

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Заріцький Євгеній Сергійович

УДК 631.37

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІЮВАННЯ
ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Заріцький Є.С.

Керівник роботи

Дерев'янко Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Заріцький Євгеній Сергійович. Підвищення ефективності функціонування тракторно-транспортних агрегатів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі запропоновано методологічне обґрунтування підбору конструкції пристроїв для підвищення поздовжньої і траєкторної стійкості тракторно-транспортного агрегату в русі та високоефективну і маловитратну конструкцію буксирно-розподільного пристрою, а також низку технічних рішень, що сприяють реалізації наукового завдання з підвищення тягово-зчіпних властивостей і стабілізації коливань колісного тракторно-транспортного агрегату.

Визначено, що найбільшу амплітуду коливань під час руху на підйом має серійний тракторно-транспортний агрегат без пристрою без вантажу і серійний тракторно-транспортний агрегат без пристрою з вантажем, при цьому експериментальний з пристроєм без вантажу має найменшу амплітуду коливань переднього керованого моста. Амплітуда ж коливань експериментального тракторно-транспортного агрегату з пристроєм і вантажем під час руху на підйом на 27 % стабільніша за зафіксовану.

Проведено порівняльні виробничі випробування серійного та експериментального тракторно-транспортного агрегату в умовах руху на схилах. Встановлено, що встановлення запропонованого пристрою дає змогу підвищити продуктивність за годину основного робочого часу, водночас знизити питому витрату пального експериментального агрегату, в порівнянні із серійним.

Ключові слова: тракторно-транспортний агрегат, буксирно-розподільний пристрій, рух, стійкість.

ANNOTATION

Zaritsky Evgeny. Improving the efficiency of tractor-transport units. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis proposes a methodological justification for the selection of the design of devices to increase the longitudinal and trajectory stability of the tractor-transport unit in motion and a highly efficient and low-cost design of the towing and distribution device, as well as a number of technical solutions that contribute to the implementation of the scientific task of improving the traction and coupling properties and stabilizing the oscillations of the wheeled tractor-transport unit.

It has been determined that the largest amplitude of oscillations during uphill movement is observed in a serial tractor-transport unit without a device without a load and a serial tractor-transport unit without a device with a load, while the experimental one with a device without a load has the smallest amplitude of oscillations of the front steering axle. The amplitude of oscillations of the experimental tractor-transport unit with the device and the load during uphill movement is 27 % more stable than the recorded one.

Comparative production tests of the serial and experimental tractor-transport unit were carried out under conditions of driving on slopes. It was found that the installation of the proposed device allows to increase productivity per hour of basic working time, while reducing the specific fuel consumption of the experimental unit compared to the serial one.

Keywords: tractor-transport unit, towing and distribution device, movement, stability.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	15
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. З урахуванням перспективного розширення обсягів сільськогосподарських площ необхідне розроблення і застосування технічних і технологічних рішень, що сприяють культурному освоєнню дрібноконтурних земельних ділянок, переважно географічно розташованих у північній і центральній сільськогосподарських зонах області, які мають великий кут ухилу або під'їзні шляхи з високою поздовжньою чи поперечною крутизною доріг і які на сьогодні в регіоні не використовують через відсутність спеціальних енергетичних засобів як для їхнього обробітку. При цьому використання багатоцільових автомобілів для цих цілей не завжди раціональне внаслідок їхніх невисоких тягово-зчіпних властивостей і обмежене умовами безпеки руху, які висуваються до конструкції.

Встановлено, що ці земельні площі зазвичай перебувають у використанні селянсько-фермерських господарств (СФГ), які не в змозі, внаслідок недостатності обігових фінансових коштів, придбати спеціалізовані енергетичні засоби, здатні реалізовувати закладені конструкцією функції, на розглянутих ділянках земельних ділянок, що розглядаються. площ, а їх дрібноконтурна структура (менш як 15 гектарів) не дає змоги використовувати для обробітку більш енергонасичену або широкозахватну техніку.

Таким чином, для використання дрібноконтурних ділянок, а також полів і доріг, що мають великий кут схилу, необхідно вдосконалювати наявні у СФГ енергетичні засоби.

Аналіз засобів механізації в СФГ Житомирської області показав, що основним енергетичним засобом у малих господарствах є моноблочний колісний трактор типу «МТЗ» класу 1,4-2, що визначило напрями досліджень за рахунок модернізації їхньої конструкції та впровадження нових технічних рішень, які дають змогу підвищити експлуатаційно-технологічні можливості цього типу тракторів. У зв'язку з чим дослідження, що проводяться, є сучасними й

актуальними, вирішують нагальні та важливі завдання агропромислового комплексу.

Для обґрунтування проведення наукової роботи було сформульовано **мету дослідження** – встановлення впливу стабілізації коливань ланок агрегату та перерозподілу зчіпної ваги на експлуатаційно-технологічні параметри ТТА за використання в умовах схилових земель.

Для вирішення поставленої мети визначено такі **завдання** дослідження:

- запропонувати методологічне обґрунтування добору конструкції пристроїв для підвищення поздовжньої та траєкторної стійкості ТТА в русі;
- виявити вплив перерозподілу зчіпної ваги та стабілізації коливань ланок агрегату на подовжню, траєкторну стійкість та експлуатаційно-технологічні параметри ТТА в умовах руху схиловими поверхнями;
- провести порівняльні господарські випробування серійного та експериментального ТТА в умовах руху схиловими поверхнями;

Об'єктом дослідження є процес виконання механізованих робіт тракторно-транспортними агрегатами на дрібноконтурних полях і земельних ділянках на схлонах.

Предметом дослідження є вивчення закономірностей, що визначають вплив перерозподілу зчіпної ваги та стабілізації коливань ланок ТТА на процес виконання механізованих робіт тракторно-транспортними агрегатами на дрібноконтурних полях і земельних ділянках на схлонах.

Методи наукового дослідження. Загальним методологічним підходом до проведення досліджень є системний аналітико-математичний метод із проведенням комбінованого дисперсійно-аналітичного аналізу, який дає змогу виявити й вивчити зв'язки в межах розкриття взаємодіючих величин та оптимумів між технологічними й конструктивно-режимними параметрами роботи ТТА, що дозволяють підвищити ефективність їх використання.

У теоретичних дослідженнях щодо підвищення поздовжньої стійкості МЕЗ у технології обробітку сільськогосподарських культур використано як відомі, так

і авторські математичні та експериментальні методики, методи емулювання, 3-D проектування, прогнозування, математичного програмування, основні положення теоретичної та прикладної механіки, деталей машин і механізмів. Експериментальні дослідження проведено в реальних виробничих умовах експлуатації ТТА. Отримані експериментальні дані опрацьовано із застосуванням методів математичної статистики, 3D-графічного моделювання та використанням спеціалізованих програм для EOM Blender, КОМПАС-3D v.20, Mathcad і SigmaPlot v.11.0.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янка Д. А., Борисюк М. А., **Заріцький Є. С.** Аналіз наявних способів руху сільськогосподарських агрегатів під час виробництва сільськогосподарських культур. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 288-290.

2. **Заріцький Є. С.** Огляд запропонованих методик і технічних рішень підвищення стійкості під час руху колісних енергетичних засобів. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 13-15.

3. Дерев'янка Д. А., **Заріцький Є. С.** 3-D моделювання виробничих процесів тракторно-транспортних агрегатів. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.

Практична значимість. Встановлено, що використання ТТА з пристроєм пропонуваної конструкції, призначеним для поліпшення поздовжньої стійкості

та стабілізації коливань ланок ТТА, підвищує величину продуктивності при проведенні транспортних робіт за рахунок раціонального розподілу ваги.

Отримані експериментальні залежності дають змогу скоротити витрати часу та матеріальних засобів під час конструювання, вдосконалення, доопрацювання та впровадження колісних МЕЗ із пристроєм для стабілізації коливань ланок тракторно-транспортного агрегату..

