

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Покращення тягово-зчіпних властивостей трактора збільшенням

кількості ведучих мостів»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братішко В.В.

(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Калінін Є.І.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Зубченко Максим Сергійович

(ПІБ)

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, ЦІЛЬ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДУ	8
1.1 Особливості природно-виробничих умов Київської області та їх вплив на використання колісних тракторів класу 1.4.....	8
1.2 Історичні аспекти та аналіз розвитку конструкцій повнопривідних тракторів.....	11
1.3 Порівняльний аналіз техніко-експлуатаційних та тягових концепцій серійних тракторів Т-80 та Т-82	16
1.4 Аналіз шляхів підвищення ефективності використання колісних тракторів на транспортних роботах.....	19
1.5 Підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних тракторів	21
1.6 Висновки	23
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДОСЛІДУ	25
2.1 Теоретичне обґрунтування вибору привода додаткового ведучого моста	25
2.2 Вплив додаткового ведучого моста на величину буксування.....	34
2.3 Вплив додаткового ведучого моста на величину продуктивності ...	35
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДІВ.....	37
3.1 Результати теоретичних дослідів по розподілу зчіпної ваги по мостах трактора	37
3.2 Результати теоретичних досліджень по визначенню величини буксування.....	41
3.3 Результати теоретичних дослідів по розподілу балансу потужності трактора	43
3.4 Результати порівняльних господарських випробувань трактора класу 1,4 з додатковим ведучим мостом.....	45

3.5 Паливно енергетичний аналіз використання трактора класа 1,4 з додатковим ведучим мостом	47
РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВЕДУЧИХ МОСТІВ	51
РОЗДІЛ 5 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТРАКТОРІВ	55
5.1 Концепція інтелектуального керування приводом додаткового моста на основі моніторингу буксування в реальному часі	55
5.2 Адаптація модульних ходових систем для універсально-просапних тракторів як засіб підвищення їхньої конкурентоспроможності.	56
5.3 Розробка сервісної інфраструктури та технологічного регламенту переобладнання техніки.....	57
5.4 Екологічна стратегія зниження техногенного навантаження на ґрунт за рахунок оптимізації зчеплення	58
5.5 Соціально-ергономічна значущість та покращення умов праці механізатора.	59
ВИСНОВОК.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Актуальність теми підвищення тягово-щепних характеристик тракторів в сучасних агротехнічних умовах обумовлена необхідності підвищення продуктивності сільськогосподарських робіт при одночасному зниженні витрат енергії та негативної взаємодії з ґрунтом. В умовах Київської області, де переважають чорноземи та дерново-підзолості ґрунти зі змінною вологою і різною несучою здібністю, експлуатація тракторів в польових та транспортних режимах стикається з переліком проблем: недостатня передача тягових зусиль на ґрунт, високий коефіцієнт буксування, нерівномірний розподіл тиску на ґрунт, що у результаті веде до деградації його структури при інтенсивній експлуатації. Підвищення кількості ведучих мостів тракторної трансмісії розглядається як технічне рішення, дозволяючи підвищити ефективність використання тягової потужності двигуна за рахунок покращення щеплення, зниження тиску на ґрунт і підвищення прохідності техніки на складних ділянках поля.

До потенційних недоліків відносять ускладнення трансмісії та системи керування, підвищення маси та ціни машини, можливе підвищення розходу палива при нераціональному використанні додаткових ведучих мостів, а також необхідність адаптації агрегатів та навісного обладнання до зміненої кінематики трансмісії.

В роботі проводиться економіко-технічна оцінка цілі модернізації трансмісії з урахуванням затрат на доробіток, очікуємої витрати палива та часу при виконанні польових робіт в умовах Київської області.

Порівняльний аналіз тракторів Т-80 та Т-82 включає оцінку їх вихідних тягово-щепних характеристик, конструктивних особливостей трансмісії, розподіл маси по осях, а також типічних режимів експлуатації на господарствах області. Для кожної моделі виконані розрахунки максимальної теоретичної тяги, реальної тяги з урахуванням коефіцієнта щеплення і допустимого пробуксовування. А також оцінка впливу зміни числа провідних мостів на ці показники. У розрахунках використані типові параметри шин, геометричні характеристики мостів та дані про масу тракторів у робочому

стані. На основі отриманих результатів сформовані рекомендації щодо оптимального числа провідних мостів для конкретних умов експлуатації: легкі та середні ґрунти з низькою вологістю, важкі та перезволожені ділянки, а також комбіновані режими, де потрібен баланс між щепленням та мінімізацією ущільнення ґрунту.

Важливою частиною роботи ж практична перевірка розрахункових висновків на прикладі типових завдань агротехнічного циклу Київської області. Оранка на глибину 20-30 см, культивація, посів та транспортування під час завантаження. Для кожного режиму визначаються необхідна тягова сила, допустимий рівень пробуксовування та оптимальне розподілення навантаження ведучими мостами. На основі цих даних оцінюється вплив збільшення кількості ведучих мостів на продуктивність агрегату, витрата палива і якість обробки ґрунту. Результати розрахунків показують при правильно підібраній схемі приводу на регулюванні тиску шини збільшення числа ведучих мостів дозволяє знизити пробуксовку, зменшити питомий тиск на ґрунт та підвищити середню швидкість обробки.

