с (7,2...7,9 км/год.). Для реалізації цих режимів максимальна потужність двигуна орно-просапного трактора має дорівнювати 118 kВт (160 к.с.), що цілком реально для трактора типу ХТЗ-160.

Розрахункова динамічна модель орно-подрібнювального МТА на основі орно-просапного трактора (рис. 10) має чотири ступені вільності у вигляді вертикальних коливань: 1) переднього мосту трактора (Z_1); 2) заднього мосту енергетичного засобу (Z_2); 3) рами фронтального подрібнювача рослинних решток (Z_3); 4) рами задньо-навісного плуга (Z_4).

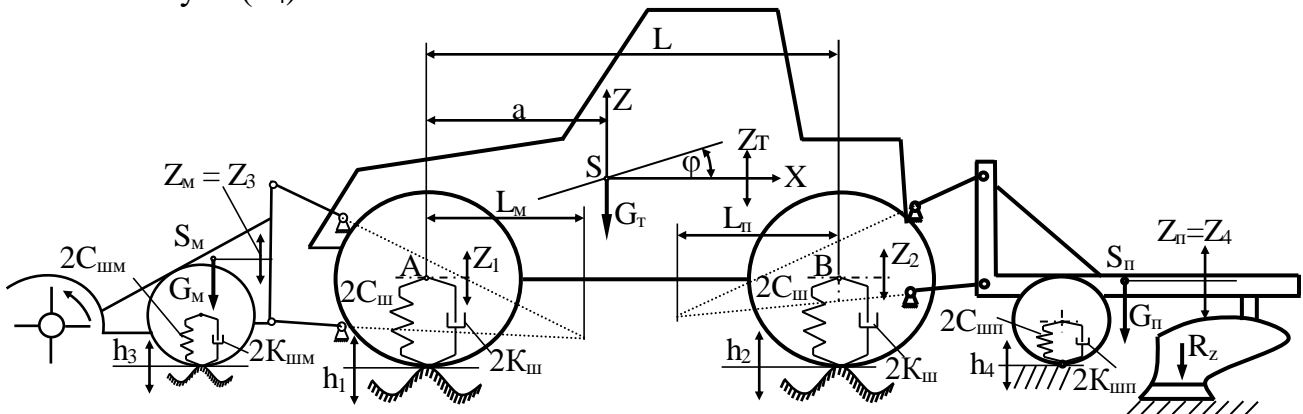


Рис. 10 – Розрахункова модель вертикальних коливань орно-подрібнювального агрегату

Диференціальні рівняння, які описують динаміку руху орно-подрібнювального агрегату у поздовжньо-вертикальній площині, є такими:

$$\left. \begin{aligned}
 A_{11} \cdot \ddot{Z}_1 + A_{12} \cdot \dot{Z}_1 + A_{13} \cdot Z_1 + A_{14} \cdot \ddot{Z}_2 &= f_{11} \cdot \dot{h}_1 + f_{12} \cdot h_1 + f_{13} \cdot R_x + f_{14}; \\
 A_{21} \cdot \ddot{Z}_2 + A_{22} \cdot \dot{Z}_2 + A_{23} \cdot Z_2 + A_{24} \cdot \ddot{Z}_1 &= f_{21} \cdot \dot{h}_2 + f_{22} \cdot h_2 + f_{23} \cdot R_x + f_{24}; \\
 A_{31} \cdot \ddot{Z}_3 + A_{32} \cdot \dot{Z}_3 + A_{33} \cdot Z_3 &= f_{31} \cdot \dot{h}_3 + f_{32} \cdot h_3 + f_{33} \cdot R_x + f_{34}, \\
 A_{41} \cdot \ddot{Z}_4 + A_{42} \cdot \dot{Z}_4 + A_{43} \cdot Z_4 &= f_{41} \cdot \dot{h}_4 + f_{42} \cdot h_4 + f_{43} \cdot R_x + f_{44},
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \text{де } A_{11} &= [M_T \cdot (L - a)^2 + J_T] / L^2; & f_{11} &= f_{21} = A_{12}; \\
 A_{12} &= 2 \cdot K_{ш}; & f_{12} &= f_{22} = A_{13}; \\
 A_{13} &= 2 \cdot C_{ш}; & f_{13} &= 0, 2 \cdot L_{п} / L; \\
 A_{14} &= \{2 \cdot [M_T \cdot a \cdot (L - a) - J_T]\} / L^2; & f_{14} &= [G_M \cdot (L - L_M) + G_{п} \cdot L_{п}] / L; \\
 A_{21} &= (M_T \cdot a^2 + J_T) / L^2; & f_{23} &= 0, 2 \cdot (L - L_{п}) / L; \\
 A_{22} &= A_{12}; & f_{24} &= [G_M \cdot L_M + G_{п} \cdot (L - L_{п})] / L; \\
 A_{23} &= A_{13}; & f_{31} &= A_{32}; \\
 A_{24} &= A_{14}; & f_{32} &= A_{33}; \\
 A_{31} &= M_M; & f_{33} &= 0; \\
 A_{32} &= 2 \cdot K_{шм}; & f_{34} &= G_M; \\
 A_{33} &= 2 \cdot C_{шм}; & f_{41} &= A_{42}; \\
 A_{41} &= M_{п}; & f_{42} &= A_{43}; \\
 A_{42} &= 2 \cdot K_{шп}; & f_{43} &= 0, 2; \\
 A_{43} &= 2 \cdot C_{шп}; & f_{44} &= G_{п};
 \end{aligned}$$

У приведеній системі рівнянь (7) прийнято наступні позначення: M_T – маса трактора, кг; J_T – момент інерції трактора відносно осі, яка проходить через т. S (рис. 10), $\text{кН} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $K_{ш}$, $C_{ш}$ – коефіцієнт опору деформації ($\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$) та коефіцієнт жорсткості шини ($\text{кН} / \text{м}$) трактора; M_M , G_M , $K_{шм}$, $C_{шм}$ – маса (кг), сила ваги (кН), коефіцієнт опору деформації ($\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$) та коефіцієнт жорсткості шини ($\text{кН} / \text{м}$) подрібнювача рослинних решток; $M_{п}$, $G_{п}$, $K_{шп}$, $C_{шп}$ – маса (кг), сила ваги (кН), коефіцієнт опору деформації ($\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$) та коефіцієнт жорсткості шини ($\text{кН} / \text{м}$) плуга; L – база трактора, м; L_M , $L_{п}$, a – конструктивні параметри, м (рис. 10).

Розрахунками встановлено, що характер відпрацювання коливань нерівностей профілю поля переднім мостом трактора при його переналадженні з прямого ходу на реверсивний залежить від частоти збурювального впливу. Так, в діапазонах частот $\omega = 0 \dots 9 \text{ с}^{-1}$ і $\omega = 21 \dots 30 \text{ с}^{-1}$ порівнювані амплітудні і фазові частотні характеристики відрізняються між собою фактично несуттєво (рис. 11).

При $\omega = 9 \dots 14 \text{ с}^{-1}$ крашу АЧХ має МТА, у якого орно-просапний трактор налаштований на прямий хід (крива 1, рис. 11). Коли ж $\omega = 14 \dots 21 \text{ с}^{-1}$ – навпаки, реверсивний хід енергетичного засобу у складі орно-подрібнювального агрегату менше реагує на коливання нерівностей поздовжнього профілю поля (крива 2, рис. 11).

Експериментальними дослідженнями встановлено, що основна доля дисперсії коливань профілю полів, на яких проводили випробування орно-подрібнювального агрегату, зосереджена в діапазоні частот $0 \dots 16 \text{ с}^{-1}$. З урахуванням цього, як показує вищевикладений аналіз АЧХ, більш прийнятною є схема орно-подрібнювального агрегату з налаштуванням орно-просапного трактора на прямий хід.

Збільшення коефіцієнта жорсткості шин коліс енергетичного засобу $C_{ш}$ сприяє покращенню його реагування на збурювальний вплив (рис. 12).

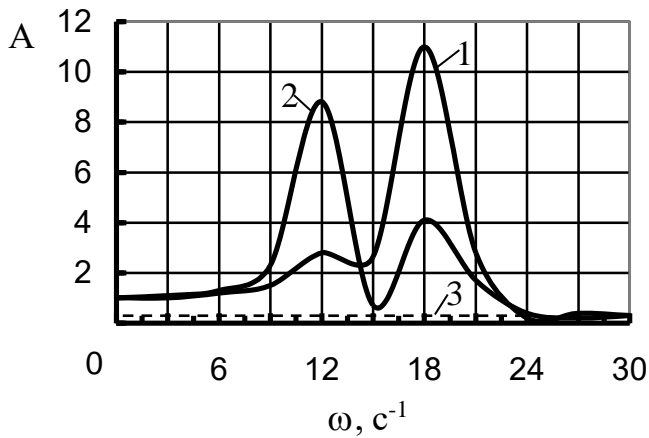


Рис. 11 – АЧХ коливань переднього мосту трактора за прямого (1) і реверсивного (2) його руху: 3 – ідеальна АЧХ

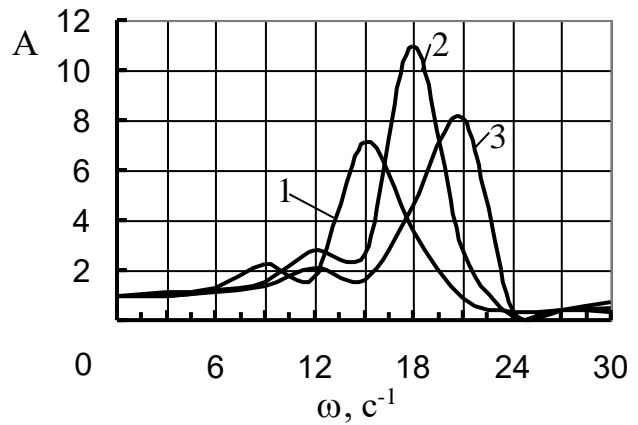


Рис. 12 – АЧХ коливань переднього мосту трактора з різними коефіцієнтами $C_{ш}$: 1 – 250 кН/м; 2 – 350 кН/м; 3 – 450 кН/м

Так, при зростанні значини $C_{ш}$ з 250 до 450 кН/м АЧХ бажано зменшуються, а їх резонансні піки зміщуються у бік більш високих частот коливань нерівностей позовжнього профілю поля. Природа цього явища досить проста: збільшення коефіцієнта $C_{ш}$ зменшує пружні властивості шини. У результаті динамічна ланка відпрацьовує вхідний сигнал з меншим коефіцієнтом підсилення. Проте однозначно такий характер перебігу АЧХ має місце за $\omega > 12 \text{ с}^{-1}$ або майже 2 Гц. І саме в цьому випадку шини коліс орно-просапного трактора повинні мати такий тиск повітря, який би забезпечував їх коефіцієнт жорсткості на рівні 400...450 кН/м.

Динаміка вертикальних коливань фронтального подрібнювача обумовлюється низкою конструктивних параметрів. У першу чергу до них відноситься коефіцієнт жорсткості шин опорних коліс $C_{шм}$ і експлуатаційна маса (M_M). Збільшення останньої на 200 кг (з 300 до 500 кг) призводить до небажаного підйому амплітудно-частотної характеристики відпрацювання подрібнювачем рослинних решток коливань профілю поля (крива 2, рис. 13).