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, містить 31 рисунок.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз досліджень щодо підвищення ефективності використання енергетичних засобів у сільському господарстві на польових і транспортних роботах

Сучасна система землеробства в Україні має ґрунтуватися на ретельному аналізі та врахуванні всіх взаємопов'язаних факторів, які впливають на сільськогосподарське виробництво. Під час планування виробничих показників необхідно враховувати як технічне забезпечення підприємств та економічну доцільність сільськогосподарського виробництва, так і вплив природних і кліматичних умов, ландшафтних особливостей, а також наявність кваліфікованої робочої сили.

Важливо зазначити, що перспективне технічне забезпечення підприємств, навіть за його високого рівня насиченості та різноманітності моделей залежно від технологічних операцій, що використовуються, і темпу оновлення, не може повністю розкрити свій потенціал без ефективних і грамотних рішень у сфері логістики, оптимізації та експлуатації. Це стосується як матеріально-технічного забезпечення, так і проведення ґрунтообробних, збиральних і транспортних робіт, а також використання наукового підходу як основи для технологічних операцій.

Багато дослідників присвятили свої роботи питанням підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у сільському господарстві, особливо щодо польових і транспортних робіт, за різних природно-кліматичних умов, ландшафтних особливостей і стану опорної поверхні. Ці фактори є важливою складовою агротехнологічних процесів.

У роботах авторами встановлено, що впровадження в агропромислове виробництво нових сучасних систем машин [3, 4], формування

високоєфективних транспортних комплексів [1, 2, 7], поряд з удосконаленням технологій ґрунтообробки [4, 5, 6, 7], догляду за посівами [8, 9, 10, 10, 11], поряд із вдосконаленням технологій ґрунтообробки [4, 5, 6, 7], догляду за посівами [8, 9, 10, 11], 11], збиральних заходів [12, 13] і транспортування сільськогосподарських культур [51, 54], зумовлюється застосуванням результативних логістичних методів [15, 17] за забезпечення оптимального узгодження суміжних транспортних і технологічних операцій [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Стійкість у русі колісних і гусеничних ходових систем нерозривно пов'язана з небезпекою перекидання. Питаннями стійкості проти перекидання займалися і зарубіжні [4, 5, 6, 7, 9] і вітчизняні дослідники.

Дослідження, проведені зарубіжними та вітчизняними авторами, дають змогу обґрунтувати технологічні параметри руху та виконання робіт як із використанням колісних тракторів, так і спеціальних транспортних засобів. Вони також пропонують методи регулювання тиску в шинах і способи стабілізації напрямку руху для підвищення стійкості.

Основи руху ТТА в умовах схилених земель закладено та досліджено Є.А. Чудаковим [5], яким було запропоновано обґрунтування теорії кочення еластичного колеса та визначено фактори, що впливають на стійкість руху ТТА, такі як бічна складова ваги агрегату, що спричиняє поперечні зрушення ґрунту в плямі контакту та деформацію колісного рушія. Подальшого розвитку запропоноване обґрунтування знайшло в працях Д.А. Антонова, В.В. Гуськова, Я.М. Певзнера, Я.Є. Форобіна, які вивчали явища бокового відведення еластичного колеса в сукупності його конструкції та технологічних параметрів.

У зонах ризикованого землеробства, включно з Амурською областю, сільськогосподарське виробництво і дотримання зональної технології потребують ретельного добору комплексу заходів, що можуть бути доволі витратними з погляду агротехніки та економіки. У цьому контексті доцільно оптимально використовувати відповідну сучасну агротехніку і впроваджувати

нові технології, пов'язані з поліпшенням енергетичних засобів і сільськогосподарських машин [2,10].

У зв'язку з переходом агропромислового комплексу на енергетичні засоби з колісною ходовою системою, увага виробників зосереджена на багатофункціональних енергоощадних (МЕЗ) машинах із розширеним тяговим діапазоном. Техніко-економічний аналіз показує, що заміна гусеничних тракторів на колісні моделі з розширеним тяговим діапазоном приносить значний економічний ефект. Виробники надають особливе значення цьому, враховуючи сучасну тенденцію в агропромисловому комплексі [7].

Як показує експериментальна практика, прибуток від використання тракторів тягового класу 14 кН із розширеними тяговими характеристиками у вищому класі 30 кН із врахуванням значного завантаження впродовж року, а також нижчої балансової вартості, безпосередньо пов'язаний із меншими відрахуваннями на додаткові витрати, реновацію та ремонтний фонд [6].

За використання технологій точного землеробства особливо важливо забезпечити стійкий і стабільний рух агрегатів. Це зумовлено більш суворими вимогами до адаптивності техніки, до різних агроландшафтів і природно-кліматичних умов. При цьому проблему стабілізації траєкторії руху пропонується розв'язувати за рахунок упровадження підрулювальних пристроїв і автопілотів [6], розроблення та впровадження автоматичних безступінчатих трансмісій, що спостерігається на прикладі продукції провідних зарубіжних фірм-виробників NEW HOLLAND, John Deere, Fendt [1].

У роботах [2, 8] авторами достовірно встановлено, що починаючи з ухилу місцевості в $6-7^\circ$ відбувається значне зниження поступальної швидкості ТТА. При цьому під час роботи на схилах у $10^\circ-11^\circ$ корисна тягова потужність трактора знижується на 25-27% [7, 9].

Крім того, горизонтальний бічний зсув ТТА від траєкторії руху призводить до збільшення маршруту, зменшення врожайності, погіршення умов праці

механізатора і порушення ергономічних вимог до техніки під час проведення робіт [3,4].

Досліджена в розглянутій галузі техніки більша частина наукових робіт [1, 3, 6,] присвячена дослідженню впливу на стійкість і керованість автопоїздів масово-геометричних характеристик, особливостей, пов'язаних із конструкціями поворотних пристроїв і ТСУ, характеристик пневматичних шин. Різні чинники мають різний ступінь впливу на стійкість руху.

У зв'язку з появою у виробництві тягових і перевізних засобів інноваційних моделей і конструкцій загальним висновком до проведеного аналізу, з метою розширення масиву наукових і виробничих знань, може бути необхідність подальшого проведення науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських робіт у напрямку підвищення ефективності застосування ТТА в агропромисловому виробництві.

1.2 Огляд запропонованих методик і технічних рішень підвищення стійкості під час руху колісних енергетичних засобів

Аналіз способів і технічних рішень поліпшення курсової та поперечної стійкості, проведених на сучасному рівні техніки, показує, що відома достатня кількість прийомів і методів, що мають наукову новизну. Так, проблему стійкості руху похилою поверхнею пропонується вирішити за допомогою кратного примусового відхилення вектора напрямку руху ведучого колеса від заданого напрямку руху. Однак зростаюче зношування, сповзання і нищпорення агрегату з відхиленням від технологічного коридору також призводять до підвищеної питомої ефективної витрати палива, зниження продуктивності агрегату та зменшення врожайності оброблюваних культур.

Використання баластування коліс, здвоювання рушіїв і переобладнання універсального трактора на низькокліренсний варіант за допомогою встановлення коліс зменшеного діаметру з одночасним розширенням колії, за

допомогою чого досягається зниження центру тяжіння, а, отже, і підвищення стійкості руху МЕС, також не є основним способом поліпшення технологічних характеристик, тому що їхнє застосування збільшує масу МЕС і питому витрату пального.

Зарубіжними виробниками розроблено і пропонуються на ринку модифікації тракторів з автоматичним зсувом баласту, як у поперечній, так і в поздовжній базі залежно від режиму роботи трактора. Однак ця конструкція має високу вартість і не може бути придбана сільськогосподарськими організаціями з невисокою прибутковістю і невеликими посівними площами.