Ці показники підтверджують практичну значущість модернізації трансмісії, підвищення ефективності сільськогосподарських операцій в умовах регіону.

Мета роботи розробити та обґрунтувати технічні та експлуатаційні рішення щодо підвищення тягово-щепних характеристик трактора шляхом збільшення кількості ведучих мостів з урахуванням ґрунтово кліматичних умов Київської області. Провести порівняльний аналіз ефективності таких рішень на прикладі тракторів Т-80 та Т-82 та сформулювати практичні рекомендації для провадження у сільськогосподарські підприємства.

Об'єктом дослідження є тягово-щепні властивості тракторної трансмісії та щеплення тракторних коліс при різних схемах приводу.

Предметом дослідження є вплив кількості ведучих мостів на величину тягової сили, що реалізується коефіцієнтом щеплення, пробуксування, питомим тиском на ґрунт та експлуатаційними показниками тракторів Т-80 та Т-82 в умовах київської області.

Практична значимість роботи полягає в тому, що отримані розрахункові на аналітичні матеріали можуть бути використанні при проектуванні та модернізації тракторного парку господарств. При виборі оптимальних режимів експлуатації та регулювання шинного тиску, а також при розробці рекомендацій щодо адаптації навісного та причіпного обладнання.

Підвищення тягово-зчіпних характеристик тракторів має значення не тільки для виконання польових операцій, але і для транспортних робіт, які займають значну частку у сільськогосподарському виробництві. Перевезення врожаю, добрив, насіння, будівельних матеріалів та інших вантажів вимагає від тракторів високої надійності та стійкості на дорогах різної якості - від твердих ґрунтових то перезволожених польових трас. В умовах Київської області транспортний аспект є особливо важливим.

Господарства часто стикаються з необхідністю перевезення великих обсягів продукції на значні відстані, включаючи вивіз зерна до елеваторів або доставку добрив на поле у період інтенсивних робіт. Збільшення числа ведучих мостів дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження, знижуючи рівень пробуксовки під час руху з важким причепом та підвищує стійкість трактора на слизьких або пухких покриттях. Це не тільки збільшує продуктивність транспортних операцій, а й знижує витрати на паливо та технічне обслуговування, оскільки зменшується ймовірність аварійних ситуацій та поломок. Таким чином, транспортний аспект підкреслює практичну значимість роботи та показує, що її результати можуть бути застосовані не тільки в польових умовах, а й у широкому спектрі господарських завдань, пов'язаних із логістикою та забезпеченням сільськогосподарського виробництва

Впровадження запропонованих рішень дозволить підвищити продуктивність польових робіт, знизити витрату паливу та зменшити негативний вплив на ґрунт, що особливо важливо для збереження родючості землі та підвищення економічної ефективності сільськогосподарських підприємств.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, ЦІЛЬ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДУ

1.1 Особливості природно-виробничих умов Київської області та їх вплив на використання колісних тракторів класу 1.4

Ефективність експлуатації машинно-тракторного парку, який є однією з найважливіших частин аграрного виробництва, глибоко залежить від природно-кліматичних умов розташування підприємства, де машинно-тракторні агрегати експлуатуються.

Можна зазначити, що основними та найважливішими критеріями таких умов є наступні показники: тип та фізико-механічні властивості ґрунтів, їх вологість, кліматичні умови(а саме температура, опади, вологість повітря і т.п.), розміри ділянок та їх рельєф, особливості структури посівних площ, також можна віднести і саму технологію вирощування сільськогосподарської культури.

Для розгляду і порівняння тракторів з одним або двома ведучими мостами, ми будемо опиратися на природно-кліматичні умови господарств Київської області, які описуються в екологічному паспорті області [11С].

Рельєф на Київщині має переважно рівнинний характер з загальним похилом до долини Дніпра. Північ Київщини знаходиться у межах Поліської низовини. На сході області знаходиться частина Придніпровської низовини. Найбільш підвищена та розчленовані південна та південно-західна частини Придніпровської низовини, а найбільш підвищеною, у свою чергу, є південна та південно-західна частини, зайняті придніпровською височиною, у якої найвища точка знаходиться на висоті близько 273 метрів над рівнем моря.

Ґрунтовий покрив Київської області є досить різноманітним. Площа земель в адміністративних межах київської області становить 2816,2 тис. Га.

Площа сільськогосподарських угідь становить 1658,9 тис. Га або 58,9% від загальної площі області. Розорюється 1353,7 тис. Га земель, що

дорівнює 48,1% від загальної площі області та 81,4% сільськогосподарських угідь.

Забудовані землі займають 137,4 тис. Га, що становить 4,9% від загальної площі області.

Ліси та інші лісовкриті площі займають 648,7 тис. га або 23,0% від загальної площі області і є в середньому на рівні розрахунково-оптимального показника, який забезпечує збалансованість між лісовими ресурсами, обсягами лісокористування та екологічними вимогами.