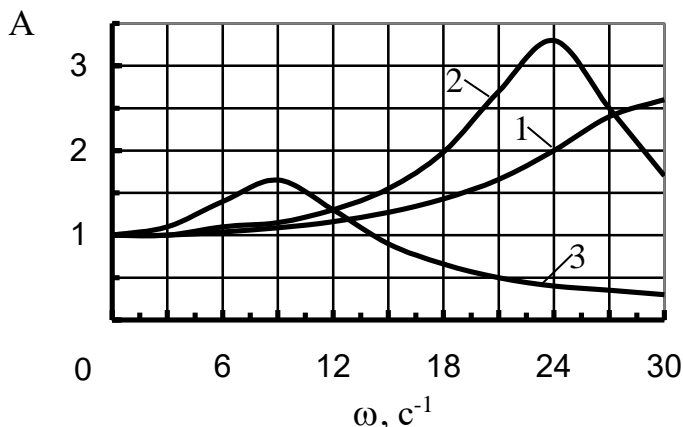


Рис. 13 – АЧХ коливань подрібнювача з різною масою (M_M) і коефіцієнтами $C_{шм}$: 1 – $M_M=300$ кг; $C_{шм}=150$ кН/м; 2 – $M_M=500$ кг; $C_{шм}=150$ кН/м; 3 – $M_M=300$ кг; $C_{шм}=25$ кН/м

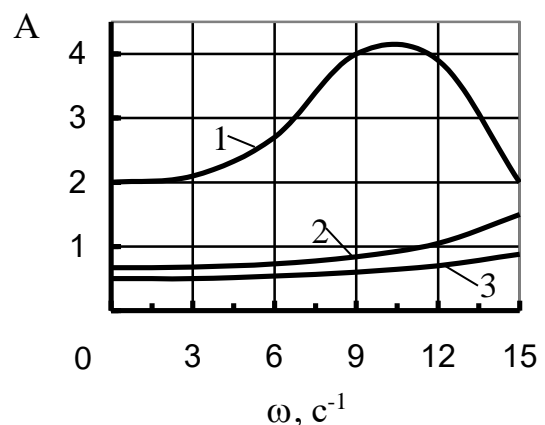


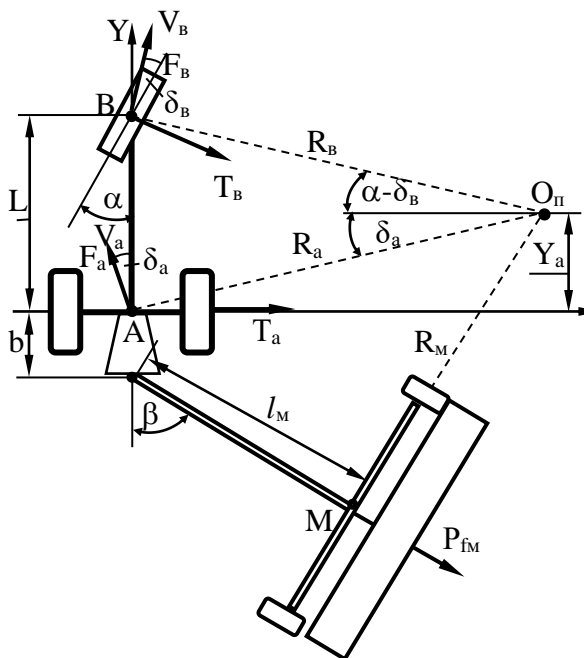
Рис. 14 – АЧХ коливань плуга з різними коефіцієнтами $C_{шп}$: 1 – 100 кН/м; 2 – 150 кН/м; 3 – 200 Н/м

І цей наслідок не вдається покращити навіть суттєвим зменшенням (до 25 кН/м) коефіцієнта жорсткості шин фронтального знаряддя. АЧХ при цьому зменшується, причому на частотах ω більших за 14 с^{-1} вона взагалі стає меншою за одиницю (крива 3, рис. 13). Проте, на значущих для роботи МТА частотах коливань профілю поля $0 \dots 9 \text{ с}^{-1}$ коефіцієнт підсилення динамічною ланкою (тобто подрібнювачем) вхідного збурювального впливу значно більший навіть за той, який репрезентує коливання фронтального знаряддя з масою 300 кг (крива 1, рис. 13). Виходячи із вищевикладеного аналізу можна констатувати, що збільшення експлуатаційної маси подрібнювача рослинних решток недоцільне, а значина коефіцієнта жорсткості його шин $C_{\text{шп}}$ повинна знаходитися в межах 100...150 кН/м.

Як показує аналіз АЧХ, зменшення жорсткості шини опорного колеса орного знаряддя (а значить підвищення її пружних властивостей) призводить до погіршення динаміки руху плуга у поздовжньо-вертикальній площині. Особливо це відчутно при $C_{\text{шп}}$ на рівні 100 кН/м (крива 1, рис. 14). Виходячи із цього, коефіцієнт жорсткості шини опорного колеса плуга має бути не меншим за 150 кН/м.

Поряд з проблемами динаміки прямолінійного руху важливим моментом агрегування орно-просапних тракторів є поворотність МТА на їх основі. Особливо це стосується причіпних, конструктивні особливості яких за певних умов можуть обмежувати власну поворотність енергетичного засобу.

Схема сил, які діють на причіпний машинно-тракторний агрегат під час його руху на поворотній смузі, наведена на рис. 15.



Математична модель повороту орно-просапного трактора у складі причіпного МТА має наступний вид:

$$\begin{aligned}
 & F_B \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \delta_B) - T_B \cdot \sin\alpha + F_A - P_{fm} \cdot \cos\beta = 0; \\
 & F_B \cdot R_B - T_B \cdot \delta_B \cdot R_B - T_A \cdot Y_a + F_A/K - P_{fm} \cdot R_M = 0; \\
 & T_A = k_a \cdot Y_a \cdot K; \\
 & T_B = k_b \cdot [\operatorname{tg}\alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]; \\
 & X\delta_a = Y_a \cdot K; \\
 & \delta_B = [\operatorname{tg}\alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]; \\
 & R_B = 1 / [K \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \delta_B)]; \\
 & R_M = (Y_a + b + l_M \cdot \cos\beta) / \sin\beta; \\
 & l_M = R_A \cdot (\sin\beta - \cos\beta \cdot \delta_a) - b \cdot \cos\beta.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Рис. 15 – Схема повороту причіпного МТА на основі орно-просапного трактора

До числа зовнішніх чинників, які діють на машинно-тракторний агрегат, входять: рушійні сили передніх (F_B) і задніх (F_A) коліс трактора, кН; бокові сили T_A і T_B (кН), які формують відповідні кути вводу δ_a і δ_B , град.; сила опору коченню причіпної машини/знаряддя – P_{fm} , кН.

Іншими величинами в системі рівнянь (8) є: радіуси повороту коліс переднього (R_B , м) і заднього (R_A , м) мостів трактора, радіус повороту причіпної машини (R_M ,

м), поздовжнє зміщення (Y_a , м) «центру повороту» МТА (т. O_p , рис. 15), коефіцієнти опору уводу шин k_a і k_b (кН/рад.), конструктивні параметри b , l_m і L , м.

Вхідним параметром, який задає характер руху дослідного МТА, виступає кут повороту керованих коліс трактора α , град. Вихідними параметрами є кривизна траєкторії руху агрегату $K = 1/R_a$ (m^{-1}) і координата зміщення центру повороту Y_a (м).

Змінними параметрами математичної моделі, вибір яких потребує обґрунтування, виступали: тиск в шинах передніх і задніх коліс трактора, виражений через значини коефіцієнтів k_a і k_b ; відстань від осі задніх коліс трактора до точки приєднання причіпного знаряддя – b , м; довжина сніці причіпної машини – l_m , м.

Розрахунки системи рівнянь (8) показали, що більш інтенсивне зменшення радіуса повороту МТА (R_a) відбувається при повороті керованих коліс трактора до кута приблизно 20° . При подальшому збільшенні керуючого впливу до 25° цей процес відбувається значно повільніше (рис. 16а).

Такий характер поведінки параметра R_a пояснюється тим, що зі збільшенням кута α від 15° до 20° досить інтенсивно зростають координата поздовжнього зміщення центру повороту МТА Y_a (рис. 16 б), а також кут уводу задніх шин трактора δ_a . Кут δ_b поводить себе навпаки: будучи максимальним ($0,3$ рад.) при $\alpha = 15^\circ$, поступово зменшується до $0,2$ рад. при $\alpha = 20^\circ$. У цілому саме такі процеси зміни параметрів Y_a та кутів уводу шин трактора і обумовлюють інтенсивне зменшення радіуса повороту МТА (R_a) в діапазоні керуючого впливу $15\dots 20^\circ$.

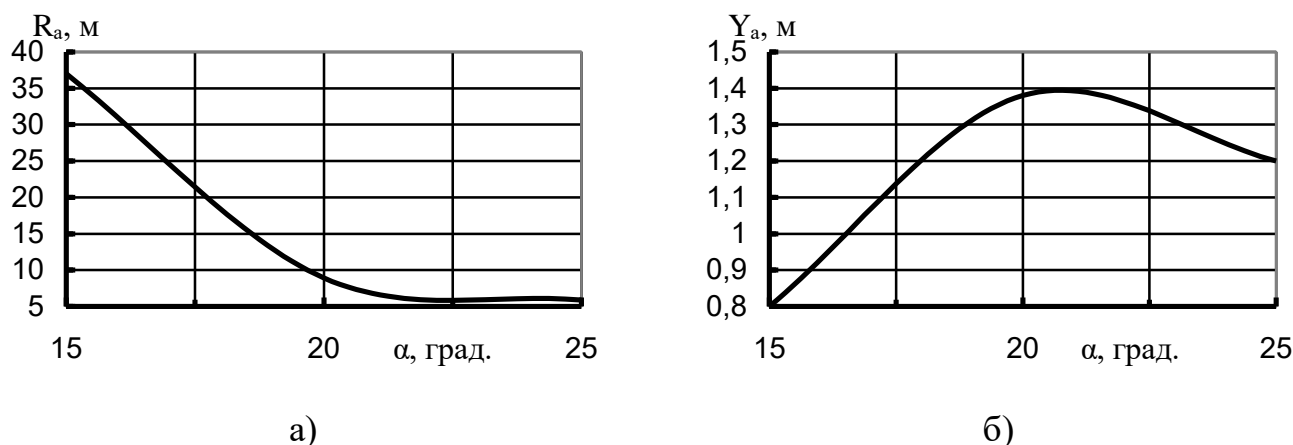


Рис. 16 – Залежність радіусу R_a (а) та поздовжньої координати Y_a (б) від кута повороту керованих коліс трактора α

Завдяки тому, що на тракторах серії ХТЗ-160 параметр b становить $1,05$ м, встановлювати параметр b меншим за 1 м небезпечно, оскільки при повному повороті керованих коліс орно-просапного трактора не виключатиметься можливість контакту причіпної сніці агрегатованого знаряддя із одним із задніх коліс енергетичного засобу. Збільшення параметра b понад 1 м недоцільно із-за зростання кінематичної довжини МТА. В умовах практичної експлуатації це може вплинути на певне небажане підвищення агрегатом непродуктивних витрат часу зміни.

Математичним моделюванням встановлено, що довжина сніці причіпного агрегатованого знаряддя, змінювана в межах $3\dots 5$ м теж мало впливає на процес зміни радіуса повороту агрегату від керуючого впливу. Більш-менш відчутний цей вплив лише при куті повороту керуючих коліс $\alpha = 15^\circ$. У цьому випадку збільшення пара-

метра l_m обумовлює відповідне зростання радіусу R_a . Встановлено, що при збільшенні довжини снічі причіпної машини/знаряддя з 3 до 5 м радіус повороту МТА зростає з 36 до 43 м, тобто майже на 20%.

З отриманого результату досліджень випливає такий висновок: якщо є можливість вибору, то його слід здійснювати на користь причіпного знаряддя із меншою довжиною причіпної снічі. У цьому випадку машинно-тракторний агрегат на основі орно-просапного трактора матиме як задовільну поворотність, так і меншу кінематичну довжину.

У порівнянні з довжиною причіпної снічі машини/знаряддя l_m коефіцієнти опору уводу коліс трактора k_a і k_b здійснюють ще менший (у кількісному вираженні) вплив на процес $R_a = f(\alpha)$. Їх значини змінювали від 130 до 170 кН/рад. Це відповідає зміні тиску повітря в шинах від 0,10 до 0,13 мПа.

У зв'язку з цим значину останнього (тобто тиску повітря) слід вибирати, керуючись наступними міркуваннями і результатами. Орно-просапний трактор типу ХТЗ-160 є повнопривідним енергетичним засобом. У ньому, як відомо, застосовується блокований привід переднього і заднього мостів. Для унеможливлення при цьому втрат потужності ходовою системою у таких енергетичних засобах колісні швидкості коліс переднього ($V_{п}$) і заднього ($V_{з}$) мостів мають бути однаковими (тобто рівними): $V_{п} = V_{з}$.

Водночас, практика експлуатації повнопривідних енергетичних засобів показує, що цю умову витримати практично неможливо. У дійсності у приводі мостів повнопривідного енергетичного засобу виникає кінематична невідповідність, яка виражається відповідним коефіцієнтом (K_v):

$$K_v = V_{п}/V_{з} = \frac{\rho_3 \cdot (2\pi \cdot \rho_{п} \cdot \sqrt{R^3 \cdot r} - G_{п})}{\rho_{п} \cdot (2\pi \cdot \rho_3 \cdot \sqrt{R^3 \cdot r} - G_3)}$$

де $G_{п}$, G_3 – вертикальні навантаження на передні і задні колеса трактора, кН; $\rho_{п}$, ρ_3 – тиск повітря в шинах передніх і задніх коліс енергетичного засобу, мПа; R – радіус кочення коліс трактора ХТЗ-160, м; r – радіус шин енергетичного засобу у поперечному розрізі, м.

З отриманого виразу бачимо, що забезпечення ідеальної значини коефіцієнта кінематичної невідповідності $K_v = 1$ можна досягти за умови:

$$\frac{\rho_3}{\rho_{п}} = \frac{G_3}{G_{п}} \quad (9)$$

Фактично з виразу (9) випливає, що для отримання оптимальної кінематичної невідповідності в приводі ходової системи повнопривідного орно-просапного трактора з однаковими колесами відношення тиску повітря у шинах задніх коліс до тиску повітря у передніх рушіях має бути таким же, як і відношення вертикального навантаження на задній міст до вертикального навантаження на передній міст енергетичного засобу.

Отримані в даному розділі результати теоретичних досліджень були враховані при виборі параметрів та режимів роботи машинно-тракторних агрегатів на основі орно-просапного трактора перед виконанням ними циклу лабораторно-польових досліджень та експлуатаційних випробувань.