Відомі також конструкції, на які отримано патенти на інтелектуальну власність, що пропонують поліпшити курсову і поперечну стійкість за рахунок застосування в конструкції трактора шнекових рушіїв, стабілізації руху трактора за допомогою повітряної сили тяги та регулювання положення центру мас за допомогою застосування пристроїв, які маніпулюють координатами її розміщення.

Разом із пропозицією інноваційних конструкцій, призначених для розв'язання завдань стабілізації курсової стійкості, авторами розглядалися і питання оцінки стійкості МЕС та їх теоретичного обґрунтування в умовах експлуатації, що змінюються.

Так у багатьох роботах досліджувався процес відхилення від траєкторії руху трактора в міжряддях, запропоновано математичне обґрунтування криволінійності його руху, близької за виглядом до синусоїди, був встановлений коефіцієнт стійкості руху K_{YD} , який дорівнює:

$$K'_{YD} = 1 - \sqrt{\frac{B_{CB} - v_T t_B \sin \frac{v_T t_B}{R_{нов}}}{v(t_o + t_B \sin \frac{v_T t_B}{R_{нов}}) - B_{CB}}}. \quad (1)$$

Запропонований коефіцієнт враховує як конструкційні характеристики трактора, його технологічні параметри, так і умови руху ТТА, що дало змогу визначити критичні значення відхилень на встановленій ділянці шляху за будь-яких ландшафтних характеристик.

Жилейкін М.М. у своїх працях присвячених підвищенню курсової і траєкторної стійкості колісного трактора 4×4 за рахунок перерозподілу крутних моментів по ведучих колесах, а також за рахунок підрулювання керованими колесами запропонував ввести поняття показника відносної ефективності $O_{эф}$, роботи комплексної системи стабілізації, що показує, на скільки відсотків знижується середньоквадратичне відхилення координати y_2 від нуля під час руху, коли працює система, що підвищує стійкість руху ТТА порівняно з випадком руху за відсутності стабілізаційного керування, і формулу для його обчислення:

$$O_{эф} = \left(1 - \frac{CKO_{Y_{contr}}}{CKO_{Y_0}}\right) \times 100\%. \quad (2)$$

Де $CKO_{Y_{contr}}$ – середньоквадратичне відхилення координати y_2 від нуля під час руху, коли працює система, що створює стабілізуючу дію на трактор, CKO_{Y_0} – середньоквадратичне відхилення координати y_2 від нуля для випадку руху за відсутності стабілізуючого керування.

Розроблення математичних моделей механізмів і машин, призначених для модернізації серійних агрегатів, представлено в працях і роботах Я.М. Певзнера, І.К. Пчелініна. Запропоновані ними результати дали змогу розширити обсяг теоретичних знань про стійкість руху колісних машин.

Водночас пропонований математичний апарат є доволі незручним у застосуванні, оскільки під час його використання необхідне знання як вагових характеристик основних агрегатів машини, так і координат їхніх центрів ваги.

Проведений огляд показує, що всі розглянуті способи мають достатню технічну складність під час реалізації закладених у них принципів і малосумісні з ефективним застосуванням в умовах ресурсозберігаючих технологій.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Застосування і 3-D моделювання запропонованої конструкції та виробничих процесів під час теоретичних досліджень

Актуальні наукові дослідження вимагають застосування інноваційних методів і сучасних підходів до формування лабораторно-приладового комплексу. Так застосування програмних продуктів для створення як статичних, так і динамічних моделей методом емуляції взаємодії процесів і механізмів видається значущим і перспективним напрямком під час теоретичних наукових досліджень з огляду на те, що розвиток сучасних технологій дає змогу проєктувати як складні так і прості об'єкти в електронному середовищі.

При цьому деякі середовища для 3D моделювання дають змогу не тільки створити електронну цифрову модель об'єкта, а й провести емуляцію роботи агрегату, враховуючи його конструкцію, технологічні характеристики та фізичні властивості ґрунтів у заданих параметрах. Найоптимальнішим для проєктування сільськогосподарських агрегатів обрано програмне забезпечення Blender, що дає змогу працювати не тільки з простими формами, а й зі складними геометричними фігурами, а також задавати фізичні властивості та умови об'єктам у 3D просторі.

Застосування програмного забезпечення, що дає змогу досліджувати фізичні властивості для окремих елементів 3D-сцени, також дає можливість перевірки ефективності застосування впроваджуваних пристроїв у виробничих умовах до виробництва їх у металі, що значно економить матеріальні та фінансові кошти.

Дослідження проведено для визначення геометричних розмірів пристрою (рис. 1-4), співвідношення параметрів руху транспортного агрегату в різних умовах місцевості зі змінним навантаженням пропонованого пристрою до

досягнення меж перевертання або перекидання ТТА (рис. 5-11), а також технологічних і коливальних характеристик агрегату (рис. 12-14).

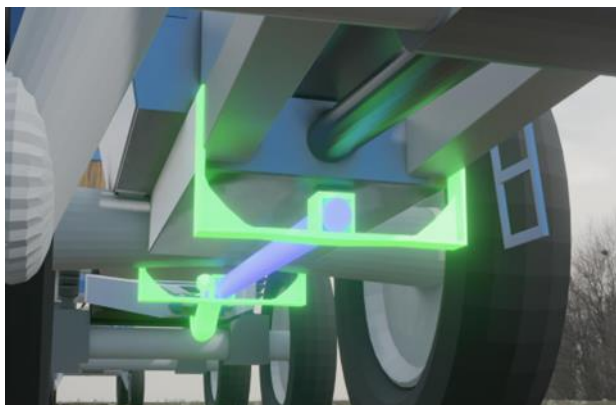


Рис. 2.1. Фрагменти емуляції установочних елементів і кріплення передньої частини пристрою на рамі трактора

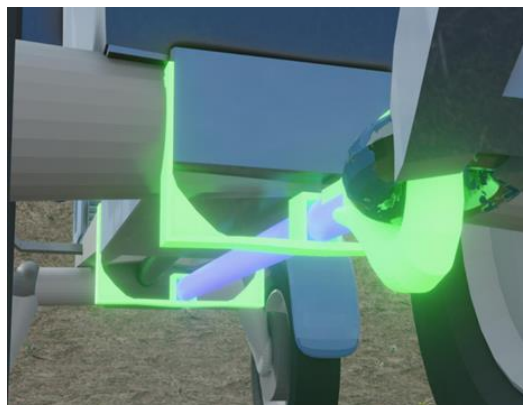


Рис.2. 2. Фрагменти емуляції установочних елементів і кріплення тильної частини пристрою на рамі трактора

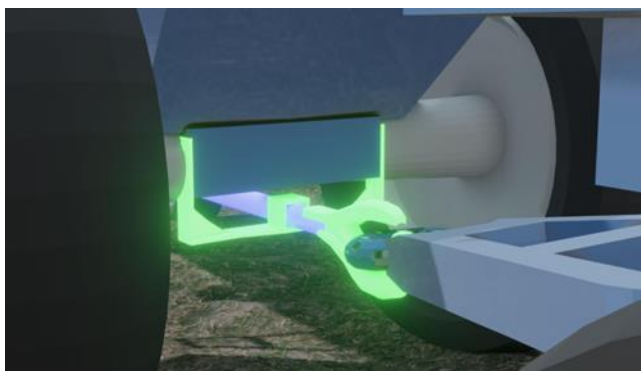


Рис. 2.3. Фрагменти емуляції елементів перспективного буксирно-розподільного пристрою.

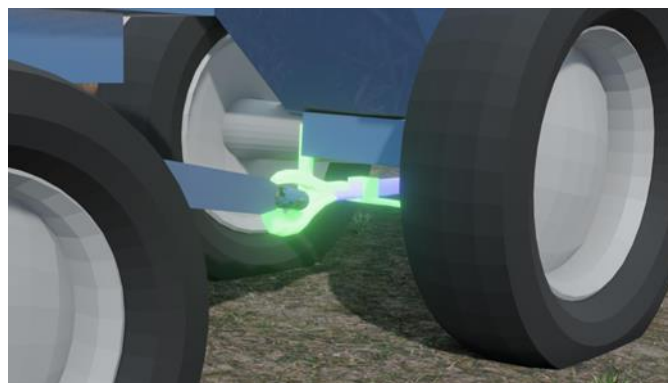


Рис. 2.4. Фрагменти емуляції установочного вузла перспективного буксирно-розподільного пристрою.