Під внутрішніми водами знаходиться 175, 1 тис. га, що складає 6,2% від площі області. В зонах впливу водосховищ підтоплені близько 10 тис. га сільськогосподарських угідь

Землі промисловості становлять 12,9 тис. га(0,5% від загальної площі області), транспорту і зв'язку – 26,1 тис. га.

З усіх земель 56,0 тис. га. становлять землі природоохоронного призначення, 0,4 тис. га оздоровчого, 1,4 тис. га рекреаційного в 1,2 тис. га історико-культурного призначення

Структура сільськогосподарських угідь регіону у відсотковому співвідношенні має такі сільськогосподарські угіддя: рілля – 81,6%, пасовища – 8%, сіножаті – 6,9%, багаторічні насадження – 2,8%, перелоги – 0,7%.

На півночі дерново-підзолисті та піщані ґрунти характеризуються швидким прогріванням, але поганою здатністю утримувати в собі вологу, що вимагає від техніки низького питомого тиску. У свою чергу на півдні області чорноземи та сірі лісові ґрунти виділяються важкістю механічного складу, який створює високе тягове навантаження на техніку, що особливо сильно проявляється під час весни, коли ґрунти мають високу вологість.

Високий рівень вологості ґрунту є також причиною високого рівня ґрунтових вод, особливо у місцях протікання великої кількості малих або великих річок, таких як Дніпро, Десна та Ірпінь. Найбільше це помітно з березня по травень, бо саме у цей період для Київської області

характерним є швидке танення снігу та рясні опади, що у результаті призводить до неоднорідного настання фізичної стиглості ґрунту.

Клімат Київської області помірно-континентальний, м'який з достатнім рівнем вологості. Характеризується тривалою, теплою зимою та достатньо теплим і вологим літом. Пересічна температура у січні на території області близько -6 градусів, а в липні близько +20. Безморозний період триває в середньому близько 160-165 днів. Період з температурою понад +10 градусів триває близько 155-165 днів. В середньому 500-600 мм опадів на рік, максимальна кількість яких, а саме близько 40%, випадає в літній період. Серед несприятливих кліматичних явищ, які можуть зустрічатися на території області зазначають інтенсивні зливові дощі з грозами, град, бездошові періоди, суховії, пилові бурі в літній період, льодова кірка, ожеледь тощо [17]. Дані щодо кліматичних умов було отримані з електронного ресурсу моніторингу клімату областей України [14].



Рисунок 1.1 - Графік кількості опадів та середньої добової температури Київської області протягом 2025 року

Через підвищену вологість ґрунт доходить своєї фізичної зрілості пізніше у порівнянні з південними областями, через що виникає потреба у виконанні великого обсягу роботи у дуже стислий термін.

Таким чином, провівши аналіз природно-кліматичних умов Київської області ми можемо зробити висновок, що рівень вологості та особливості ґрунтового покриву створюють складні умови для експлуатації мобільних енергетичних засобів. У зв'язку з цим підвищення експлуатаційних характеристик мобільних енергетичних засобів шляхом збільшення кількості ведучих мостів є основним і найпродуктивнішим шляхом підвищення тягово-зчіпних властивостей техніки для виконання задач.

1.2 Історичні аспекти та аналіз розвитку конструкцій повнопривідних тракторів

На початку свого існування у XIX столітті трактори були переважно задньопривідними. Машинобудування у сільському господарстві тільки зароджувалося, тому технологічної заміни коней у вигляді трактора було цілком достатньо і з заднім приводом для продуктивного виконання сільськогосподарських задач того часу. Таким чином до 1950-х років трактори були монопривідні[16].



Рисунок 1.2 - Трактор СХТЗ-15/30 (1931-1937)

До половини минулого століття виникла проблема з передачею крутного моменту від коліс на ґрунт, причиною якої стало загальне збільшення потужності двигунів на тракторах. Якщо в 30-х роках моделі мали двигуни з потужністю близько 30-40 кінських сил, то в 50-х роках цей показник вже сягнув 60-80. Задня вісь просто не могла передати таку потужність на м'який ґрунт, через що значно підвищувався коефіцієнт буксування і машина витрачала енергію двигуна не на рух, а на руйнування ґрунту, що не могло позитивно вплинути також і на витрату палива.

Також значною мірою послугувало і збільшення ваги причіпних агрегатів, які машині було або просто тяжко тягнути, або які відривали передні колеса від землі. Це і стало основною причиною для додавання ще одного ведучого моста.

З додаванням ПВМ(переднього ведучого моста) передні колеса не тільки задавали напрямок руху машини, а і допомагали трактору долати складні рельєфи, ґрунт в різному стані та загалом стабілізували його рух.

У 50-х роках минулого століття почалися експерименти зі створення повнопривідного трактора. Основною проблемою був різний радіус: передні колеса мали менший розмір, ніж задні, що ставило перед інженерами та конструкторами завдання синхронізації обертання передніх коліс з задніми.