В третьому розділі викладено програму і методику проведення польових експериментальних досліджень.

Програма експериментальних досліджень МТА на основі орно-просапних тракторів включала проведення лабораторних, лабораторно-польових робіт і експлуатаційних випробувань. У процесі виконання експериментів передбачалося: визначення необхідних для аналізу математичних моделей та інших аналітичних залежностей масово-геометричних і кінематичних характеристик МТА на основі орно-просапних тракторів; проведення оцінки ступеня впливу конструктивно-технологічної схеми орно-просапного трактора на трудоемкість його агрегування з навісними, напівнавісними і причіпними сільськогосподарськими машинами і знаряддями; визначення статистичних характеристик вхідних дій, що сприймаються широкозахватними та комбінованими МТА у процесі їх роботи; вивчення ступеня впливу конструктивно-технологічних параметрів орно-просапного трактора та МТА на їх енергетичні, експлуатаційно-технологічні і агротехнічні показники роботи; виробнича перевірка широкозахватних та комбінованих агрегатів на базі орно-просапних тракторів; визначення технічної можливості і ефективності використання орно-просапних тракторів у системі колійного та смугового землеробства.

Фізичними об'єктами досліджень були широкозахватні та комбіновані машинно-тракторні агрегати на основі орно-просапних тракторів, призначені для проведення основного і поверхневого обробітку ґрунту, сівби зернових колосових та просапних культур, внесення мінеральних добрив з одночасним їх загортанням у ґрунт, збирання зернових та силосних культур.

Для реєстрації частини вимірюваних параметрів, таких як кут повороту керованих коліс трактора (α), його курсовий кут (φ), число обертів ведучих коліс енергетичного засобу (n_k), тяговий опір агрегатованих машин/знарядь ($P_{кр}$), а також крутні моменти ($M_{кр}$) використовували вимірювально-реєстраційний комплекс, основу якого складали аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та персональна ЕОМ (рис. 17).

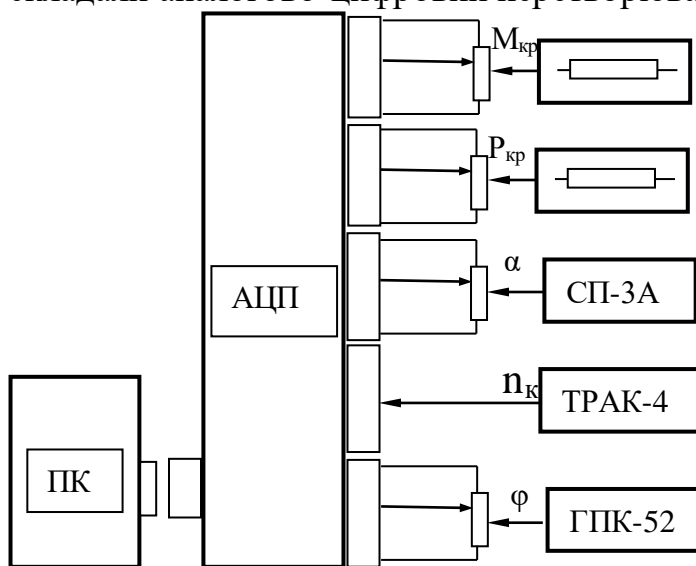


Рис. 17 – Блок-схема вимірювально-реєстраційного комплексу:

ПК – комп'ютер; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; СП-3А – змінний опір 470 Ом; ГПК-52 – гіроскоп-півкомпас ГПК; ТРАК-4 – ртутний амальгамований струмоміч; α – кут повороту керованих коліс трактора; φ – курсовий кут трактора; n_k – оберти ведучого колеса енергетичного засобу; $P_{кр}$ – тяговий опір знаряддя; $M_{кр}$ – крутний момент

Перед основними лабораторно-польовими дослідженнями було проведено попередні експерименти. Аналіз отриманих реалізацій на ЕОМ підтвердив гіпотезу про стаціонарність досліджуваних випадкових процесів: коливань курсового кута трактора та його керованих коліс, коливань траєкторій слідів маркера, вертикальних

коливань нерівностей агротехнічного фону, коливань тягового опору агрегованих знарядь тощо. Що стосується ергодичності цих процесів, то такими їх в умовах проведення польових досліджень на рівному (без схилів та горбів) і практично однорідному по щільності ґрунту полі, приймали апріорі.

При використанні ЕОМ для обробки первинних даних з отриманням, окрім математичних очікувань і дисперсій процесів, ще й кореляційних функцій та спектральних щільностей, – слід мати достатній об'єм інформації. Саме аналіз даних попередніх досліджень дозволив нам визначити необхідну тривалість запису реєстрованих процесів, правильно вибрати швидкість робочого руху машинно-тракторних агрегатів тощо.

Отримані в процесі лабораторно-польових досліджень реалізації у вигляді оцифрованих даних переносили в програмне середовище Microsoft Excel. Наступною процедурою було їх (даних) оцінювання – підготовча операція для розрахунку таких статистичних характеристик як: середня значина; середнє квадратичне відхилення (стандарт); дисперсія; коефіцієнт варіації; похибка вибіркової середньої; нормована кореляційна функція; нормована спектральна щільність; нормована взаємна кореляційна функція.

Похибка безпосереднього вимірювання лінійних конструктивних параметрів та інших величин не перевищувала 0,4%. Погрішність вимірювання часу, а також вагових параметрів була меншою за 1%.

Точність опосередкованих вимірювань (швидкість руху МГА, буксування рушіїв орно-просапного трактора, погодинні витрати палива двигуном, а також потужності, реалізовані на фронтальному та задньому валах її відбору тощо) оцінювали за допомогою середньої квадратичної похибки.

В цілому достовірність отриманих результатів є такою, при якій число випадків, в яких могли мати місце відхилення від закономірностей, установлених при експериментальних дослідженнях, не перевищувало 5%.

Перевірку математичних моделей на адекватність здійснювали двома методами. Для жнивально-луцильного агрегату, наприклад, на основі відповідної передаточної функції із системи рівнянь (2) розраховували теоретичну амплітудо-частотну характеристику (A_t) поперечного зміщення точки візування (т. D, рис. 1) при відпрацюванні МГА впливу у вигляді поперечного зміщення керованих коліс трактора.

Для визначення аналогічної експериментальної АЧХ у польових умовах проводили дослідження агрегату у складі трактора ХТЗ-16131 з навішеними на нього валковою жнивркою ЖВН-6Б – попереду та дискової борони БДН-3 – позаду. Вказаний жнивально-луцильний машинно-тракторний агрегат працював на скошуванні у валки озимої пшениці.

Жнивarka і дискова борона були приєднані до трактора без можливості повороту у горизонтальній площині. У поздовжньо-вертикальній площині обидві машини вільно копіювали нерівності поздовжнього профілю поля. Енергетичний засіб при цьому був налаштований на прямий хід. Під час робочого руху досліджуваного агрегату на ЕОМ з допомогою АЦП синхронного реєстрували курсовий кут трактора (φ) і кут повороту його керованих коліс (α).

Із отриманих реалізацій для величин φ і α були розраховані такі статистичні характеристики: середні квадратичні відхилення (σ_i) та нормовані спектральні щільності (S_i). Експериментальну АЧХ жнивально-луцильного машинно-тракторного агрегату розраховували із виразу:

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

де σ_x , S_x – середнє квадратичне відхилення і нормована спектральна щільність вхідної величини (кут α); σ_y , S_y – середнє квадратичне відхилення і нормована спектральна щільність вихідної величини (кут φ); ω – частота коливань керуючого впливу.

Перевірку моделі на адекватність здійснювали шляхом порівняння теоретичної (A_T) і експериментальної [$A(\omega)$] амплітудних частотних характеристик. Для орно-подрібнювального агрегату аналогічну задачу розв'язували шляхом порівняння теоретичної ($S_{\text{пмт}}$) та експериментальної ($S_{\text{пм}}$) нормованих спектральних щільностей коливань переднього мосту трактора серії ХТЗ-160.

Під час роботи в агрегаті з подрібнювачем рослинних решток та плугом даний енергетичний засіб був налаштований на реверсивний рух. За вхідний параметр було прийнято коливання поздовжнього профілю шляху, які реєстрували з допомогою профілографу конструкції ТДАТУ.

Після отримання експериментальних даних для цього процесу розраховували середнє квадратичне відхилення ($\sigma_{\text{пр}}$) та нормовану спектральну щільність ($S_{\text{пр}}$) вертикальних коливань нерівностей шляху.

Далі проводили польовий експеримент із записом вертикальних коливань переднього мосту трактора на ЕОМ, розрахунками стандарту ($\sigma_{\text{пм}}$) і нормованої спектральної щільності коливань ($S_{\text{пм}}$) цього параметру.

Використовуючи передаточну функцію по профілю шляху під передніми колесами трактора відносно коливань його переднього моста розраховували теоретичну АЧХ МТА такої ж самої схеми [$A_T(\omega)$]. Враховуючи останню, теоретичну спектральну щільність коливань переднього мосту трактора знаходили із виразу:

$$S_{\text{пмт}}(\omega) = A_T^2(\omega) \cdot S_{\text{пр}}(\omega) \cdot \sigma_{\text{пр}}^2 / \sigma_{\text{пм}}^2.$$

У четвертому розділі «Аналіз результатів агрегування МТА на основі орно-просапних тракторів» викладено результати лабораторно-польових досліджень та експлуатаційно-технологічних випробувань комплексу сільськогосподарських машин/знарядь на основі орно-просапного трактора.

Загальновідомо, що однією із найважливіших характеристик того чи іншого машинно-тракторного агрегату є трудоемкість його складання. Стосовно орно-просапного трактора, який агрегується за схемою «push-pull», це проявляється у витрачанні обслуговуючим персоналом певного часу на приєднання як задньонавісних/причіпних, так і навісних фронтальних машин/знарядь.

Аналіз отриманих даних показує, що найбільш трудоемким є процес агрегування орно-просапного трактора із задньою та фронтальною навісними машинами/знаряддями, які не обладнані автозчепом. У цьому випадку два механізatori витрачають у середньому 12...13 хв. Водночас, за умови обладнання машин/знарядь автоматичним зчіпним пристроєм, трудоемкість складання комбінованого МТА за схемою «push-pull» зменшується приблизно в 4 рази.

У цілому ж агрегування орно-просапного трактора не створює будь-яких проблем ні при складанні комбінованих МТА, ні при від'єднанні машин /знарядь від вказаного енергетичного засобу.

За експлуатаційної маси не менше 8 т і ширини шин рушіїв 0,43 м трактори сімейства ХТЗ-160 створюють відносно високий тиск на ґрунт. Одним із напрямків усунення означеного недоліку в період весняного обробітку ґрунту є обладнання цих енергетичних засобів колесами з шинами більшої ширини. Найкраще для цього підходять шини 23,1R26. Для їх здвоювання на орно-просапному тракторі ХТЗ-160 нами відповідним чином був удосконалений виготовлюваний ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» подвоювач коліс.

Переобладнаний трактор використовували на двох ранньовесняних операціях. Першою із них було боронування зябу. Технологічна частина МТА включала при цьому зчеп СГ-21 з 21 бороною БЗТС-1,0 (табл. 2). При отриманих значинах ширини захвату (20,53 м) та робочій швидкості руху (8,17 км/год.), продуктивність дослідного агрегату становила 16,7 га за 1 год. основного (чистого) часу. Питомі витрати палива дорівнювали при цьому 0,81 кг/га. Це на 10% менше, ніж при використанні на цій же операції серійного колісного трактора Т-150К у складі аналогічного машинно-тракторного агрегату.

Після боронування найбільш розповсюдженою операцією є суцільна культивация зябу. На півдні України найчастіше для цього використовують зчеп двох культиваторів типу КПС-4 (табл. 2). При продуктивності 5,6 га за 1 год. основного часу питомі витрати палива дослідним МТА дорівнювали 3,8 кг/га. Це, при значно меншому ущільненні ґрунту, знаходиться приблизно на одному рівні з таким же показником для аналогічного МТА на базі Т-150К.

Оскільки за своїми тягово-зчіпними властивостями трактор ХТЗ-160 відноситься до енергетичних засобів тягового класу 3, то на сівбі зернових колосових культур його (за відсутності моноблочних широкозахватних машин) бажано використовувати з трьома сівалками типу СЗ-3,6. У новому агрегаті замість причіпного застосовували напівнавісний зчеп СН-75, який приєднували попереду енергетичного засобу, налаштованого на реверсивний хід (табл. 2). Дві сівалки при цьому навішували на навісні механізми зчепу, а третю агрегували безпосередньо з трактором. У результаті такого переналаштування МТА мав невелику кінематичну довжину.