Рис. 2.5. Фрагменти емуляції



Рис. 2.6. Фрагменти емуляції руху

перекидання під час руху серійного
ТТА на підйом

експериментального ТТА на підйом.



Рис. 2.7. Фрагменти емуляції руху експериментального ТТА на спуску.

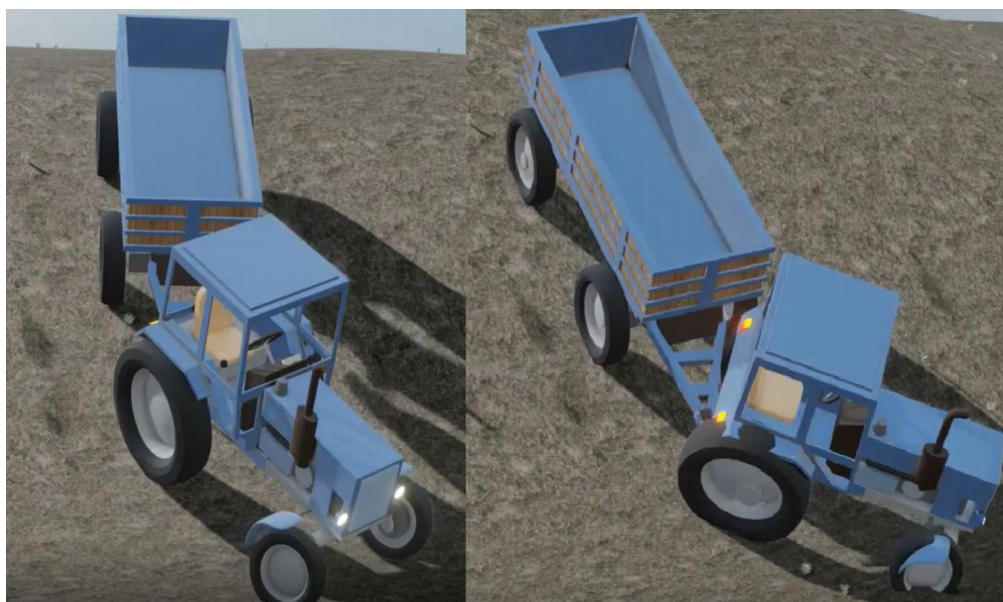


Рис. 2.8. Фрагменти емуляції процесу, що передуює перекиданню серійного ТТА під час руху на спуску

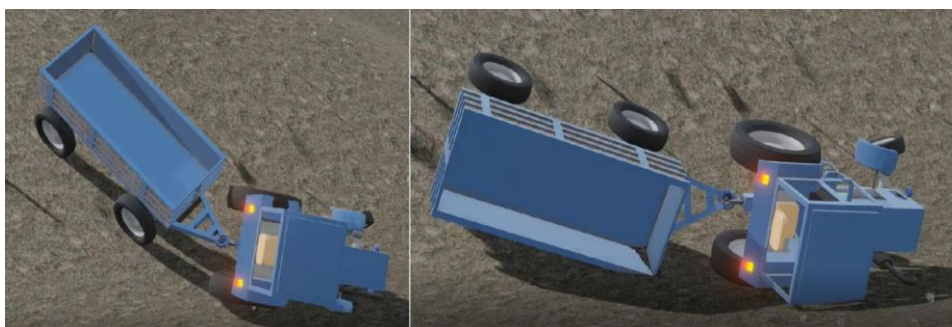


Рис. 2.9. Фрагменти емуляції перекидання під час руху серійного ТТА на спуску.



Рис. 2.10. Фрагменти емуляції руху експериментального ТТА на спуску



Рис.2.11. Фрагменти емуляції руху експериментального ТТА на спуску



Рис. 2.12. Фрагменти емуляції руху експериментального ТТА на спуск



Рис. 2.13. Фрагменти емуляції руху під час визначення технологічних і коливальних характеристик серійного агрегату



Рис. 2.14. Фрагменти емуляції руху під час визначення технологічних і коливальних характеристик експериментального агрегату

Програмне забезпечення та отримані результати дали змогу підтвердити наукову гіпотезу та теоретичні дослідження в тому, що при пересування ТТА відбуватиметься перерозподіл зчпної ваги не тільки на задні рушії, а й на центральну та передню частину трактора, що дасть змогу збільшити тягово-зчпні властивості, досягнути вищих агротехнічних швидкостей, поліпшити показники прохідності та знизити параметри перекидання агрегату. Однак у середовищі 3D моделювання потрібного ступеня пружності ресорної пружини вдалося домогтися тільки надавши їй циліндричної форми, що трохи відходить від проєктованого прототипу зовні. Це рішення не вплинуло на результат під час практичного застосування але дало змогу сформулювати більш технологічну конструкцію під час подальшої модернізації пристрою.

2.2. Об'єкти та умови проведення експериментальних досліджень

Об'єктами дослідження було обрано такі транспортні засоби:

- трактор МТЗ-82 і причіп 2ПТС-4 у серійному виконанні (рис. 2.15);
- трактор МТЗ-82 і причіп 2ПТС-4 зі встановленим буксирно-розподільним пристроєм (рис. 2.16);



Рис. 2.15. Серійний тракторно-транспортний агрегат (А – проведення випробувань у літньо-осінній період, Б – проведення випробувань у зимово-весняний період).



Рис. 2.16. Експериментальний тракторно-транспортний агрегат (А – проведення випробувань в осінній збиральний період, Б – проведення випробувань у зимовий період).

Для стабілізації поздовжньо-поперечної стійкості та прямолінійності руху було виготовлено та встановлено на трактор буксирно-розподільчий пристрій.

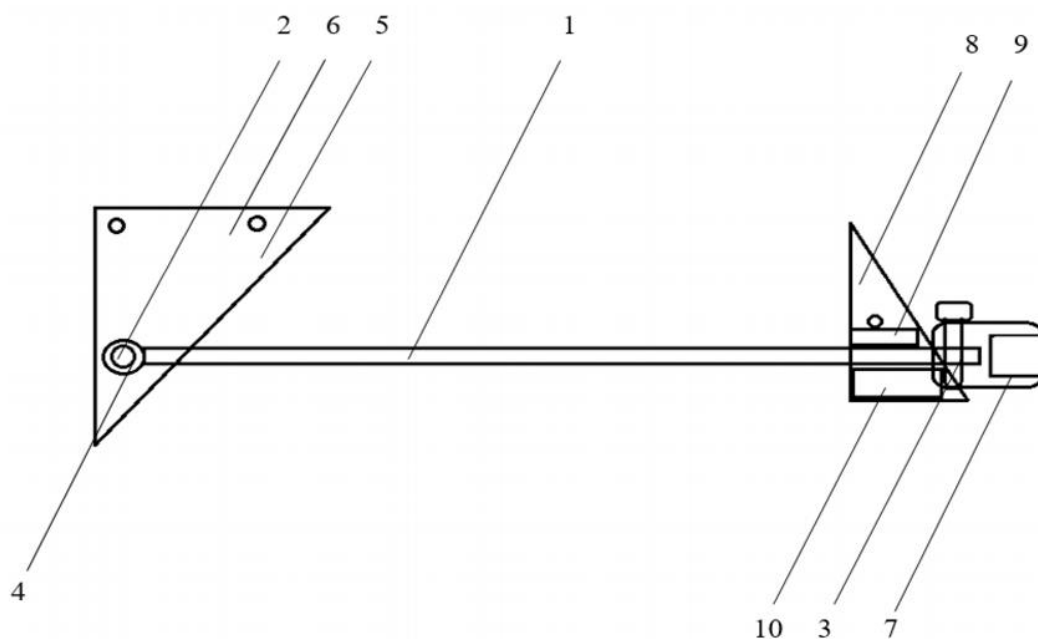


Рис. 2.17. Принципова схема буксирно-розподільного пристрою: 1 – плоска ресорна пружина; 2, 3 – вушка; 4 – торсіонна вісь; 5 – куточок підвісного кронштейна; 6 – рама трактора; 7 – тягова вилка; 8 – рамковий опорний кронштейн; 9, 10 – гумометалевий демпфер.