Рисунок 1.3 - Трактор МТЗ-52

Вирішити цю проблему вдалося за рахунок обгінної муфти, яка забезпечувала рівномірну роботу переднього і заднього мостів в парі. Поки задні колеса працювали без пробуксовувань і сильних навантажень, передній міст крутився швидше, ніж його крутила трансмісія. В момент пробуксовування задніх колес муфта замикалася і передні колеса починали допомагати тягнути трактор. Першим серійним трактором, в якому запровадили таку систему став МТЗ-52 у 1963 році [15]. Створення цього трактору стало визначною подією в сільськогосподарському машинобудуванні того часу. Це був перший серійний трактор з колісною формулою 4К4, де передній міст включався автоматично. Завдяки демонстративній ефективності цього трактора стало зрозуміло, що збільшення кількості ведучих мостів є найефективнішим способом збільшення тягово-зчіпних властивостей трактора.

Досвід експлуатації МТЗ-52 показав, що навіть для універсально-просапних тракторів повний привід є обов'язковим для ефективної роботи з навісними агрегатами. Це призвело до того, що в 70-80-х роках практично кожен базовий трактор отримав модифікацію з переднім ведучим мостом (ПВМ). Розвиток ідеї збільшення кількості ведучих мостів не зупинився на самому тракторі [33]. Почали з'являтися дослідні зразки транспортних агрегатів з активним приводом коліс причепа, де потужність від двигуна трактора передавалася на мости причепа через вал відбору потужності (ВВП). Це перетворювало весь МТА на єдину повнопривідну систему, що було критично важливо для транспортних робіт на вологих ґрунтах. Перехід від МТЗ-52 до сучасних багатомостових систем підтвердив основний технічний принцип: підвищення потужності двигуна без відповідного збільшення зчіпної ваги та кількості ведучих мостів є неефективним. Це заклало фундамент для дослідження, де розглядається покращення тягових властивостей саме через оптимізацію кількості ведучих осей.

Логічним і, без перебільшення, найважливішим етапом у подальшій еволюції повнопривідних схем вітчизняного тракторобудування став перехід від моделі МТЗ-52 до якісно нового сімейства — МТЗ-80 (рис.) та його повнопривідної модифікації МТЗ-82(рис.). Розробка цих машин розпочалася на початку сімдесятих років, коли перед інженерами Мінського тракторного заводу постало складне завдання: суттєво підвищити продуктивність техніки без втрати тієї універсальності, за яку так цінували «п'ятдесятку». Фактично, конструкторам вдалося здійснити глибоку модернізацію, зберігши близько сімдесяти відсотків уніфікації з попередньою моделлю, що дозволило уникнути болісної перебудови виробничих ліній, проте внутрішня начинка трактора змінилася кардинально.



Рисунок 1.4 - Трактор МТЗ-80

Серійне виробництво МТЗ-82 стартувало у 1974 році, і ця машина миттєво стала новим стандартом для сільського господарства. Головним «серцем» трактора став дизельний двигун Д-240, потужність якого зросла до 80 кінських сил [13]. Це досягли не просто збільшенням об'єму, а впровадженням безпосереднього впорскування палива безпосередньо у камеру згоряння, розташовану у поршні. Таке рішення не лише додало

тяги, а й зробило двигун значно економічнішим. Оскільки потужність зросла, інженерам довелося посилити всю трансмісію та розробити нову коробку передач із понижуючим редуктором, що дало механізатору колосальний вибір — 18 швидкостей уперед. Це дозволяло ідеально підібрати режим роботи: від повільного руху з овочевими сівалками до швидкої пахоти чи транспортних робіт.

Окремо варто зупинитися на конструкції переднього ведучого мосту МТЗ-82, який зберіг порталний тип. Це рішення було геніальним у своїй простоті, адже воно дозволяло залишати величезний дорожній просвіт під передньою віссю, що критично важливо при обробці високих культур, наприклад, кукурудзі чи соняшнику. Також на цій моделі з'явилося удосконалене автоматичне блокування диференціала заднього моста з гідравлічним приводом. Це означало, що трактор сам «відчував» пробуксовку і підключав блокування, що в поєднанні з повним приводом робило його майже всюдихідним на важких, переувлажнених ґрунтах.