Для запобігання зіткнення бокових сівалок з передніми (некерованими) колесами трактора відстань між осями коліс цих машин та точками їх приєднання до зчепу (l_c) вибирали із наступної умови:

$$B_{\text{ц}} > 2 \cdot \sqrt{[(l_c + r_c)^2 + (B_c/2 + b_c)^2]} - K_0^2 - B_c + B_{\text{т}} + b_{\text{ш}}, \quad (10)$$







де $B_{\text{ц}}$ – ширина захвату центральної сівалки, м; r_c , b_c , B_c – радіус і ширина шини колеса, а також ширина захвату сівалки відповідно, м; K_0 – відстань від колеса трактора до рами зчепу, м; $B_{\text{т}}$, $b_{\text{ш}}$ – колія та ширина шини колеса трактора відповідно, м.

Для дослідного МТА дійсна значина l_c дорівнювала 2,05 м, що було більшим за мінімально допустиму $l_c = 1,80$ м, визначену із виразу (10). В результаті, як показали результати польових випробувань, під час руху на поворотній смузі колеса бокових зернових сівалок та передні рушії трактора ХТЗ-160 прокладали практично еквідистантні траєкторії.

Таблиця 2 – Експлуатаційно-технологічні показники роботи МТА на основі орно-просапного трактора

МТА \ Показник					
Знаряддя	СГ-21	2 КПС-4	СН-75+3 СЗ-3,6	«Optima»	ЖВН-6+БДН-3
Вр, м	20,53	7,83	10,65	8,40	5,90
Вр, км/год.	8,17	7,20	9,00	12,20	8,30
W _о , га/год.	16,7	5,6	9,58	10,2	4,9
W _{зм} , га/год.	14,2	4,9	6,70	6,6	3,9
G, кг/га	0,81	3,8	1,35	2,2	4,3
τ _{зм}	0,85	0,88	0,70	0,65	0,80
λ _{тп}	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
φ	0,92	0,94	0,94	0,92	0,94

Таблиця 2 (продовження)

МТА \ Показник						
Знаряддя	КСС-2,6	БДТ-7	ПРР+ПЛН-4-35	БДН-3 + ПЧ-2,5	плуги (2 + 4)	ПЛН-5-35
Вр, м	2,50	6,70	1,42	2,58	2,15	1,76
Вр, км/год.	5,30	6,70	7,56	8,06	5,76	8,64
W _о , га/год.	1,3	4,5	1,07	2,08	1,24	1,52
W _{зм} , га/год.	1,2	3,9	0,91	1,89	1,03	1,35
G, кг/га	11,1	4,8	19,6	10,6	24,3	14,5
τ _{зм}	0,88	0,86	0,85	0,90	0,83	0,89
λ _{тп}	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99
φ	0,95	0,90	0,94	0,88	0,88	0,95

Вр – ширина захвату; Вр – швидкість руху; W_о – основна продуктивність праці; W_{зм} – змінна продуктивність праці;

G – витрати палива; τ_{зм} – коеф. використання часу зміни; λ_{тп} – коеф. надійності технологічного процесу; φ – коеф. робочих ходів

На сівбі просапних культур з міжряддями 70 см трактор серії ХТЗ-160 агрегували з дванадцятирядною сівалкою «Optima», робочі органи якої розставлені з міжряддями 70 см (див. табл. 2). Цю машину навішували на енергетичний засіб асиметрично з допомогою спеціально розробленого пристрою. Величина асиметрії дорівнювала половині міжряддя і становила 35 см.

Непрямолінійність переміщення асиметричного МТА оцінювали за розробленим в ТДАТУ частотно-дисперсійним показником. Згідно з ним непрямолінійність руху агрегату вважається прийнятною, якщо дисперсія (D) і частота зрізу нормованої спектральної щільності ($\omega_{зр}$) дійсних коливань оцінюваної траєкторії відповідають таким вимогам: $D \leq 12,50 \text{ см}^2$; $\omega_{зр} \leq 0,25 \text{ м}^{-1}$.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що за швидкості робочого руху асиметричного посівного МТА до 12,2 км/год. дисперсія коливань амплітуди його траєкторії не перевищувала 11,8 см², а частота зрізу нормованих спектральних щільностей була не більшою за 0,24 м⁻¹. При встановлених 70 см, дійсна середня значина стикових міжрядь становила 73,0 см, а середнє квадратичне відхилення – $\pm 2,4$ см.

Подальше випробування просапного МТА передбачало оцінку його роботи на міжрядному обробітку сходів с.-г. культури. Для здійснення цієї технологічної операції трактор серії ХТЗ-160 агрегували з серійним просапним культиватором КРН-8,4. Як і сівалка, це знаряддя асиметрично (тобто з поперечним зміщенням 35 см) навішували на вказаний енергетичний засіб з допомогою згадуваного вище зчпного пристрою. Під час міжрядного обробітку посівів соняшнику дослідний агрегат рухався зі швидкістю 1,94 м/с (6,98 км/год.). Робочі органи культиватора були відрегульовані на глибину обробітку ґрунту 6 см і ширину односторонньої захисної зони 16 см. Дійсна значина глибини міжрядної культивації посівів соняшнику змінювалась в межах $6,5 \pm 0,3$ см. Середнє квадратичне відхилення (або стандарт) даного показника становило при цьому $\pm 1,6$ см.

Дійсна середня значина захисної зони дорівнювала $15,44 \pm 0,16$ см при середньому квадратичному відхиленні $\pm 0,9$ см і коефіцієнтові варіації 6,3%. Основна доля дисперсії коливань цього параметра була зосереджена в діапазоні хвильових чисел 0...0,30 м⁻¹. При швидкості руху просапного машинно-тракторного агрегату 1,94 м/с це відповідає діапазону частот 0...5,8 с⁻¹ або 0...0,93 Гц.

Імовірність збереження агротехнічного допуску (± 3 см) на відхилення ширини захисної зони під час міжрядного обробітку посівів соняшнику дослідним МТА становила не менше 88%. Можлива частота виходу за межі допуску дорівнювала 0,0024 м⁻¹, тобто 1 викид на кожні 417 м робочого шляху. Як показали результати експериментальних досліджень, підрізання культурних рослин при цьому не перевищувало 1%.

Збирання зернових колосових культур, посіяних розглянутим вище дослідним трисівалковим агрегатом, здійснювали МТА у складі орно-просапного трактора, фронтальної навісної валкової жнивarki ЖВН-6Б та задньонавісної дискової борони БДН-3,0 (табл. 2).

Для навішування жнивarki на трактор використовували спеціальний перехідний адаптер. За його наявності на агрегування всього жниварно-луцильного агрегату два механізatori витрачають не більше 6 хвилин.

У першому варіанті цього МТА трактор налаштовувався на реверсивний хід. Необхідність такого схемного рішення обумовлена ймовірністю недостатньої оглядовості робочих органів жнивarki з місця механізатора у випадку її навішування на передній навісний механізм енергетичного засобу.

У зв'язку з цим перед проведенням лабораторно-польових досліджень було оцінено оглядовість передньої частини жниварно-луцильного агрегату з місця водія. Визначений згідно з методикою ОСТ 70.2.4-73 коефіцієнт оглядовості складав 0,64, що вважається задовільним.

Другий етап лабораторно-польових робіт передбачав дослідження жниварно-луцильного агрегату, налаштованого на прямий хід.

Аналіз експериментальних даних показав, що робоча ширина захвату жатки на скошуванні у валки сільськогосподарських культур змінювалась в межах 5,2...5,9 м. Спектр дисперсій коливань цього параметру можна вважати низькочастотним, адже практично для усіх скошуваних культур частота зрізу нормованої спектральної щільності не перевищує $0,7 \text{ м}^{-1}$. Максимуми нормованих спектральних щільностей коливань ширини захвату валкової жнивarki припадають на частоти $0,25...0,35 \text{ м}^{-1}$. За швидкості руху жниварно-луцильного агрегату $2,0 \text{ м/с}$ – це $0,5...0,7 \text{ с}^{-1}$ або лише $0,08...0,11 \text{ Гц}$. Якби вказаний агрегат був менш стійким у горизонтальній лощині, то спектр вказаних частот був би значно більшим.

В залежності від урожайності та висоти культурних рослин жаткою формувався валок шириною від $1,05$ до $1,55 \text{ м}$ і товщиною від $0,28$ до $0,44 \text{ м}$. Коливання цих параметрів в середньому можна вважати низькочастотними, оскільки їхні дисперсії були зосереджені у досить вузькому діапазоні частот – $0...0,63 \text{ м}^{-1}$. За швидкості руху жниварно-луцильного МТА $2,0 \text{ м/с}$ це становить $0...1,26 \text{ с}^{-1}$ або $0,2 \text{ Гц}$. Відсутність високочастотного тренду коливань ширини валка опосередковано вказує на задовільну стійкість руху збирального агрегату.

Натомість, процес коливання висоти стерні практично усіх скошуваних сільськогосподарських культур був значно ширшим у частотному плані і суттєво меншим у енергетичному (тобто за дисперсією). Так, наприклад, при збиранні у валки вівса та суданської трави основна часка дисперсії коливань цього параметра зосереджена у діапазоні частот $0...3,0 \text{ м}^{-1}$. У порівнянні зі спектральними щільностями коливань товщини і ширини валка – це майже в п'ять разів більше. Але і дисперсія коливань висоти стерні у порівнянні з аналогічними характеристиками коливань товщини і ширини валка – менша майже втричі. Слід підкреслити, що середнє квадратичне відхилення (тобто стандарт) коливань висоти стерні усіх збираних сільськогосподарських культур жниварно-луцильним агрегатом не перевищувало $\pm 3,4 \text{ см}$.

Валок розташовувався на стерні, середня значина ширини якої становила $2,10 \text{ м}$. Середня ширина незлущеної смуги вздовж кожної сторони валка дорівнювала при цьому $0,5 \text{ м}$ (рис. 18). Цього було досить для того, щоб унеможливити попадання в нього грудочок ґрунту після проходження дискової борони.

Ті ж грудки, які знаходилися на межі незлущеної смуги стерні зі злущеною, не потрапляли в бункер комбайна. Це було обумовлено таким налагоджуванням підбирача валків, за якого його пальці не зачіпали поверхні поля, а безпосередньо піднімали валок сільськогосподарської культури.

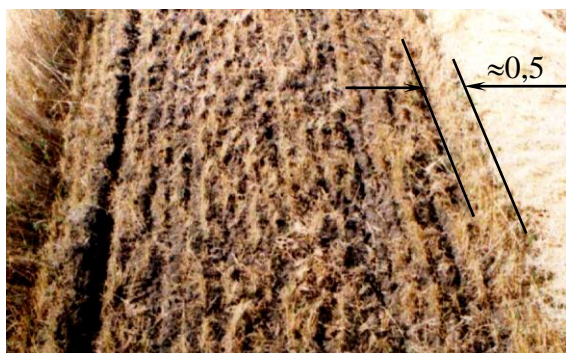


Рис. 18 – Фон міжвалкового простору після проходження жнивально-луцильного МТА

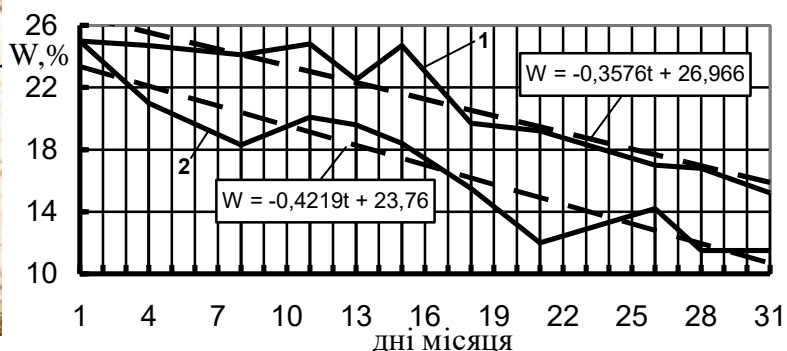


Рис. 19 – Вологість ґрунту на злуценій (1) і необробленій (2) ділянках

Дослідження процесу динаміки вологи в ґрунті показав, що інтенсивність її зміни на необробленій ділянці (крива 2, рис. 19) вища, ніж на злуценій (крива 1, рис. 19). Різниця між вологістю ґрунту на порівнюваних агротехнічних фонах в абсолютному вимірі становить 3...4%. А це однозначно вказує на користь комбінування технологічних операцій луцення міжвалкового простору одночасно зі скошуванням зернових колосових культур у валки.

Оскільки після вирощування кукурудзи на силос є її збирання, то найбільш розповсюдженою машиною для здійснення цієї операції виступає силосозбиральний комбайн (типу КСС-2,6). Проте, традиційне його агрегування з трактором типу ХТЗ-160 не ефективне. Причина полягає в колії цього енергетичного засобу, яка становить 2100 мм. При симетричному приєднанні силосозбирального комбайна до орно-просапного трактора праві колеса останнього переходять за правий подільник КСС-2,6, що призводить до зменшення його робочої ширини захвату.

Для забезпечення використання повної ширини захвату КСС-2,6 останній приєднували до орно-просапного трактора асиметрично шляхом зміщення вправо (якщо дивитися ззаду) точки його причеплення. Значину кута між причіпною сницею силосозбирального комбайна та карданним валом зменшили до 12° завдяки відповідному зміщенню вліво проміжної підшипникової опори сниці комбайна (рис. 20).