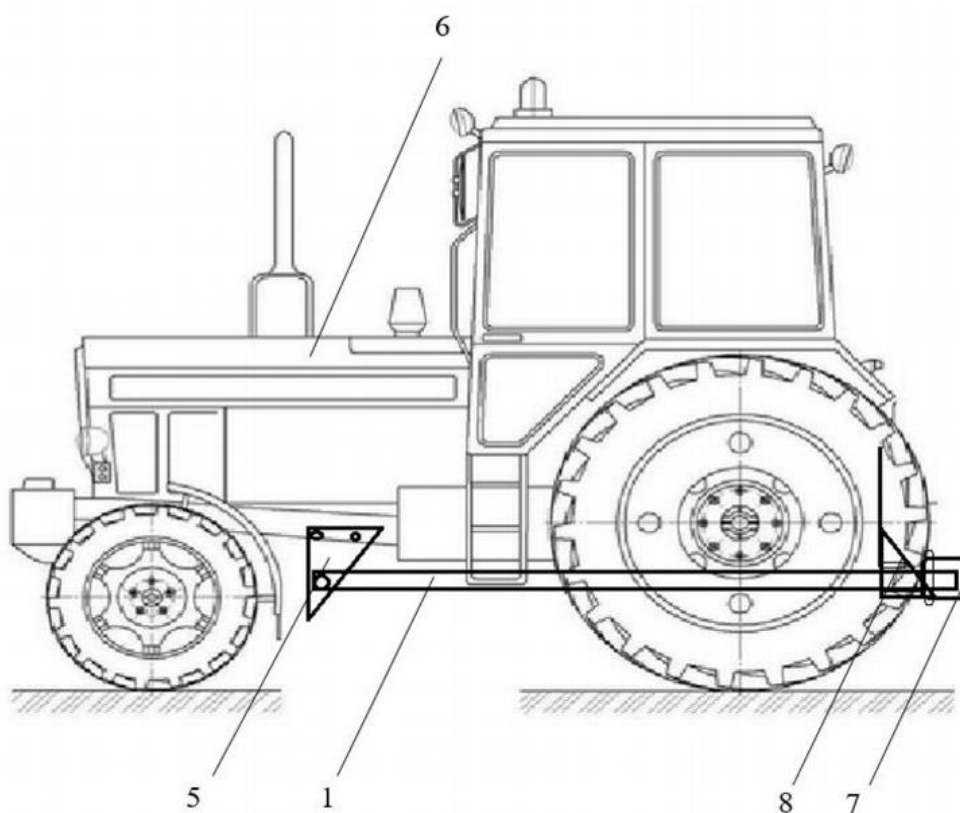


Рис. 2.18 Принципова схема трактора зі встановленим буксирно-розподільним пристроєм (вигляд профільний).

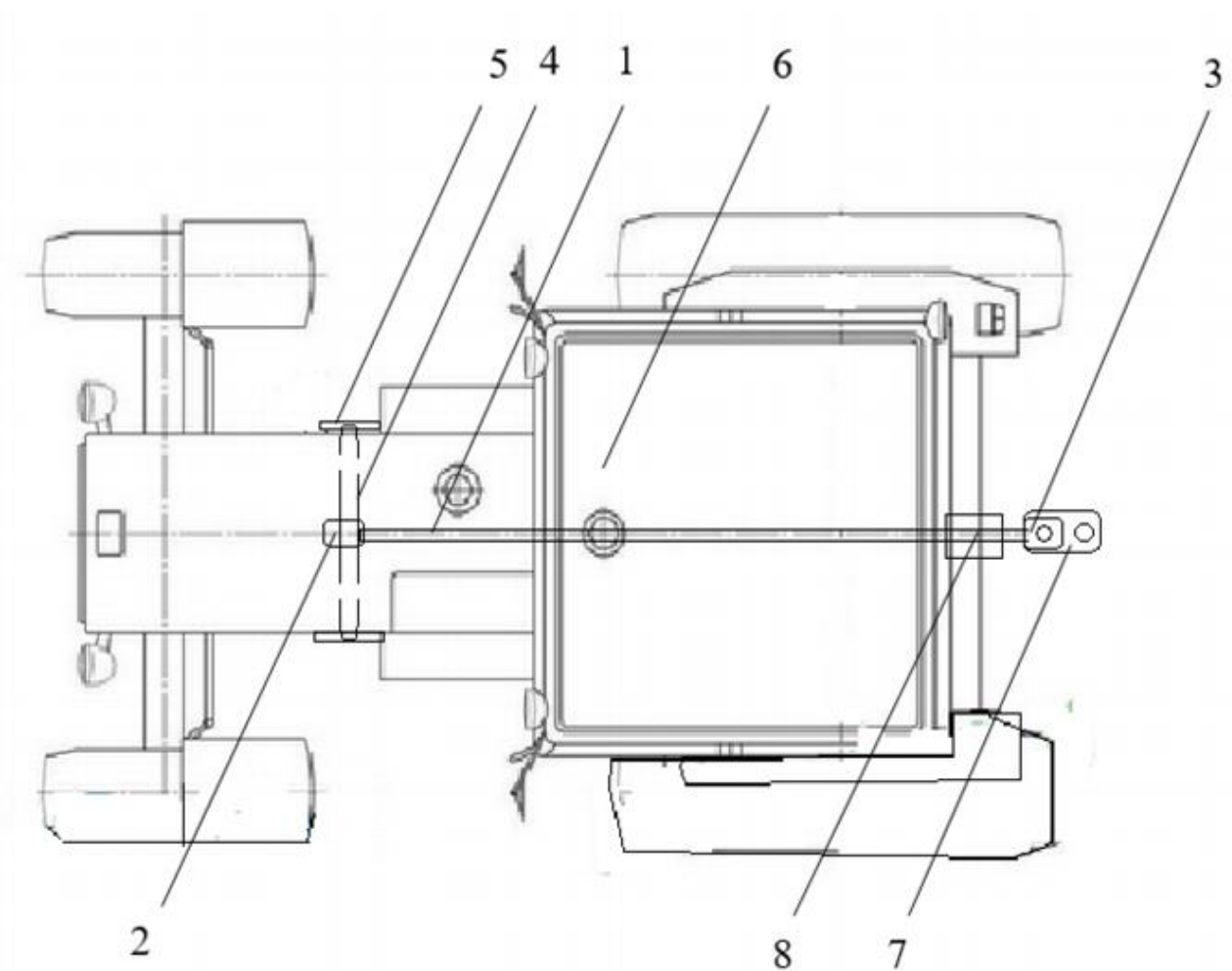


Рис. 2.19. Принципова схема трактора зі встановленим буксирно-розподільним пристроєм (вигляд згори)

Буксирно-розподільний пристрій виконано у вигляді конструкції (рисунок 2.20), яка складається з ресорної пружини 1 із закінченнями 2 та 3 (рисунок 2.21), зафіксованої одним закінченням 2 у серединній частині торсійної осі 4 (рисунок 2.22), що проходить через куточки підвісних кронштейнів 5 (рисунок 2.23), закріплених побортно на рамі трактора 6 (рисунок 2.24), а в наступному закінчення 3 ресорної пружини 1 шарнірно встановлено тягово-зчіпний пристрій 7 типу «тягова вилка» (рисунок 2.25 та 2.26) і рамкового опорного кронштейна 8 (рис. 2.27) з верхнім і нижнім гумометалевими демпферами 9 і 10 (рис. 2.28),

фіксованого болтовим з'єднанням у кормовій частині остова трактора 6, при цьому плоска ресорна пружина 1 проходить між демпферами 9 і 10 опорного кронштейна 8.