Рисунок 1.5 - Трактор МТЗ-82

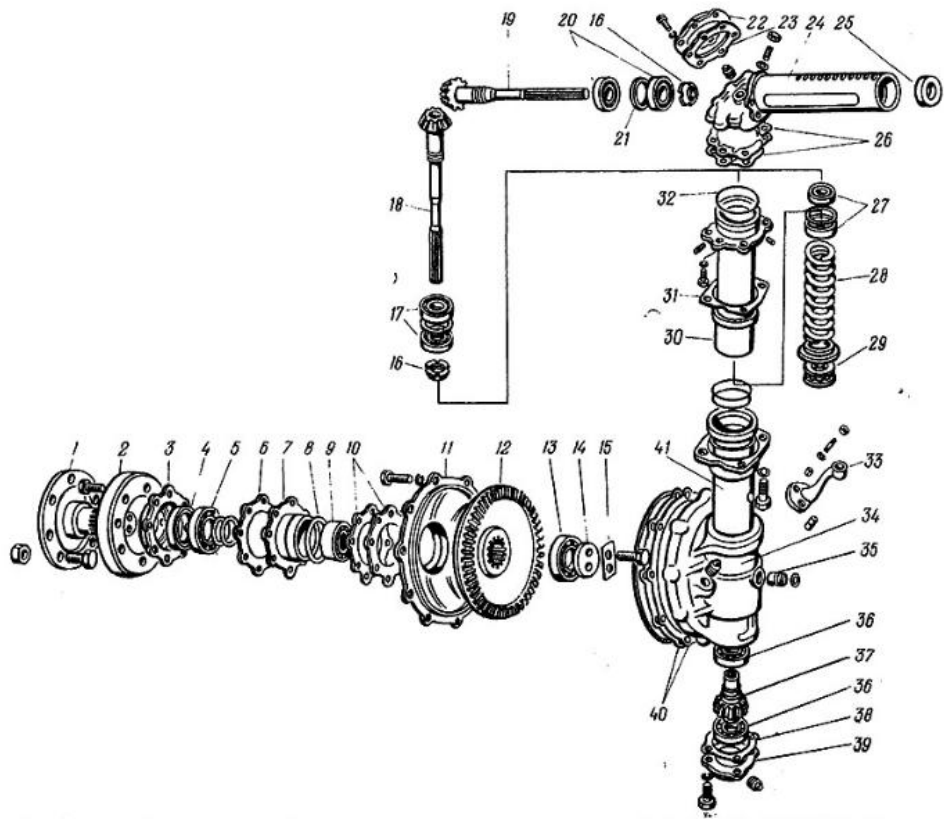
Цікаво, що МТЗ-82 став справжнім світовим бестселлером. Поки в інших країнах тільки намагалися створити надійний універсально-просапний трактор із двома провідними мостами, мінська машина вже активно експортувалася у понад сто країн світу. Навіть фермери в США та

Канаді купували ці трактори через їхню феноменальну живучість та простоту у ремонті «у чистому полі». Впровадження повного приводу на цій моделі дало такий стрибок продуктивності (майже на третину порівняно з МТЗ-52), що конструктивна схема МТЗ-82 і сьогодні залишається базовою для багатьох сучасних тракторів середньої потужності. Ця машина фактично завершила епоху пошуків оптимального компоновання повнопривідного просапника, довівши, що схема з порталним переднім мостом є найбільш життєздатною для аграрного сектору.

1.3 Порівняльний аналіз техніко-експлуатаційних та тягових концепцій серійних тракторів Т-80 та Т-82

Для обґрунтування напрямків підвищення ефективності використання колісних тракторів класу 1,4 необхідно провести детальний порівняльний аналіз двох базових моделей вітчизняного виробництва — Т-80 та Т-82. Хоча ці машини побудовані на спільній конструктивній платформі та уніфіковані за більшістю вузлів трансмісії та двигуна, характер їхньої взаємодії з опорною поверхнею та логіка реалізації тягового зусилля суттєво відрізняються.

Трактор Т-80 є класичним представником техніки з колісною формулою 4к2 (з приводом лише на задню вісь) [24]. У такій схемі передні колеса виконують суто спрямовуючу функцію. Модель Т-82 є повнопривідною модифікацією (4к4), оснащеною переднім ведучим мостом (ПВМ) з роздавальною коробкою.



1 - фланець; 2 - грязьовик (відбивач бруду); 3 - корпус сальника (корпус манжети); 4 - манжета (ущільнення); 5, 9, 13, 17, 20, 27, 29, 36 - підшипники; 6, 23, 31, 38, 40 - прокладки; 7 - стакан; 8, 32 - кільця; 10, 26 - регулювальні прокладки; 11, 22, 39 - кришки; 12, 37 - шестерні; 14 - шайба; 15 - пластина; 16 - гайка; 18 - вал; 19 - піввісь; 21 - регулювальне кільце; 24, 34 - корпуси; 25 - манжета; 28 - пружина; 30 - труба шкворня; 33 - важіль; 35 - штифт; 41 - гільза.

Рисунок 1.6 - Схема переднього ведучого моста трактора МТЗ-82

З інженерної точки зору, перехід від Т-80 до Т-82 дозволив частково вирішити проблему недостатньої зчіпної ваги, проте породив певні кінематичні особливості. Через використання коліс різного діаметру на передній та задній осях Т-82, конструкторам довелося закласти в трансмісію так зване «випередження» передніх коліс (у межах 1,5–4%). Це необхідно для того, щоб передній міст «тягнув» трактор за собою, покращуючи керуваність на поворотах. Однак на твердих покриттях або при неправильно підібраному тиску в шинах це випередження призводить

до виникнення паразитної потужності та підвищеного зносу протектора, чого немає у базового Т-80.

Головне технічне протиріччя Т-80 виникає під час виконання енергоємних польових операцій (оранка, глибока культивация). При зростанні опору сільськогосподарського знаряддя задня вісь Т-80 починає інтенсивно буксувати, оскільки зчпної ваги, що припадає на два колеса, недостатньо для реалізації повної потужності двигуна. На м'яких агрофонах коефіцієнт буксування Т-80 може стрімко перевищувати допустимі 15% і сягати 20–25%.