Рис. 20 – Асиметричне приєднання комбайна КСС-2,6 до орно-просапного трактора при зміщеній підшипниковій опорі карданної передачі комбайна

Агрегат з таким приєднанням силосозбирального комбайну характеризується подвійною асиметрією. Перша обумовлюється боковим розміщенням причіпної машини, а друга – поперечним зміщенням точки її приєднання до трактора.

Проте, як показав аналіз даних лабораторно-польових досліджень і експлуатаційно-технологічних випробувань, (табл. 2), тракторні показники МТА при цьому не погіршуються.

Розрахунки показують, що для збирання кукурудзи на силос урожайністю 400...500 ц/га на швидкості близько 2 м/с

(7,2 км/год.) комбайном з робочою шириною захвату 2,5 м потрібен трактор потужністю двигуна 115...135 кВт (156...184 к.с.). Таким вимогам практично повністю відповідає сучасний орно-просапний трактор серії ХТЗ-160, обладнаний двигуном німецької фірми «Дойтц», потужність якого становить 180 к.с.

На подрібненні стерні зернових колосових і грубостеблових культур (кукурудза, соняшник) орно-просапний трактор використовували з серійними машинами: луцильником ЛДГ-15 та дисковою бороною БДТ-7. В агрегаті з останньою трактор обладнували шинами типу 23,1R26.

З аналізу результатів експлуатаційно-технологічних випробувань випливає (табл. 2), що основні показники роботи агрегатів на базі орно-просапного трактора практично відповідають нормативним показникам аналогічних МГА на основі колісного трактора класу 3 (Т-150К). Так, в агрегаті з луцильником ЛДГ-15 енергетичний засіб ХТЗ-160 працював зі швидкістю до 7 км/год. За 7 годин змінного часу наробіток становив 52 га і більше. Погектарні витрати палива при цьому дорівнювали в середньому 2,7 кг/га. Змінний наробіток ХТЗ-160 з дисковою бороною БДТ-7 – не менше 27 га. Питомі витрати палива дорівнювали при цьому – 4,8 кг/га. Рух луцильного і дискувального МГА на гоні характеризувався задовільною керованістю та стійкістю, що забезпечувало високу якість роботи.

Подрібнення стерні грубостеблових культур з одночасним загортанням рослинних решток у ґрунт здійснювали агрегатом у складі орно-просапного трактора, фронтального подрібнювача під умовною маркою ПРР-1,5 та задньонавісного плуга ПЛН-5(4)-35 (табл. 2).

Енергетичний засіб налагоджували як у варіанті реверсивного, так і прямого руху. У варіанті прямого переміщення енергетичного засобу максимальна значина взаємної нормованої кореляційної функції, яка репрезентує зв'язок кута повороту його керованих коліс і курсового кута, є дещо більшою, ніж при налаштуванні на реверсивний рух (рис. 21).

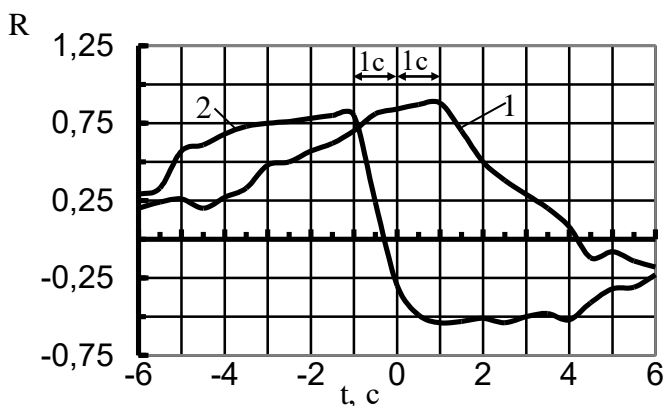


Рис. 21 – Взаємна кореляційна функція коливань кута повороту керованих коліс трактора і його курсового кута при прямому (1) і реверсивному (2) варіантах руху

Більше того, якщо за реверсивного руху трактора у складі орно-подрібнювального агрегату максимум взаємної кореляційної функції знаходиться у другій чверті, то за прямого переміщення енергетичного засобу – у першій. А це говорить про наступне: за реверсивного руху трактора вхідним параметром є його курсовий кут, а вихідним – кут повороту керованих коліс. У цьому випадку механізатор змушений впливати на кермо так, щоб виправити (відновити) курсовий кут трактора, який змінився під впливом тих чи інших зовнішніх чинників.

При переміщенні ХТЗ-160 прямим ходом усе відбувається навпаки: зміна його курсового кута є результатом реакції на керуючий вплив, що є більш природним.

За обох варіантів налаштування трактора у складі даного МТА час запізнення його реакції на вхідний вплив практично однаковий і становить 1 с (рис. 21).

Застосування більш потужного трактора серії ХТЗ-160 (ХТЗ-16331, 165 к.с.) замість ХТЗ-120 (145 к.с.) дозволяє приблизно за одних і тих же ґрунтових умов і практично однакової глибини оранки реалізувати більшу швидкість робочого руху. Під час досліджень приріст цього показника становив майже 20%. Це, а також дещо більша (хоча і статистично випадкова) робоча ширина захвату, забезпечило МТА на основі трактора ХТЗ-16331 більшу продуктивність праці (на 22%), а також менші питомі витрати палива – на 9,3%.

Іншим варіантом подрібнення та загортання стерні ґрубостеблових культур у ґрунт є застосування МТА у складі орно-просапного трактора, фронтально навішеної дискової борони (БДН-3) та задньонавісного плуга-чизеля ПЧ-2,5 (табл. 2). Для агрегування дискового знаряддя в режимі штовхання кожен із чотирьох його дискових секцій повернули у горизонтальній площині на 90° . Поворотність дискової борони відносно трактора у плані унеможливили шляхом блокування нижніх тяг переднього навісного механізму трактора.

Робоче переміщення дискової борони і плуга-чизеля потребує тягового зусилля обох мостів трактора. Згідно із виведеною залежністю (9) для забезпечення оптимальної кінематичної невідповідності в приводі ходової системи повнопривідного енергетичного засобу з однаковими колесами відношення тиску повітря в шинах задніх коліс до тиску повітря в передніх рушіях має бути таким же, як і відношення вертикального навантаження на задній міст (G_3) до вертикального навантаження на передній міст трактора (G_n).

Розрахунками встановлено, що при горизонтальному положенні нижніх тяг заднього навісного механізму ХТЗ-160 ($\beta_3 = 0^\circ$) і куті нахилу його центральної тяги $\alpha_3 = 15^\circ$ зміна кута нахилу нижніх тяг ПНМ від $\beta_n = 0^\circ$ до $\beta_n = 6^\circ$ по різному впливає на реакції G_n і G_3 . За такого конструктивного заходу передній міст трактора розвантажується з $G_n = 53$ кН до свого статичного рівня $G_{ст} = 50$ кН (суцільна крива 2, рис. 22).

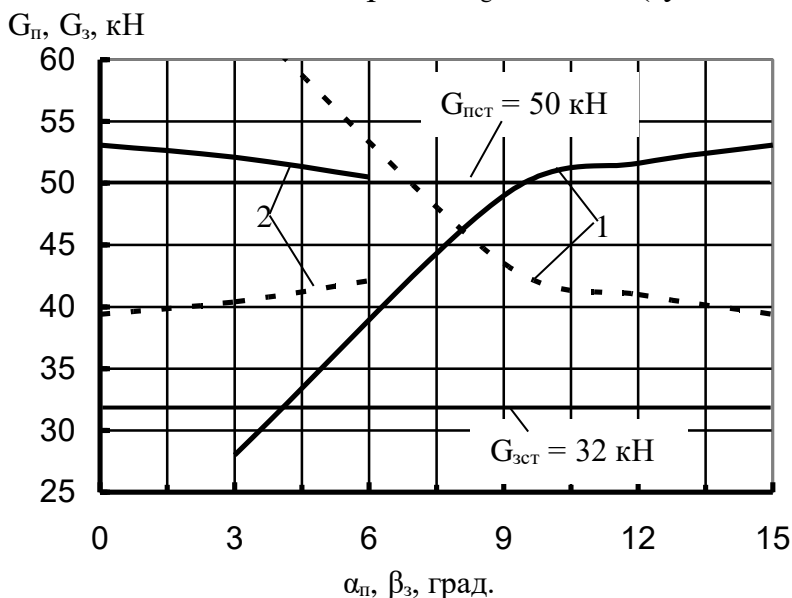


Рис. 22 – Залежність вертикальних реакцій G_n (—) і G_3 (---) від кутів α_n (1) і β_n (2)

Водночас, вертикальне навантаження заднього моста енергетичного засобу, постійно перевищуючи статичну значину $G_{ст} = 32$ кН, зростає з 40 до 42,5 кН (пунктирна крива 2, рис. 22). Збільшення кута нахилу центральної тяги ПНМ трактора, навпаки, збільшує довантаження його переднього мосту і зменшує заднього. Особливо інтенсивно цей процес здійснюється при зростанні α_n до 10° (криві 1, рис. 22).

Установлення центральної тяги ПНМ трактора з кутом нахилу $\alpha_n = 4^\circ$ взагалі може обумовити

розвантаження переднього мосту до статичного рівня заднього при одночасному перевантаженні останнього на 20%.

Звідси випливає, що нахил центральної тяги (α_n) має дорівнювати щонайменше 10° . Реакція G_n при цьому практично дорівнює $G_{пст}$, а реакція G_z зростає до 42 кН, але не перевищує максимально допустиму $G_{доп} = 50,5$ кН.

Кут нахилу нижніх тяг доцільно встановлювати на рівні $\beta_n = 5^\circ$. Таке конструктивне рішення практично не обумовлює перевантаження переднього мосту трактора, але сприяє певному (причому допустимому) довантаженню заднього мосту енергетичного засобу.

З урахуванням вищевикладених результатів розрахунків реальне відношення між вертикальними навантаженнями на мости трактора у складі дисковально-чизельного МТА слід очікувати таким: $G_n/G_z = 1,12$. З урахуванням цього, а також залежності (9), рекомендованими значинами тиску повітря в шинах коліс орнопросапного трактора є: $p_n = 0,112$ мПа, а $p_z = 0,100$ мПа.

Експлуатаційно-технологічну оцінку даного МТА, налаштованого з урахуванням вищевикладених результатів, проводили на обробці поля після збирання соняшнику. Щільність ґрунту в шарі 0...15 см становила при цьому $1,38$ г/см³, а вологість – 12,3%. За такого стану агрофону внаслідок високого буксування рушіїв трактора (більше 24%) робота агрегату на глибині чизелювання більше 27 см виявилася неможливою. Дійсна значина основного обробітку ґрунту змінювалась у діапазоні $26,2 \pm 0,8$ см. Задовільне подрібнення та загортання стерні соняшнику дисковою бороною забезпечувало роботу агрегату без зупинок, обумовлених забиванням плуга-чизеля рослинними рештками.

Як і у складі орно-подрібнювального, так і виключно орного агрегатів трактор типу ХТЗ-160 має рухатися правими колесами у борозні. Проте на практиці виявилося, що при приєднанні серійного плуга ПЛН-5-35 перший його корпус йде по борозні, а тому практично не використовується в процесі оранки. В результаті конструктивна ширина захвату орного машинно-тракторного агрегату становить не 175, а лише 140 см, тобто на 20% менше.

Усунення вказаного недоліку здійснили шляхом застосування лівостороннього поперечного зміщення плуга. Для цього його приєднувальні бугелі перемістили на рамі на 215 мм вліво (рис. 23). У цьому ж напрямку змістили і точку приєднання центральної розкосини знаряддя (рис. 24). Польові дошки на перших чотирьох корпусах плуга були видалені (рис. 25).

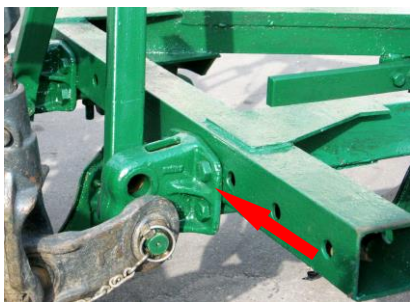


Рис. 23 – Лівостороннє зміщення бугелів плуга та позиції понижувача

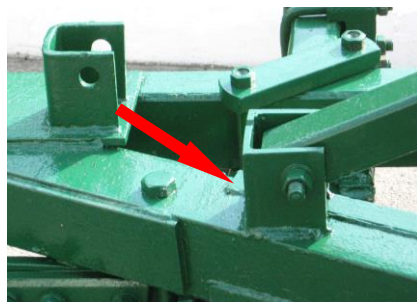


Рис. 24 – Зміщення точки приєднання центральної розкосини плуга



Рис. 25 – Плуг ПЛН-5-35 зі знятими чотирма передніми польовими дошками

Випробування переобладнаного орного машинно-тракторного агрегату на основі орно-просапного трактора проводили на полі, вологість ґрунту якого в шарі 0...25 см складала 17,8%. Плуг ПЛН-5-35 був відрегульований на глибину оранки 25 см. Орний агрегат рухався зі швидкістю 2,3...2,5 м/с. Робоча ширина агрегату становила 1,76 м. Дійсна середня значина глибини оранки новим агрегатом була 24,3 см. Середнє квадратичне відхилення цього показника ($\pm 1,8$ см) не перевищувало агротехнічно допустиме (± 2 см). Буксування рушіїв орно-просапного трактора не перевищувало 11%, а витрати палива дорівнювали 14,5 кг/га.