Рис. 2.20. Загальний вигляд запропонованої конструкції.



Рис. 2.21. Плоска ресорна пружина (тяга).



Рис. 2.22. Торсіонна вісь у процесі складання конструкції.



Рис. 2.23. Кутовий підвісний кронштейн для кута.



Рис. 2.24. Кутові кронштейни, встановлені на тракторі.



Рис. 2.25. Тягова вилка.



Рис. 2.26. Загальний вигляд з'єднання ресорної пружини і тягової вилки.



Рис. 2.27. Рамковий опорний кронштейн



Рис. 2.28. Гумово-металевий демпфер.

Пристрій працює таким чином: Під час пересування тракторно-транспортного агрегату (ТТА), що складається з колісного трактора, який буксирує, і причепа, рівномірно і прямолінійно горизонтальними ділянками місцевості, завдяки силовому впливу причепа через тягово-зчіпний пристрій 7 відбувається перерозподіл силового навантаження через плоску ресорну пружину 1 не лише на кормову частину трактора та задні рушії, але й на торсіонну вісь 4 та підвісні кронштейни 5, що дозволяє раціонально завантажити як задню частину трактора, так і задні рушії, а й на торсіонну вісь 4 і підвісні кронштейни 5, що дає змогу раціонально завантажити як задні, так і передні колеса трактора, та веде до зниження буксування, збільшення тягового зусилля і підвищення агротехнічної прохідності.

Під час роботи ТТА на схилових поверхнях:

- у русі під ухил, за рахунок силового впливу причепа на тягово-зчіпний пристрій 7 і плоску ресорну пружину відбувається перерозподіл силового

навантаження не тільки на кормову частину трактора 6 і задні рушії, а й на торсіонну вісь 4 і підвісні кронштейни 5, що

завантажує передній керований міст трактора 6, збільшуючи керованість ТТА, стабілізуючи безпеку його руху, траєкторну і курсову стійкість, і дає змогу підвищити швидкісні характеристики і продуктивність транспортного агрегату.

- у русі на підйом, за рахунок силового впливу причепа на тягово-зчіпний пристрій 7 і плоску ресорну пружину 1 відбувається перерозподіл силового навантаження не тільки з кормової частини трактора 6, а й з його переднього керованого моста, водночас спостерігається притиснення керованого моста до поверхні руху, що знижує момент перекидання трактора, стабілізуючи його конструкцію та підвищуючи безпеку його використання в умовах, що розглядаються.

Експериментальні дослідження проводилися в реальних умовах експлуатації на наступних видах дорожнього покриття:

- асфальто - бетонне покриття;
- гравійне покриття;
- ґрунтова дорога;
- засніжена ґрунтова дорога.

Дослідження проводили в осінньо-зимовий період за наявності снігового покриву та ожеледиці (рис. 2.29), а також у літньо-осінній період (рис. 2.30), за слабкої несучої здатності ґрунту через перезволоження на ділянках, що мають поздовжньо-поперечний ухил, а також на горизонтальних ділянках поверхні руху.



Рис. 2.29. Фрагмент проведення випробувань у зимовий період.



Рис. 2.30. Фрагмент проведення випробувань у літньо-осінній період.

Висновки по розділу

Виокремлено об'єкти та сформовано завдання, обґрунтовано загальну методику проведення експериментальних і порівняльно-господарських досліджень.

Проведено технологічний і конструкційний розрахунок, складання та встановлення на серійний ТТА експериментальної конструкції буксирно-розподільного пристрою.

Обґрунтовано модельний ряд і технічні характеристики підібраного приладового комплексу, що дає змогу провести поглиблені експериментальні дослідження та отримання практичних результатів високої точності, що сприяють оптимальному набору інформації та даних для подальшого математичного опрацювання.

Для отримання подальшого доказового апарату, що свідчить про ефективність запропонованої конструкції, необхідне проведення порівняльних господарських випробувань та експериментальне впровадження конструкції.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Однією з особливостей під час пересування транспортних агрегатів дорогами, що мають значні показники крутизни поздовжнього ухилу поверхні руху, зокрема під час руху на спуск, є вплив причепа на прямолінійність руху трактора.

Особливо цей вплив посилюється під час руху поверхнею, що має недостатню несучу здатність, за наявності снігового покриву або ожеледиці. У цьому разі під час руху на спуск спостерігається несталий вплив причепа на причіпний пристрій і ходову систему трактора.

При чому причіп, внаслідок впливу нерівностей поверхні руху, що особливо значно спостерігається на ґрунтових дорогах, здійснює хаотичний рух щодо точки з'єднання причепа з трактором. Унаслідок такого впливу, за наявності недостатнього зчеплення з ґрунтом, виникає додатковий силовий момент, що прагне розвернути енергетичний засіб або навколо задніх, або навколо передніх керованих коліс залежно від того, які з коліс перебувають у найгіршому стані щодо зчеплення з поверхнею. Для усунення цього впливу водієві доводиться усувати так званий занос шляхом негайного реагування за

рахунок зниження швидкості та плавного довороту передніх напрямних коліс у той чи інший бік.

В умовах постійного використання ТТА в умовах, що розглядаються, виникає проблема безпеки руху, яку, як показали проведені раніше за розглянутою темою дослідження, можливо за рахунок автоматичного усунення зазначеного вище ефекту шляхом стабілізації прямолінійного руху, що можна досягти за встановлення буксирно-розподільного пристрою, який реалізує спосіб автоматичного коригування прямолінійного руху.

Під час проведення досліджень з метою визначення параметрів стабілізації прямолінійного руху було проведено заміри. Для фіксації параметрів амплітудних відхилень використовувався заздалегідь відкалібрований електронний цифровий інклінометр BWT901CL.

Приладом (позначений червоним колом) проводили зчитування параметрів відхилення від прямолінійного руху переднього моста, заднього моста трактора і самого причепа згідно з показаннями зміни положення дишла (рис. 3.1, 3.2, 3.3) на серійному й експериментальному зразках тракторів та їхнє звірення в загальному графічному полі.



Рис. 3.1. Фрагмент проведення досліджень щодо відхилення від прямолінійного руху переднього моста трактора (ліворуч-серійний трактор, праворуч-експериментальний трактор).



Рис. 3.2. Фрагмент проведення досліджень щодо відхилення від прямолінійного руху заднього моста трактора (ліворуч-серійний трактор, праворуч-експериментальний трактор).



Рис. 3.3. Фрагмент проведення досліджень щодо відхилення від прямолінійного руху вузла «тягово-зчіпний пристрій трактора-дишло причепа» (зліва-серійний трактор, справа-експериментальний трактор).

Експериментальні дослідження були проведені на базі тракторно-транспортного агрегату, що складається з трактора класу 1,4 з причепом 2ПТС-4, при цьому виміри проводилися в станах ТТА- серійний ТТА з незавантаженим

прицепом, експериментальний ТТА з незавантаженим причепом, серійний ТТА із завантаженим причепом (насіння сої масою 3,8 т.), експериментальний ТТА із завантаженим причепом (насіння сої масою 3,8 т.).

Для переднього моста ТТА, під час руху в різних умовах, отримано показники, представлені на рисунках 3.4-3,7.