Т-82 за рахунок підключення ПВМ здатний перерозподіляти крутний момент на всі чотири колеса, що збільшує максимальне тягове зусилля на 15–20% залежно від умов зволоження ґрунту. Це дозволяє Т-82 працювати з ширшим шлейфом знарядь. Проте аналіз динаміки показує, що при агрегуванні з важкими навісними машинами виникає ефект «розвантаження» передньої осі — вага знаряддя намагається підняти передню частину трактора. У цей момент ефективність ПВМ серійного Т-82 суттєво падає, і він за своїми зчпними показниками починає наближатися до Т-80, не реалізуючи свій потенціал на 100%.

З погляду експлуатації в реальних господарствах, вибір між цими моделями часто впирається в економіку. Т-80 є простішим в обслуговуванні, має меншу кількість рухомих деталей у ходовій частині та нижчі механічні втрати в трансмісії на транспортних роботах. Т-82, маючи вищу прохідність, є значно дорожчим як етапі закупівлі, так і під час ремонтів (особливо це стосується карданних з'єднань ПВМ, бортових редукторів та елементів роздавальної коробки).

Крім того, більша конструктивна маса Т-82 (за рахунок вузлів повного приводу) призводить до підвищення витрат палива на самопересування при виконанні легких міжрядних операцій чи транспортних перевезень, де повний привід є надлишковим.

Вагомий внесок у дослідження цієї проблематики та оптимізацію ходових систем тракторів класу 1,4 зробили провідні українські вчені.

Зокрема, у працях проф. В. Т. Надикто [27] експериментально доведено, що перехід від задньопривідного компонування до повнопривідної схеми 4к4 (Т-82) супроводжується зростанням внутрішніх втрат у трансмісії через кінематичну невідповідність приводів. Це за певних умов погіршує загальну паливну економічність трактора на легких фонах. Водночас дослідження фахівців ННЦ "ІМЕСГ" під керівництвом М. Г. Кравчука [22] показують, що динаміка буксування базового трактора типу Т-80 має критичний характер: при перевищенні оптимального тягового опору буксування стрімко зростає до 22–25%, викликаючи катастрофічне руйнування капілярної структури ґрунту та його ерозію. Цей ефект посилюється динамічним перерозподілом мас під дією навісних знарядь. Як свідчать теоретичні розрахунки наукової школи ХНАДУ під керівництвом проф. В. Б. Самородова [31], під час роботи з важкою задньою навіскою (наприклад, трикорпусними плугами) вертикальна реакція на передню вісь серійного Т-82 зменшується майже вдвічі, що суттєво знижує зчіпну здатність та ККД його переднього ведучого моста

1.4 Аналіз шляхів підвищення ефективності використання колісних тракторів на транспортних роботах

Транспортні роботи у технології виробництва сільськогосподарської продукції складають невід'ємну частину всього технологічного процесу. На виконання даних робіт потрібні значні трудові та енергетичні витрати. При цьому слід зазначити, що для забезпечення сільськогосподарського виробництва потрібна велика різноманітність вантажів – близько 250 різних найменувань, що в кінцевому підсумку викликає велику потребу в транспортних засобах.

Як показують статистичні дослідження, частка витрат на транспортування вантажів складає 20-40% від загальної суми витрат на виробництво продукції, а в окремих випадках (при виробництві силосу і сінажу) ця цифра досягає до 65-70% [10]. При цьому витрати енергії

досягають 50%, а обсяг вантажоперевезень на 1 га ріллі складає від 20 до 60 тон.

В даний час суттєво знизився коефіцієнт поповнення та оновлення існуючої техніки, що безпосередньо вплинуло на економіку та ефективність транспортних робіт та знизили експлуатаційні показники. У зв'язку з цим так важливо ефективно використовувати тільки ті, що знаходяться в експлуатації транспортних засобів. За рахунок удосконалення їх конструктивних якостей, при цьому потрібно домагатися зниження витрат на виробництво сільськогосподарської продукції. В останні роки тракторним транспортом здійснюються внутрішні господарські перевезення, а поза господарством автомобільним транспортом. Якщо брати до уваги перевезення тільки для сільськогосподарського виробництва, то на частку тракторного транспорту доводиться до 50-60% [7]. Більшість виконуваних ними робіт(транспортні, внутрішні, господарські перевезення) 25-60%.

За кордоном цей показник становить 35-90%. У Німеччині перевозиться тракторним транспортом до 75% вантажів сільськогосподарського призначення, у Франції 90%, у Польщі до 52%, в США понад 35%. В Угорщині до 77%, у Норвегії понад 90%. Ефективність використання колісних тракторів на транспортних роботах у сільськогосподарському виробництві пояснюється можливістю їх пересування як по польових, так і по дорогах з твердим покриттям.

На ефективність застосування колісних тракторів на транспортних роботах впливають такі фактори: природно-кліматичні умови, швидкість руху, енергетичні показники трактора, тягово-зчіпні властивості, відстань вантажоперевезень, вантажопідйомність і тому подібне.