Спектр коливань траєкторії борозни, утвореної останнім корпусом плуга, був низькочастотним. Основна доля дисперсії цього показника знаходилась у діапазоні 0...0,63 м⁻¹. При середній швидкості руху орного агрегату 2,4 м/с це становило усього 0...1,5 с⁻¹ або 0...0,24 Гц (рис. 26).

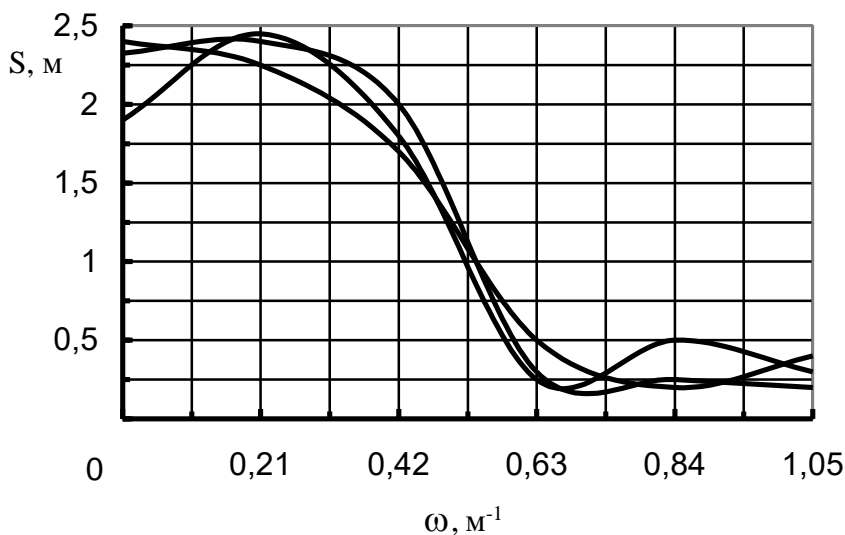


Рис. 26 – Нормовані спектральні щільності коливань траєкторії борозни плуга

Вказаний частотний діапазон коливань плуга говорить про те, що видалення його перших чотирьох польових дощок не призводить до погіршення стійкості руху розглядуваного орного машинно-тракторного агрегату в горизонтальній площині. Водночас, саме такий захід обумовлює зменшення тягового опору плуга. У кінцевому рахунку це і призводить до зменшення питомих витрат палива орним агрегатом до 10%.

Більш ефективним варіантом використання орно-просапного трактора на оранці є застосування МТА за схемою «push-pull» (див. табл. 2). У процесі досліджень розглядали дві схеми агрегату. Їх технологічні частини складали: 1) задньонавісний п'ятикорпусний плуг – схема «0+5»; 2) фронтальний двокорпусний і задньонавісний чотирьокорпусний плуги – схема «2+4».

З урахуванням результатів теоретичних досліджень фронтальний плуг приєднували до трактора жорстко, тобто без можливості його повороту у горизонтальній площині. Це здійснювали шляхом блокування розтяжками нижніх тяг переднього механізму трактора.

Опорне колесо вказаного орного знаряддя розташували на рамі так, щоб у процесі виконання технологічного процесу воно рухалося поза борозною.

Для стабільного руху заглибленого передньонавісного орного знаряддя кути нахилу центральної (α) і нижніх (β) тяг переднього навісного механізму приймали такими, щоб виконувалась умова $\alpha < \beta$. У реальних умовах експлуатації орного МТА ці параметри були такими: $\alpha = 0^\circ$; $\beta = 4^\circ$.

Застосування орного агрегату за схемою «2 + 4» у порівнянні з агрегатом за схемою «0 + 5» дозволило, за рахунок більшої кількості робочих корпусів (шість замість чотирьох) збільшити робочу ширину захвату на 20,3%.

Швидкість робочого руху у нового МТА була меншою на 3,25%. Водночас, за рахунок більшої ширини захвату змінна продуктивність була на 18% більшою, ніж у базового. За приблизно однакових погодинних витрат пального двигуном трактора на рівні 28 кг/год. питомі витрати палива орним агрегатом за схемою «2 + 4» виявилися на 11,8% меншими.

Високі технологічні властивості орно-просапного трактора дають можливість реалізувати з його допомогою технологічні операції колійної системи землеробства, однією із її різновидів є «strip-till» технологія вирощування просапних культур.

Найбільш важливою операцією цієї технології є смуговий основний обробіток ґрунту. Оскільки у розпушені з осені смуги навесні здійснюють сівбу просапної культури, то до їх прямолінійності висувають досить жорсткі вимоги.

Агрегат для здійснення смугового обробітку ґрунту включав орно-просапний трактора серії ХТЗ-160 та задньонавісний плуг-чизель ПЧ-4,5 з п'ятьма робочими органами, розставленими з міжряддями 70 см.

За вологості ґрунту 18,5% і його щільності 1,13 г/см³ дійсна значина глибини основного смугового обробітку дослідної ділянки поля при коефіцієнті варіації 4,2% змінювалась в діапазоні 23,8±0,2 см. Вихід коливань середньої значини цього показника за межі ±2 см можливий був лише в 9 випадках на кожних 100 м робочого шляху МТА.

Середня значина стикових міжрядь після проходу МТА становила 71,1±0,2 см, дисперсія – 1,04 см², а коефіцієнт варіації – 1,5%. Довжина кореляційного зв'язку (коли $\rho = 0$) процесу коливання стикових проходів агрегату дорівнює приблизно 8 м (крива 2, рис. 27а).

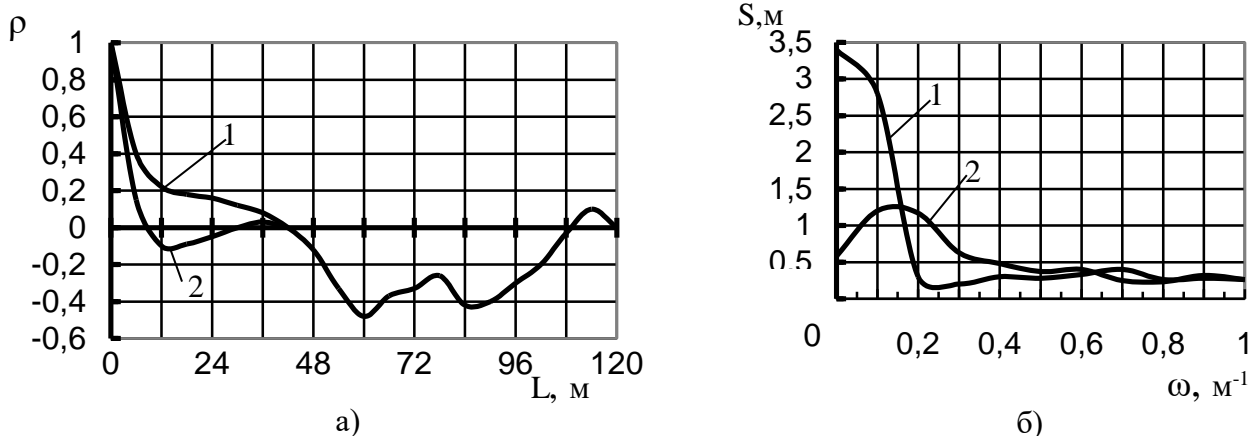


Рис. 27 – Нормовані кореляційні функції (а) і спектральні щільності (б) коливань слідів розпушених смуг (1) і стикових проходів МТА (2)

У порівнянні зі стиковими проходками, коливання слідів розпушених смуг за практичної тієї ж дисперсії є більш низькочастотними. Так, довжина кореляційного зв'язку цього процесу становить 42 м (крива 1, рис. 27а). Основний спектр дисперсії зосереджений в діапазоні частот $\omega = 0 \dots 0,22 \text{ м}^{-1}$ (крива 1, рис. 27б). А це відповідає тим жорстким вимогам, які висуваються до непрямолінійності рядків просапних культур: дисперсія коливань – не більше 12,5 см², а частота зрізу нормованої спектральної щільності – не більше 0,25 м⁻¹.

Порівняльна оцінка виконання низки технологічних операцій агрегатами на основі високо універсального орно-просапного трактора серії ХТЗ-160 і аналогічними МТА на базі серійних енергетичних засобів (табл. 3) показує, що застосування нових комбінованих та широкозахватних машинно-тракторних агрегатів замість базових аналогічного призначення дозволяє зменшити сукупні витрати на 4,5...40,0%.

Таблиця 3 – Порівняльна техніко-економічна оцінка комбінованих агрегатів на основі орно-просапного трактора

МТА на основі орно-просапного трактора	Склад нових МТА	База для порівняння	Зменшення сукупних витрат, %
Жнивально – луцильний	ХТЗ-160 + ЖВН-6 + БДН-3	СК-5 + ЖВН-6 ХТЗ-170 + БДТ-7	32,9
Орно – подрібнювальний	ХТЗ-160 + ПРР-1,5 + ПЛН-5-35	ХТЗ-170 + БДТ-7 ХТЗ-170 + ПЛН-5-35	33,3
Орний	ХТЗ-160 + ПЛН-2-35 + ПЛН-4-35	ХТЗ-170 + ПЛП-6-35	4,5
Дискувально – чизельний	ХТЗ-160 + БДН-3 + ПЧ-2,5	ХТЗ-170 + БДТ-7 ХТЗ-170 + ПЧ-2,5	28,5
Грунтообробно – посівний	ХТЗ-160 + БП-8 + СУПН-12	ХТЗ-170 + КПС-8 ЮМЗ-80 + СУПН-8	40,0
Посівний	ХТЗ-160 + СН-75 + ЗСЗ-3,6	ХТЗ-170 + СП-16 + ЗСЗ-3,6	9,8

Розрахунками встановлено, що для практичного впровадження такої, розповсюдженої на півдні України чотирипільної сівозміни, як «озима пшениця – горох – соняшник – пар» на площі від 300 до 1000 га потреба в тракторах ХТЗ-160 на перевищує одного. При цьому його річне завантаження змінюється від 350 до 1770 год. В останньому варіанті (тобто при 1770 год.) розподіл цього показника протягом року є рівномірним, а його значина практично відповідає рекомендованому для умов півдня України (1700 год.) зональному річному завантаженню енергетичних засобів тягового класу 3.

Практичне освоєння сівозміни сільськогосподарських культур площею до 1000 га потребує наявності 2-х тракторів типу ХТЗ-160 при річному завантаженні кожного близько 1140 год. Нормативний річний рівень (1350 год.) цього показника забезпечується на площі не менше 1000 га.

Для реалізації чотирипільної сівозміни, яка розглядається, агрегатами на основі серійних енергетичних засобів, потрібні трактори двох тягових класів: 1,4 (типу ЮМЗ-80, МТЗ-80) та 3 (типу Т-150К або ХТЗ-170). Впровадження замість них одного орно-просапного трактора серії ХТЗ-160 на площі 1000 га приводить до зменшення витрат праці на 28%, сукупних витрат – до 40%, збільшення річного завантаження нового енергетичного засобу порівняно з Т-150К – на 35%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена проблема покращення техніко-експлуатаційних показників роботи МТА на основі орно-просапних тракторів шляхом розробки і впровадження фундаментальних теоретичних основ їх агрегування. На основі проведених досліджень зроблені такі основні висновки.

1. На підставі аналізу літературних джерел встановлено, що одним із шляхів подальшого розвитку тракторної енергетики України є впровадження орно-просапних тракторів, потенційні технологічні властивості яких дозволять їм практично з однаковою ефективністю використовуватися як при операціях основного і поверхневого обробітку ґрунту, так і при вирощуванні та збиранні зернових колосових і просапних сільськогосподарських культур.

Згідно з розробленою методикою оцінки технологічних властивостей цих енергетичних засобів встановлено, що за запропонованим новим показником технологічної придатності до роботи у складі нових комбінованих машинно-тракторних агрегатів ($K_{\text{тп}} = 0,8$) і показником технічного рівня ($K_1 = 1,12$) вони переважають аналогічні за призначенням трактори вітчизняного та закордонного виробництва, а тому є перспективними для широкого впровадження у сільськогосподарське виробництво країни.

2. Використовуючи потенційні технологічні властивості орно-просапного трактора при виконанні різних сільськогосподарських операцій, розроблено нові математичні моделі функціонування МТА, зокрема жнивально-луцильного. Встановлено, що у цьому комбінованому агрегаті трактор повинен бути налаштований на прямий хід, а фронтальна жниварка і задньонавісне дискове знаряддя мають приєднуватися до нього без поворотності у горизонтальній площині. Проведені чисельні розрахунки складених диференціальних рівнянь плоско-паралельного руху даного агрегату показали, що така динамічна система при коливаннях кута повороту керованих коліс енергетичного засобу в прийнятному для практики діапазоні частот $\omega = 0 \dots 2 \text{ с}^{-1}$ характеризується високою стійкістю і керованістю руху, що забезпечує якісне виконання технологічного процесу з дотриманням агротехнічних вимог.