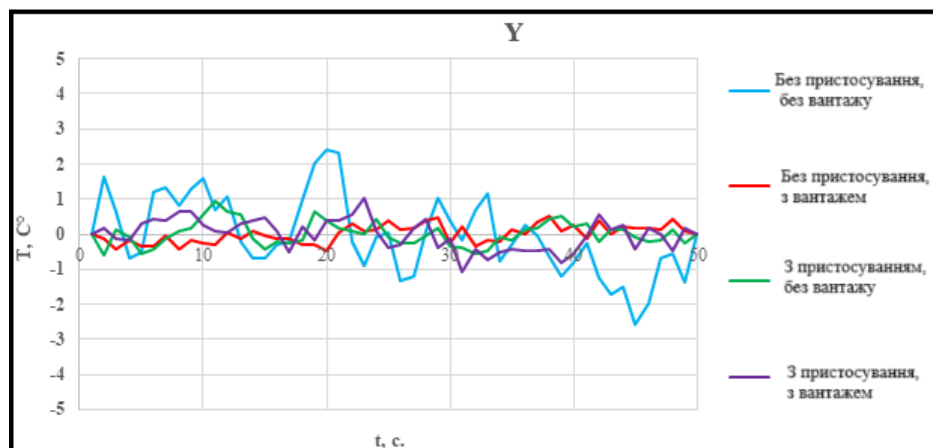


Рис. 3.4. Експериментальні показники відхилення переднього керованого моста трактора за віссю Y у режимі сталого руху

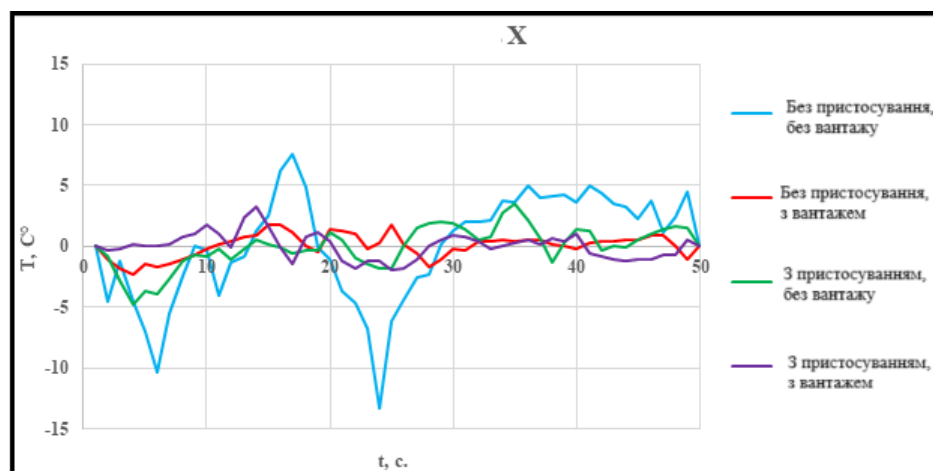


Рис. 3.5. Експериментальні показники відхилення переднього керованого моста трактора за віссю X у режимі сталого руху під час пересування ґрунтовою дорогою.

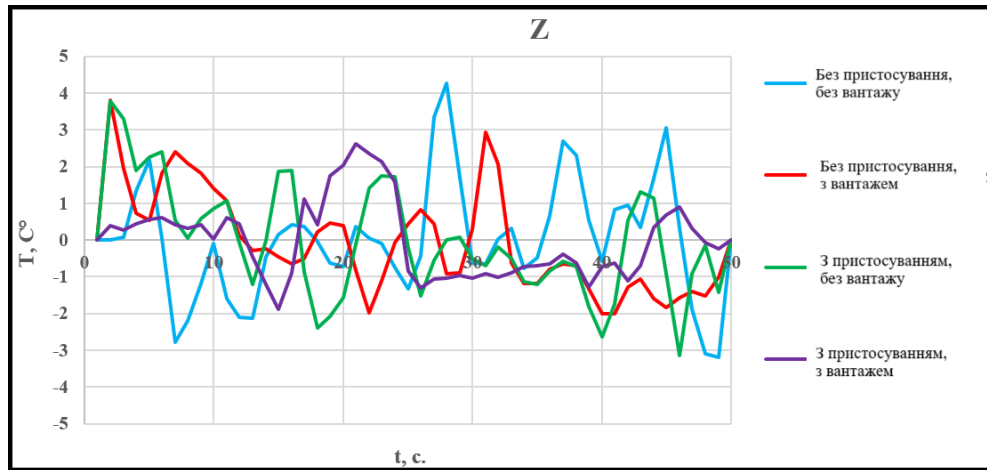


Рис. 3.6. Експериментальні показники відхилення переднього керованого моста трактора за віссю Z у режимі сталого руху під час пересування ґрунтовою дорогою.

Як показали проведені експериментальні дослідження, відхилення від прямолінійного руху на спуску спостерігалось як у серійного тракторно-транспортного агрегату, так і в експериментального зі встановленим дослідним пристроєм. При цьому зафіксоване відхилення від прямолінійного руху, що відповідає результатам, представленим на графіку, серійного тракторно-транспортного агрегату становило від 0,152 м до 0,158 м, а в експериментального тракторно-транспортного агрегату зі встановленим пристроєм - від 0,132 м до 0,136 м. Більш наочно отримані дані представлено на рисунку 3.7.

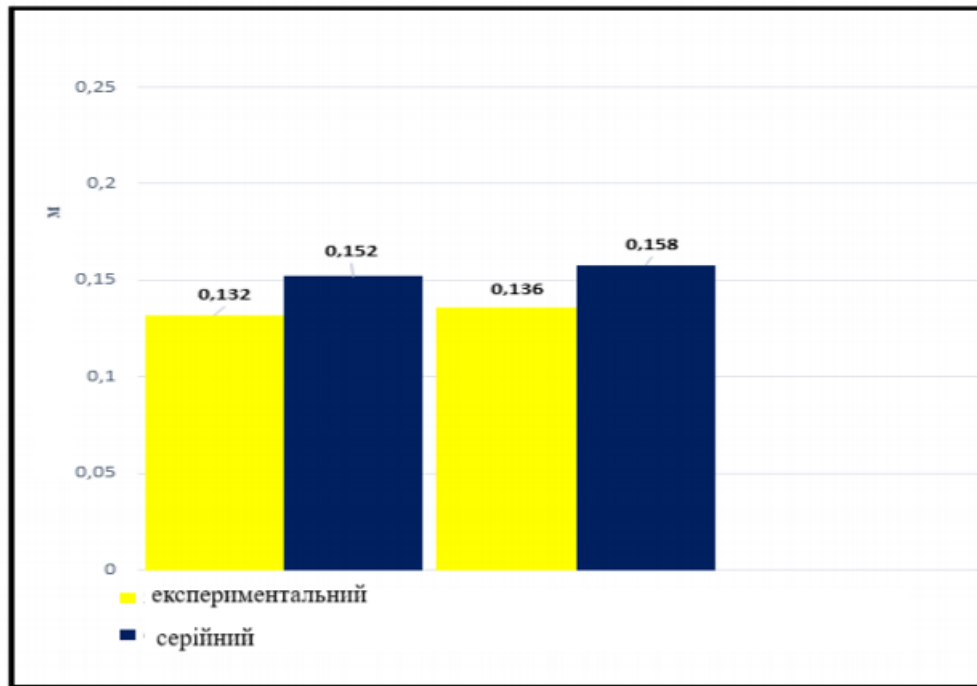


Рис. 3.7. Результати експериментальних досліджень з визначення відхилення від прямолінійного руху серійного та експериментального тракторно-транспортного агрегату.

На підставі даних, отриманих у результаті експериментальних досліджень, встановлено, що встановлення буксирно-розподільного пристрою дає змогу підвищити поздовжню стійкість тракторно-транспортного агрегату порівняно із серійним. Зниження коливань переднього керованого моста становило параметри в межах 0,028 м., що безсумнівно дає змогу збільшити як швидкісні характеристики агрегату, так і його технологічні можливості під час транспортування сільськогосподарських вантажів.