Використання транспортних агрегатів з двома провідними мостами підвищує економічність транспортних робіт, а кінематична невідповідність усувається добором певного тиску в колесах трактора.

Поліпшення тягово-зчіпних якостей можна досягти зміною конструкції ходового апарату за рахунок винесення центру тяжіння ближче

до переднього мосту біля повнопривідних тракторів. Це дає можливість підвищити зчіпну вагу за рахунок перерозподілу навантаження між осями трактору. Збільшення зчіпної ваги задніх коліс можна забезпечити шляхом застосування сидельного напівпричепа або додаванням баласту в задню частину трактора.

Збільшення величини вертикальних навантажень на провідні колеса трактора підвищує прохідність, знижує величину буксування та тяговий опір навісних машин і причепів, знижує витрату палива, підвищуючи продуктивність.

1.5 Підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних тракторів

Тягово-зчіпні властивості колісних тракторів під час виконання транспортних робіт можуть бути підвищені за рахунок підвищення зчіпної ваги [6]. Зчіпною вагою трактора є частина від загальної ваги машини, яка припадає на ведучі мости. Що більший цей показник, тим краще щеплення з дорогою буде мати трактор.



Рисунок 1.7 - Шляхи підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора

Зчіпна вага може бути підвищена за рахунок збільшення кількості ведучих мостів, блокування диференціалу, використанням баласту.

Для підвищення тягово зчіпних властивостей колісних тракторів, які мають тільки задній ведучий міст використовують різні конструкції, які додатково навантажують задні колеса. Зчіпна вага машин з таким обладнанням підвищується не лише за рахунок додаткової ваги, а і за рахунок перерозподілу загальної ваги та центру тяжіння до ведучих коліс.

Використання гідронавантажувачів ведучих коліс підвищує тягово-зчіпні властивості трактора, значно знижує коефіцієнт пробуксовування коліс, значною мірою знижує супротив ґрунту при його обробці та підвищує ККД в середньому на 43%. Використання такого способу є раціональним для використання в умовах достатньої вологості. Тому такий метод є практичним для використання на території Київської області.

Також підвищення тягово-зчіпних характеристик трактора може досягатися за рахунок баластування коліс ведучих мостів. Для баластування коліс використовують використовують металеві грузи, воду або незамерзаючі рідини, які заливаються у шини. Такий метод дозволяє збільшити тягове зусилля машини на 15-20%. Проте у баластування коліс є суттєвий недолік, а саме збільшення загальної ваги трактора. Це підвищує тиск та в результаті негативний вплив на ґрунт, що потенційно знижує врожайність та підвищує супротив руху трактора.

У свою чергу під час виконання транспортних робіт на ґрунтах з низькою несучою здатністю виникає необхідність перерозподілу зчіпної ваги між ведучими колесами трактора та пречепу з метою підвищення тягово-зчіпних властивостей.

Використання коректора зчіпної ваги на тракторі під час транспортних робіт дозволяє підвищити тягову потужність до 12,1%, знизити пробуксовування коліс на 17...20%, підвищити загальну продуктивність на 10...19% і значно знизити витрати палива.

Основним методом підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів є збільшення кількості ведучих коліс за рахунок компонування

4К4 [3]. Це дозволяє реалізувати всю вагу трактора для підвищення зчеплення з ґрунтом. У порівнянні з повнопривідними тракторами, трактори у яких встановлено тільки один ведучий міст можуть реалізувати лише частину власної ваги.

Під час використання повнопривідних тракторів значно знижується крутний момент, який передається на колеса, що значною мірою знижує коефіцієнт буксування. Максимальна реалізація тягово-зчіпних властивостей трактора досягається при 10% буксування, тому що при буксуванні вище цього показника відбувається зрізання ґрунту.

Тягова динаміка тракторів з компонованням колісної бази 4К4 сильно залежить від того, яким саме чином привод передається по осях. Основними методами у нас час є блокування та диференціювання приводу.

Суттєвим недоліком тракторів з блокувальним приводом є наявність кінематичної невідповідності й паразитної потужності. Залежність сили тяги трактора від сили тяги коліс, що знаходяться в гірших умовах зчеплення з дорогою є принциповим недоліком диференційного приводу.

В приведеній роботі показується, що зі збільшенням кількості числа ведучих осей, коефіцієнт супротиву кочення зменшується [5]. Таким чином, перехід від одного ведучого моста до двох може знизити коефіцієнт супротиву на 20..30%. В той час автор пропонує використовувати число ведучих вісей не більше 4 через підвищення втрат в трансмісії.

1.6 Висновки

Ефективність використання тракторів може стримуватися умовами клімату та станом ґрунту, через що техніка часто стикається з недостатком тягово-зчіпних властивостей. Зі зростанням потужності двигунів та задач, які вимагаються від тракторів, не завжди виходить реалізувати потужність двигунів у тягове зусилля без надмірного буксування.

Буксування є серйозною проблемою під час обробітку ґрунту, бо крім зниження продуктивності роботи та збільшення розходу палива,

буксування сприяє серйозному пошкодженню ґрунта, яке впливає на врожайність.