3. Чисельний розв'язок нової математичної моделі, яка відтворює реалізацію використання орно-просапного трактора з асиметрично агрегованими широкозахватними сільськогосподарськими машинами при 12-и рядній системі вирощування просапних культур з міжряддями 70 см показав, що поперечне зміщення просапної сівалки і культиватора на половину ширини міжряддя (35 см) не погіршує траєкторні показники агрегатів. Встановлено, що непрямолінійність руху такого асиметричного посівного МТА з робочою швидкістю близько 3 м/с відповідає агротехнічним вимогам до непрямолінійності траєкторій сходів просапних культур (дисперсія коливань рядків посівів не перевищує $12,5 \text{ см}^2$, а їх частота є меншою за $0,25 \text{ м}^{-1}$). Імовірність збереження агротехнічного допуску на відхилення ширини захисної зони під час міжрядного обробітку посівів соняшнику асиметричним дослідним МТА складає не менше 88%, а можлива частота виходу просапним культиватором за межі допуску дорівнює $0,0024 \text{ м}^{-1}$ або всього лише один раз на 417 м робочого шляху. Аналогічні результати були отримані при агрегуванні асиметричних збиральних агрегатів.

4. Дослідження руху комбінованого агрегату за схемою «push-pull» у поздовжньо-вертикальній площині показали, що для забезпечення максимального заглиблювального моменту, який діє на фронтальне знаряддя (плуг) і одночасного забезпечення запобігання розвантаження передніх керованих коліс орно-просапного трактора нижні тяги його переднього навісного механізму можуть бути нахилені лише під позитивним кутом (тобто спрямовані уверх). Причому, значення цього кута має знаходитися в діапазоні $2...6^\circ$ і бути більшим за позитивний кут нахилу центральної тяги, який може змінюється в діапазоні $0...4^\circ$. Отримані значення кутів параметрів переднього навісного механізму трактора дали можливість визначити необхідну висоту приєднувального трикутника начіпного пристрою фронтального знаряддя.

5. Отримано нову аналітичну залежність (б), яка дозволяє здійснити взаємообумовлений вибір основних конструктивних параметрів (ширина захвату, сила ваги, вертикальне навантаження на рушії і тиск повітря в їх шинах) і режиму роботи (швидкість руху, коефіцієнт кінематичної невідповідності в приводі ходової системи трактора) комбінованого МТА у складі фронтальної машини з активним приводом робочих органів і задньоагрегованого знаряддя. Розрахунки за цією залежністю показали, що у орно-подрібнювального агрегату оптимальна ширина захвату фронтального подрібнювача рослинних решток і задньонавісного плуга має становити $2,05...2,12$ м за глибини обробітку ґрунту $0,22$ м і $1,65...1,70$ м – при збільшенні її до $0,30$ м. Оптимальне значення швидкості робочого руху припадає на діапазон $2,0...2,2$ м/с ($7,2...7,9$ км/год.). Для реалізації цих режимів максимальна потужність двигуна орно-просапного трактора має дорівнювати 118 кВт ($N_e = 160$ к.с.), що цілком реально для трактора типу ХТЗ-160 ($N_e = 165$ к.с.).

6. Як показав аналіз розрахунків, проведених на базі нових математичних моделей із чотирма узагальненими координатами, характер вертикальних коливань комбінованих МТА мало залежить від переналагоджування орно-просапного трактора з прямого ходу на реверсивний. Встановлено, що значно більший вплив на цей процес здійснюють коефіцієнти жорсткості шин, які, з точки зору бажаного відпрацювання коливань профілю агрофону, для рушіїв трактора мають бути в межах $400...450$ кН/м, для опорних коліс фронтальних знарядь масою на рівні 300 кг – в межах $100...150$ кН/м, а для задньоагрегованих знарядь (плугів ПЛН-4(5)-35) – не менше 150 кН/м.

7. У результаті математичного моделювання і експериментальних досліджень встановлено, що коливання тягового опору агрегованих знарядь (на прикладі задньонавісного плуга) здійснюють значно менший вплив на плавність руху орно-просапного трактора, ніж вертикальні коливання поздовжнього профілю шляху. Так, у складі орного за схемою «push-pull» і орно-подрібнювального агрегатів максимальне значення амплітуди коливань його переднього моста припадає на резонансні частоти коливань профілю поля $\omega = 11,5...12,0$ с⁻¹ і при середньоквадратичному відхиленні тягового опору плуга $\pm 3,8$ кН не перевищує незначну величину в 9 мм. Поза межами вказаного діапазону резонансних частот АЧХ відпрацювання цього збурення переднім і заднім мостами орно-просапного трактора знаходиться практично на нульовому рівні, що свідчить про високу стійкість руху МТА.

8. Теоретичним шляхом доведено, що на тракторах серії ХТЗ-160 встановлювати відстань від осі його задніх коліс до точки приєднання причіпного реманенту меншим за 1 м небажано, оскільки при повному повороті керованих рушіїв енергетичного засобу не

виключатиметься можливість контакту з ним причіпної сніці агреатованої машини /знаряддя. Збільшення цього конструктивного параметра понад вказану відстань недоцільно, оскільки має місце зростання кінематичної довжини машинно-тракторного агрегату. В умовах практичної експлуатації це може вплинути на певне небажане підвищення агрегатом непродуктивних витрат часу зміни.

9. Встановлено, що збільшення довжини причіпної сніці агреатованого з орно-просапним трактором знаряддя призводить до зростання радіусу повороту МТА. Особливо це відчутно при кутах повороту керованих коліс енергетичного засобу до 15...17°, які забезпечують максимальну поворотність агрегату. В умовах практичної експлуатації слід віддавати перевагу знаряддю із меншою довжиною причіпної сніці. У цьому випадку машинно-тракторний агрегат на основі орно-просапного трактора матиме як задовільну поворотність, так і меншу кінематичну довжину.

10. На підставі складених рівнянь рівноваги комбінованого МТА у поздовжньо-вертикальній площині встановлено нову залежність між вертикальним навантаженням на рушії трактора та тиском повітря в них. Встановлено, що для забезпечення оптимального значення коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі ходової системи повнопривідного енергетичного засобу з однаковими колесами відношення тиску повітря в шинах задніх коліс до тиску повітря в передніх рушійях має бути таким же, як і відношення вертикального навантаження на задній міст до вертикального навантаження, яке припадає на передній міст енергетичного засобу. Для дискувально-чизельного МТА таке співвідношення між вказаними вертикальними навантаженнями рушіїв трактора, а отже і тисками повітря в їх шинах, становить 1:1,12.

11. Встановлено, що для ефективного агрегування із орно-просапним трактором бажано, щоб фронтальні та задньонавісні машини/знаряддя були обладнані автоматичним зчіпним пристроєм. Проведеними хронометражними спостереженнями встановлено, що трудоемкість складання комбінованих МТА за схемою «push-pull» зменшується майже в 4 рази. Застосування орно-просапного трактора не створює проблем при його комбінованому агрегуванні.

12. Продуктивність та якість роботи орно-просапного трактора зі здвоєними або більш широкими (23,1R26 замість 16,9R38) шинами на весняному боронуванні і суцільній культивациі зябу, а також дискуванні стерні сільськогосподарських культур приблизно такі ж, як і в аналогічних машинно-тракторних агрегатів на основі серійного колісного енергетичного засобу тягового класу 3. Доведено, що питомі витрати палива новими агрегатами при цьому нижчі на 10% і більше.

Питомі витрати праці жнивально-луцильним, орно-подрібнювальним, дискувально-чизельним і культиваторно-посівним комбінованими агрегатами за схемою «push-pull» на 25...47% менші, ніж при виконанні аналогічних операцій серійними МТА з одноопераційними машинами/знаряддями.

13. Проведеними теоретичними та лабораторно-польовими дослідженнями доведено, що конструктивні особливості орно-просапного трактора сімейства ХТЗ-160 дозволяють реалізувати на його основі орний агрегат за схемою «2+4» (2 корпуси плуга попереду і 4 – позаду). У порівнянні з традиційним агрегуванням цього енергетичного засобу із задньонавісним п'ятикорпусним плугом (схема «0+5») збільшення продуктивності праці становить 36%, а зменшення питомих витрат палива – не менше 16%. У результаті задовільної пристосованості орно-просапного трактора і агрегованих із ним плугами до зміни поздовжнього профілю поля середнє квадратичне відхилення глибини оранки агрегатом за схемою «2+4» не перевищувало агротехнічних вимог (± 2 см).

14. Польові дослідження показали, що орно-просапний трактор серії ХТЗ-160 може слугувати базою комплексу машин для вирощування просапних сільськогосподарських культур у колійній системі землеробства за технологією «strip-till». При цьому стійкість руху машинно-тракторного агрегату на його основі забезпечує таку прямолінійність основної із операцій цієї технології – смуговий обробіток ґрунту, – яка відповідає вимогам для просапних культур.

15. Результати проведеного дослідження впроваджені при реалізації протягом кількох років чотирипільної сівозміни сільськогосподарських культур «озима пшениця-горох-соняшник-пар» на площі 1000 га із використанням двох орно-просапних тракторів ХТЗ-160. Практичне використання цих енергетичних засобів у складі МТА, налагоджених відповідно до розробленої системи агрегування, дозволило збільшити продуктивність праці до 47%, зменшити питомі витрати палива на 10...20%, знизити сукупні витрати – на 4,5...40,0% а також значно зменшити ущільнюючий вплив агрегатів на ґрунт.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев [та ін.]. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2005. – 337 с (здобувачем написано розділ з агрегування орно-просапних тракторів).

2. Збирання зернових культур роздільним способом: монографія / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев [та ін.]. – Запоріжжя: Інтер-М, 2012. – 132 с (здобувачем написано розділ із застосування жниварно-луцильного агрегату).

Публікації у фахових виданнях

3. Кюрчев В.М. Комбіновані машинно-тракторні агрегати на базі трактора ХТЗ-120 / В. Кюрчев, А. Панченко, В. Надикто // Техніка АПК. – 2003. – № 8. – С. 13–14 (здобувачем розроблено структурний аналіз агрегатів).

4. Кюрчев В.М. Теоретичне моделювання руху модульних енергетичних засобів класу 1,4-3 у поздовжньо-вертикальній площині / В.М. Кюрчев, В.П. Кувачов // Праці ТДАТУ. – 2008. – Вип. 8, том 2. – С. 14–26 (здобувачем розроблена методика теоретичного дослідження руху енергетичних засобів).

5. Надикто В.Т. Широкозахватний посівний МТА на базі ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.М. Аюбов // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. – Дослідницьке, 2005. – Вип.8 (22), кн.1. – С. 108–113 (здобувач прийняв участь у отриманні, обробці і аналізу результатів досліджень).

6. Надикто В.Т. Аналіз плавності руху комбінованих МТА на базі трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.М. Аюбов [та ін.] // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету / ВДАУ. – Вінниця, 2006. – Вип. 26. – С. 229–239 (здобувачем розроблена математична модель і методика дослідження плавності їх руху).

7. Кюрчев В.М. Оцінка технологічної універсальності сімейства тракторів «ХТЗ» / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Праці Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. вид. / ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 40. – С. 168–173 (здобувачем запропоновано набір показників для оцінювання універсальності тракторів).

8. Надикто В.Т. 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 (здобувачем зроблено аналіз результатів досліджень комплексів машин).

9. Гойчук А.Ф. Перспективи впровадження колійної системи землеробства на Україні / А.Ф. Гойчук, В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Науковий вісник Національного аграрного університету: зб. наук. праць / НАУ. – 2006. – Вип. 101. – С. 117–122 (здобувачем зроблено оцінку ефективності застосування орно-просапних тракторів в колійній системі землеробства).

10. Панченко А.И. Исследование тягово-сцепных качеств колесных тракторов / А.И. Панченко, В.Н. Кюрчев [и др.] // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип. 8, т. 9. – С. 31–36 (здобувачем оброблено і проаналізовано дослідні дані щодо тягово-зчіпних властивостей орно-просапних тракторів).

11. Надикто В.Т. Результати пошукових досліджень щодо вирощування просапних культур: перспективи та проблеми / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, В.В. Федоренко // Механізація та електрифікація сільського господарства: респ. міжвід. тематичний наук. зб. / УААН; ННЦ «ІМЕСГ». – Глеваха, 2008. – Вип. 92. – С. 191–196 (здобувачем розроблено регресійну модель для дослідження «strip-till» технології).

12. Надикто В.Т. Проблеми та перспективи тракторної енергетики України / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев // Вісник Львівського НАУ. – Львів, 2008. – Т. 2. – С. 524–532 (здобувачем викладено матеріал щодо місця орно-просапних енергетичних засобів у типажу тракторів України).