Як показують отримані результати, вертикальні коливання у серійного ТТА становлять від 0,17 м до 0,23 м, а в експериментального тракторно-транспортного агрегату зі встановленим пристроєм – від 0,04 м до 0,065 м за умови відхилень від центральної осі трактора в однакових умовах руху на обраній ділянці дороги.

Висновки по розділу

Постановка буксирно-розподільного пристрою пропонованої конструкції сприяє кращій стабілізації переднього керованого моста трактора в русі ґрунтовими дорогами та дорогами з поліпшеним покриттям. Фіксація по осях коливань X, Y, Z під час руху дорогами з поліпшеним покриттям показує зменшення показників коливальних амплітуд на 60%, 30%, 20% порівняно із серійним агрегатом. Фіксація по осях коливань X, Y, Z під час руху ґрунтовими дорогами показує зменшення показників коливальних амплітуд на 25%, 28,6%, 60% порівняно із серійним агрегатом.

Також встановлено, що наявність вантажу в причепі загалом стабілізує положення переднього керованого моста експериментального ТТА, при цьому результати по осях коливань X, Y, Z показують зменшення показників на 38,4 %, 30,0 %, 24 % на дорогах з поліпшеним покриттям, і на 9,4 %, 8,6 %, 30 % на ґрунтових дорогах порівняно із завантаженим серійним агрегатом.

Постановка буксирно-розподільного пристрою пропонованої конструкції сприяє кращій стабілізації заднього ведучого моста трактора в русі ґрунтовими дорогами та дорогами з поліпшеним покриттям. Фіксація за осями коливань X, Y, Z під час руху дорогами з поліпшеним покриттям показує зменшення показників коливальних амплітуд на 44,2 %, 31,5 %, 54,8 % порівняно із серійним агрегатом. Фіксація за осями коливань X, Y, Z під час руху ґрунтовими дорогами показує зменшення показників коливальних амплітуд на 18,0%, 32,8%, 14,5%, як порівняти із серійним агрегатом.

Також встановлено, що наявність вантажу в причепі загалом стабілізує положення заднього ведучого моста експериментального ТТА, при цьому результати по осях коливань X, Y, Z показують зменшення показників на 29,1 %, 40,0 %, 54 % на дорогах із поліпшеним покриттям, та на 38,6 %, 11,2 %, 24,3 % на ґрунтових дорогах порівняно із завантаженим серійним агрегатом.

Порівняльний аналіз даних показує, що найбільшу амплітуду коливань під час руху на підйом має серійний ТТА без пристрою без вантажу і серійний ТТА без пристрою з вантажем, водночас експериментальний ТТА з пристроєм без вантажу має найменшу амплітуду коливань переднього керованого моста. Амплітуда ж коливань експериментального ТТА з пристроєм і вантажем під час руху на підйом на 27 % стабільніша за зафіксовану амплітуду коливань серійного агрегату.

Наведені результати показують, що під час руху на спуск найнестабільнішою коливальною траєкторією володіє задній ведучий міст серійного ТТА без пристрою без вантажу, бо саме на нього передається навантаження причепа, тоді як показники експериментального ТТА за всіма досліджуваними осями мають стабільні та малозначні коливання, що підтверджує оптимальний перерозподіл передаваної зчіпної ваги на мости трактора за допомогою встановленого пристрою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Запропоновано методологічне обґрунтування підбору конструкції пристроїв для підвищення поздовжньої і траєкторної стійкості ТТА в русі та високоефективну і маловитратну конструкцію «Буксирно-розподільного пристрою», а також низку технічних рішень, що сприяють реалізації наукового завдання з підвищення тягово-зчіпних властивостей і стабілізації коливань колісного тракторно-транспортного агрегату.

Визначено, що найбільшу амплітуду коливань під час руху на підйом має серійний ТТА без пристрою без вантажу і серійний ТТА без пристрою з вантажем, при цьому експериментальний ТТА з пристроєм без вантажу має найменшу амплітуду коливань переднього керованого моста. Амплітуда ж коливань експериментального ТТА з пристроєм і вантажем під час руху на підйом на 27 % стабільніша за зафіксовану амплітуду коливань завантаженого серійного агрегату. Під час руху на спуск найнестабільнішою коливальною траєкторією володіє задній ведучий міст серійного ТТА без пристрою без вантажу, бо саме на нього передається навантаження причепа, тоді як показники експериментального ТТА за всіма досліджуваними осями мають стабільні та малозначні коливання, що підтверджує оптимальний перерозподіл зчіпної ваги, що передається, на мости трактора за допомогою встановленого пристрою.

Проведено порівняльні господарські випробування серійного та експериментального ТТА в умовах руху на схилах. Встановлено, що встановлення запропонованого пристрою дає змогу підвищити продуктивність за годину основного робочого часу, водночас знизити питому витрату пального експериментального агрегату, як порівняти із серійним ТТА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк В.І. Ефективність використання тракторних агрегатів у рослинництві. Київ: Урожай, 2018. 240 с.
2. Герасименко В.В. Технічна експлуатація машин і тракторів: теорія та практика. Харків: ХНАУ, 2020. 312 с.
3. Кравчук А.С., Малюк П.В. Вдосконалення параметрів тракторно-транспортних агрегатів для польових робіт. Науковий вісник НУБіП України. 2021. №3. С. 45–51.
4. Ляшенко О.Є. Механізація і автоматизація сільськогосподарських робіт. Київ: Аграрна наука, 2019. 280 с.
5. Мельник В.І., Бойко А.О. Технологічні процеси функціонування тракторно-транспортних агрегатів. Полтава: Полтавська політехніка, 2020. 198 с.
6. Сидоренко В.П. Трактори та автомобілі: конструкція і експлуатація. Київ: Ліра-К, 2017. 350 с.
7. Шевчук Р.О. Аналіз ефективності використання тракторних агрегатів в аграрному секторі. Київ: Ліра-К, 2020. №2. С. 33–40.
8. Гончаренко В.І. Оптимізація використання енергії тракторних агрегатів. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 256 с.
9. Деркач І.М. Вдосконалення системи обслуговування тракторного парку. Львів: Тріада, 2021. 164 с.
10. Юхимчук О.П., Ломакін А.І. Трактори та агрегати для сільськогосподарських робіт. Одеса: ОДАУ, 2019. 300 с.
11. Hansen P., Smith R. Efficient Use of Tractor-Trailer Units in Agriculture. London: Springer, 2019. 210 p.

12. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. *Journal of Physics : Conference Series*. 1679 (4), art. №. 042084.
13. Johnson D.M., Reed L.J. Optimization of Tractor-Trailer Performance in Field Operations // *Journal of Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 45(3). P. 78–84.
14. Kumar S. *Advances in Agricultural Machinery and Tractors*. New York: CRC Press, 2021. 320 p.
15. Борак К. В., Куликівський В. Л. *Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб.* Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
16. Martin R.L. *Energy Efficiency in Tractor-Trailer Systems: A Comprehensive Review*. Amsterdam: Elsevier, 2022. 275 p.
17. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
18. Smith J., Brown H. *Analysis and Design of Agricultural Tractors*. Berlin: Springer-Verlag, 2021. 350 p.
19. Patel R.K., Gupta M. Improving Productivity of Tractor-Based Transport Systems // *International Journal of Agriculture and Technology*. 2021. Vol. 12(4). P. 115–122.
20. Brown A.E., Wilson T.W. *Tractor Implements and Mechanized Solutions for Modern Farming*. New York: McGraw-Hill, 2020. 280 p.
21. Garcia F., Carter L. *Field Efficiency of Agricultural Machinery*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 245 p.
22. Patterson K. Optimization of Tractor-Trailer Combinations in Agriculture // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 35(2). P. 89–97.
23. Williams T., Lee R. *Agricultural Machinery: Efficiency and Sustainability*. Boston: Pearson Education, 2021. 310 p.