13. Кувачов В.П. Методика та результати оцінки нерівностей профілю ґрунтово-дорожніх фонів за допомогою ЕОМ / В.П. Кувачов, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. вид. / ТДАТУ; відп. за вип. В.Т. Надикто. – Мелітополь, 2008. – Вип. 6, т. 6. – С. 28–34 (здобувачем запропонована методика обробки експериментальних даних)

14. Чи потрібен Україні типаж тракторів / М.Д. Безуглий, В.М. Булгаков, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 7. – С. 55–58 (здобувачем оцінена роль орно-просапних енергозасобів у тракторній енергетиці України).

15. Кюрчев В.М. Орний агрегат на основі трактора серії ХТЗ-160 / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 4. С. 5–7.

16. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160 / В. Кюрчев // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 12. – С. 9–12.

17. Кюрчев В. Технологічна універсальність тракторів «ХТЗ» / В. Кюрчев // Техніка АПК. – 2007. – № 10. – С. 21–23.

18. Кюрчев В.М. Перспективи практичної реалізації технологічних властивостей тракторів сімейства ХТЗ-160 / В.М. Кюрчев // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України: зб. наук. праць / НУБіП. – К., 2010. – Вип. 144, ч.4. – С. 60–64.

19. Кюрчев В. Методика оцінки технологічної придатності тракторів для роботи у

складі комбінованих МТА / В. Кюрчев // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 3. – С.42–44.

20. Кюрчев В.М. Обґрунтування типу тракторів / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету / ВДАУ. – Вінниця, 2012. – № 11(65), т.1. – С. 45–50 (здобувачем запропоновано методику розроблення типу тракторів).

21. Надикто В. Використання тракторів серій ХТЗ-160 і ХТЗ-170 на вирощуванні просапних культур / В. Надикто, В. Кюрчев // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 1. – С. 7–11 (здобувачем розроблено теоретичні основи оцінки використання орно-просапних тракторів в агрегаті з просапними знаряддями).

22. Кюрчев В.М. Поворотність МТА на основі орно-просапного трактора / В.М. Кюрчев // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ». – Випуск 99. Том 2. – Глеваха, 2014. – С. 177–185.

23. Кюрчев В.М. Оцінка агрегування орно-просапного трактора із сільськогосподарськими машинами/знаряддями / В.М. Кюрчев. – Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип.4, т. 2. – С. 3–7. – Режим доступу: [<http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>].

Публікації у закордонних виданнях

24. Перспективы использования комбинированных машинно-тракторных агрегатов / В. Кюрчев и др. // Научни известия. – Варна (Болгария), 2013. – Т. XXI, вып. 5 (142). – С. 104–108 (здобувачем здійснено аналіз комбінованих агрегатів).

25. Жатвенно-луцильный агрегат на базе трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.М. Аюбов и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства (Россия). – 2003. – № 11. – С. 23–25 (здобувачем здійснено обробку і аналіз експериментальних даних).

26. Kyurchev V. Technical change and financial efficiency: plowing-rotary tractors in Ukraine / V.Kyurchev // Journal of Finance and Accounting (USA). – 2014. – № 2(1). – P. 8–12.

27. Кюрчев В.Н. Проблема кинематического несоответствия в приводе ходовой системы пахотно-пропашного трактора / В.Н. Кюрчев // Агропанорама (Беларусь). – 2014. – №6. – С. 11–13.

Патенти

28. Зчіпний пристрій енергетичного засобу: пат. України № 11955: МПК А01В 59/04 / Т.С. Чорна, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев. – №u200507003; заявл. 15.07.05; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1 (здобувачем запропоновано конструктивну схему пристрою).

29. Спосіб прокладання постійної технологічної колії: пат. України № 80900: МПК А01В 79/00 / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, М.Л. Крижачківський. – №a200601421; заявл. 13.02.2006; опубл. 12.11.2007, Бюл. №18 (здобувач запропонував формулу винаходу).

30. Спосіб смугового обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур: пат. України № 49011: МПК, А01В 79/00 / В.П. Юрчук, В.І. Ветохін, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.В. Найдиш. – №u200911440; заявл. 10.11.2009; опубл. 12/04/2010, Бюл. №7 (здобувач запропонував формулу винаходу).

31. Спосіб смугового обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур: пат. України № 96028: МПК А01В 3/38, А01В 79/02 / В.П. Юрчук, В.І. Ветохін, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.В. Найдиш. – №a200911439; заявл. 10.11.2009; опубл. 26.09.2011, Бюл. №18 (здобувач запропонував перелік операцій

виконання способу).

32. Комплекс машин на основі трактора серії ХТЗ-160 для вирощування просапних культур: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №56384. / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, В.І. Аносов, І.П. Лазаренко. – опубл. 08.09.2014 (здобувач обгрунтував структуру комплексу машин).

33. Спосіб підвищення плавності руху транспортного засобу сільсько-господарського призначення: пат. Україна №21932, МПК⁷ В62 D 59/00. / В.П. Кувачов, В.М. Кюрчев, Г.М. Кутьков, В.Т. Надикто; заявник та патентовласник ТДАТУ. – №u200611188; заявл.23.10.2006; опубл. 10.04.2007, Бюл. №4 (здобувач запропонував і обгрунтував формулу винаходу).

Матеріали доповідей на наукових конференціях

34. Випробування жнивально-луцильного МТА / Надикто В.Т., Кюрчев В.М., Панченко А.І. [та ін.] // «Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав»: Сб. докладов международной научно-технической конференции 11 – 14 червня 2003 р. – ТДАТА: Мелітополь, 2003. – Вип. 16. – С. 136–142 (здобувачем здійснено аналіз експериментальних даних).

35. Надикто В. Жатвенно-луцильный агрегат / В. Надикто, В. Кюрчев // Ecological aspects of mechanization of plant production: XII International Symposium (Warsaw, 21–22 September, 2006) / Warsaw Agricultural University. – Warszawa, 2006. – С. 146–149 (здобувачем здійснено оброблення і аналіз даних).

36. Кюрчев В.М. Математичне моделювання функціонування машинно-тракторних агрегатів / В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Моделювання технологічних процесів в АПК». 08 – 11 вересня 2010 р. – ТДАТУ: Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 7. – С. 3–8 (здобувачем запропоновано методику моделювання МТА на основі орно-просапних тракторів).

37. Кюрчев В.М. Ефективність застосування орно-просапних тракторів серії ХТЗ-160 на вирощуванні сільськогосподарських культур / В.М. Кюрчев // Матеріали науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу та аспірантів за підсумками досліджень 2012 року. – Мелітополь: ТДАТУ. – С. 29–33.

38. Кюрчев В.М. Тягово-енергетичні показники роботи трактора серії ХТЗ-160 у складі орного МТА / В.М. Кюрчев // Матеріали науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу та аспірантів за підсумками досліджень 2013 року. – Мелітополь: ТДАТУ. – С. 10–13.

Публікації у загальновідомих виданнях

39. Кюрчев В. Ґрунтообробні агрегати на основі тракторів ХТЗ / В. Кюрчев, В. Надикто // Пропозиція. – 2007. – № 10. – С. 84–95 (здобувачем викладено аналіз експериментальних даних).

40. Кюрчев В. Різномодельність чи універсалізація? / В. Кюрчев // Farmer. – 2011. – № 11. – С. 82–83.

41. Трактори, мобільні навантажувальні машини та причепи: посібник / М.В. Присяжнюк, В.І. Кравчук, ..., В.М. Кюрчев, М.В. Шпак; за ред. В.І. Кравчука, О.А. Демидова. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2010. – 176 с (здобувачем надано матеріал щодо орно-просапних тракторів).

42. Адамчук В.В. Україні потрібен власний типаж тракторів / В.В. Адамчук,

В.М. Булгаков, В.М. Кюрчев [та ін.] // Аграрний тиждень, 2014, №14. – С.48–51 (здобувачем запропоновано структуру типу тракторів для України).

43. Адамчук В.В. Агрегативання плугів / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.М. Кюрчев [та ін.] // Аграрний тиждень, 2014, №15. – С. 42–44 (здобувачем викладено дані щодо агрегативання орно-просапних тракторів з плугом).

АНОТАЦІЇ

Кюрчев В.М. Механіко-технологічні основи агрегативання орно-просапних тракторів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України, Глеваха, 2015.

Дисертацію присвячено розробці основ агрегативання орно-просапних тракторів сімейства ХТЗ-160. Використання потенційних технологічних властивостей цих енергетичних засобів дозволяє розв'язати проблему забезпечення сільськогосподарського виробництва країни високопродуктивними, енергоощадними та екологічно безпечними машинно-тракторними агрегатами.

Правомірність даного положення підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень тракторних, енергетичних, експлуатаційно-технологічних та агротехнічних показників роботи комбінованих і широко захватних машинно-тракторних агрегатів, налаштованих у відповідності з розробленими практичними рекомендаціями щодо вибору їх схем, конструктивних параметрів та режимів роботи.

Ключові слова: трактор, агрегативання, технологічні властивості, математичне моделювання, амплітудна і фазова частотні характеристики, стійкість, керованість, плавність, поворотність, постійна технологічна колія, експлуатаційно-технологічні показники.

Кюрчев В.Н. Механико-технологические основы агрегативирования пахотно-пропашных тракторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный научный центр «ИМЕСХ» НААН Украины, Глеваха, 2015.

Диссертация посвящена разработке основ агрегативирования пахотно-пропашных тракторов семейства ХТЗ-160, технологические свойства которых позволяют одинаково эффективно эксплуатировать их как на операциях по обработке почвы, так и на возделывании пропашных и зерновых колосовых сельскохозяйственных культур. Высокие технологические свойства указных тракторов определяются наличием у них переднего навесного устройства, переднего вала отбора мощности, реверсивного поста управления, реверсивной трансмиссии, технологических пространств для размещения технологических емкостей.

Поскольку известная методология эксплуатации серийных энергетических средств не может содействовать полному использованию потенциальных возможностей указанных пахотно-пропашных тракторов, то целью исследований была разработка научных основ их практического использования, обеспечивающих снижение энергетических, материальных и трудовых затрат.

Для достижения поставленной цели разработана методика расчета технологической пригодности пахотно-пропашных тракторов к использованию в составе комбинированных агрегатов по схеме «push-pull»; составлены математические модели движения таких агрегатов с учетом кинематического и силового взаимодействия фронтальных орудий/машин и энергетического средства; оценено влияние схем и параметров комбинированных МТА на управляемость и устойчивость их движения, а также энергетические, эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы; оценена поворотливость и плавность движения новых машинно-тракторных агрегатов; оценена техническая осуществимость и производственная эффективность применения пахотно-пропашных тракторов на выращивании сельскохозяйственных культур по постоянной технологической колее; разработаны практические рекомендации по выбору схем и параметров МТА на основе пахотно-пропашных тракторов, обеспечивающие высокие эксплуатационно-технологические показатели их работы.

Доказано, что для внедрения распространенного, по крайней мере на юге Украины, четырехпольного севооборота с.-х. культур «озимая пшеница – горох – подсолнечник – пар» на площади до 1000 гектаров нужно два пахотно-пропашных трактора семейства ХТЗ-160. Практическое их использование в составе МТА, настроенных в соответствии с разработанными в диссертационной работе рекомендациями, позволит уменьшить уплотняющее воздействие на почву, увеличить производительность труда до 47%, уменьшить удельные расходы топлива на 10...20%, а приведенные затраты – на 4,5...40,0%.

Ключевые слова: трактор, агрегатирование, технологические свойства, математическое моделирование, амплитудная и фазовая частотные характеристики, устойчивость, управляемость, плавность, поворотливость, постоянная технологическая колея, эксплуатационно-технологические показатели.

Kyurchev V.N. Mechanical and technological bases of aggregation of tilling-row-crop tractors. – A manuscript.

A dissertation for obtaining the scientific degree of doctor of technical sciences in speciality 05.05.11 – machines and facilities for mechanization of agricultural production. – National scientific center “IAEE” NAAS Ukraine, Glevakha, 2015.

This research is dedicated to the development of aggregation bases of tilling-row-crop tractors of ХТЗ-160 family. Utilization of the potential technological properties of these power means allows solving the problem of providing Ukraine’s agricultural production with the highly productive, energy-saving and ecologically safe machinery and tractor aggregates.

Legality of this statement is proved by the results of theoretical and experimental research of the trajectory, power, operational, technological and agrotechnical indexes of work of the combine and widely gripping tractor aggregates that are set in accordance with the developed recommendations concerning the choice of their schemes, constructive parameters and modes of operation.

Keywords: tractor, aggregation, technological properties, mathematical modeling, peak and phase frequency descriptions, stability, dirigibility, smoothness, maneuverability,

permanent technological track, operating-technological indexes.

Підписано до друку 20.02.2015 р. Зам. № 007

Формат 60x84x 1/16. Умовн. – друк. арк. 2,0. Наклад 100 прим.

Віддруковано в Таврійському державному
агротехнологічному університеті

Адреса: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь,
пр-т Б.Хмельницького, 18