Збільшення кількості ведучих мостів може значною мірою вирішити цю проблему за рахунок більш рівномірного розподілу ваги машини та крутного моменту по осях.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДОСЛІДУ

2.1 Теоретичне обґрунтування вибору привода додаткового ведучого моста

В сільськогосподарському виробництві на роботах, пов'язаних з внутрішніми перевезеннями господарства, великий об'єм приходить на частину тракторних потягів. Це пов'язано з тим, що транспортування сільськогосподарської продукції відбувається в складних кліматичних умовах. Весною та восени це підвищена вологість ґрунту, а взимку – крига та сніг на поверхні доріг та ґрунту. В зв'язку з цим, питання підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів є актуальним.

Найчастіше, на внутрішніх перевезеннях господарства використовуються колісні трактори тягового класу 1,4. Більше 70% тракторів даного класу мають колісну формулу 4к2. У тракторів такого класу тягово-зчіпна вага використовується не повністю.

Для підвищення тягово-зчіпних властивостей цих тракторів пропонується частину ваги, яка приходить на передній міст, передати на ведучий, і таким чином підвищити тягово-зчіпні властивості трактора. При використанні тракторів класу 1,4, як правило, встановлюється додаткове обладнання для виконання задач при додаткових роботах, що ускладнює керування такими тракторами. Тому питання розподілу зчіпної ваги між керованими колесами та ведучими є актуальним. Разом з цим розподіл зчіпної ваги на задні ведучі колеса є обмеженим через допустиме навантаження на шини.

В таких умовах ефективним шляхом тягово-зчіпних властивостей і покращення прохідності колісних тракторів є установка додаткового ведучого моста та і передача на нього частину ваги, яку на собі ніс лише задній ведучий міст, що буде позитивно впливати на прохідні якості трактора.

Зараз при розрахунку силових передач використовується системний підхід, який базується на принципах теорії силового потоку. Суть цієї теорії полягає в тому, що будь-який потік енергії, який подається

за одиницю часу від джерела енергії до споживача (в нашому випадку потужність, яка передається від двигуна до трансмісії), характеризується двома основними величинами – швидкісним та силовим факторами.

Вперше така теорія була запропонована А.С. Антоновим і знайшла практичний застосунок в розрахунку силових потоків, що використовується до окремо взятого агрегату. Потік потужності є скалярним добутком двох векторів [2].

$$\vec{N} = \vec{q} \cdot \vec{U}, \quad (2.1)$$

де $\vec{N}$ – фактор потужності; $\vec{q}$ – силовий фактор СП; $\vec{U}$ – швидкісний фактор СП;

В цій теорії потік енергії за одиницю часу називається силовим потоком. Будь-яка система, що передає енергію, має дві властивості і складається з передавальних та перетворюючих пристроїв [20].

В основі теорії силового потоку базується два основних принципа:

-Перший принцип ґрунтується на тому, що сума факторів потужності всіх абсолютних та відносних потоків вузлової точки дорівнює нулю.

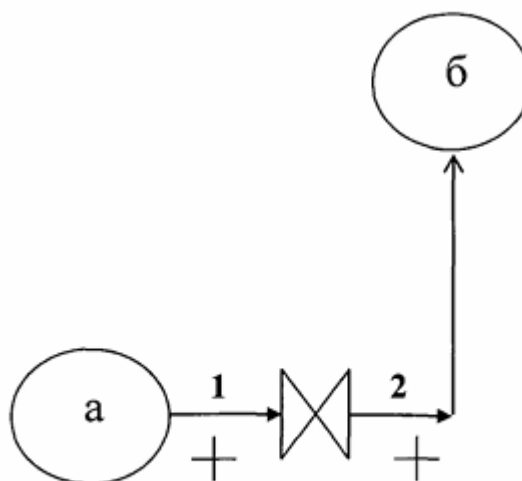
$$\sum_{k=1}^n q_k \cdot u_k + \sum_{p=1}^m N_p = 0. \quad (2.2)$$

-Другий принцип ґрунтується на тому, що сума силових факторів однорідних потоків вузлової точки дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n q = 0, \quad (2.3)$$

Формула (2.2) показує, що перший принцип показує закон збереження енергії перетворюючого приладу, тобто вузлової точки. Рівняння (2.3) називають рівнянням рівноваги вузлової точки.

Будь-яку передаючу систему, як наприклад трансмісія трактора, математично можна описати силовим потоком:



а – коробка передач з редуктором, б –головна передача (диференціал) додаткового моста трактора

Рисунок 2.1 - З'єднуючий потік трансмісії трактора

Для цього виключаємо зі схеми всі холості потоки і не працюючі вузлові точки, замінюючи їх направленими потоками послідовно доданих до однієї вузлової точки і складаємо рівняння.

Рівняння прийме вигляд:

$$q_{1a} \cdot u_{1a} + q_{2б} \cdot u_{2б} = 0. \quad (2.4)$$

Рівняння рівноваги:

$$q_{1a} + q_{2б} = 0. \quad (2.5)$$

Звідси маємо:

$$u_{1a} - u_{2б} = 0. \quad (2.6)$$

В енергетичних засобах широко застосовуються фрикційно-зубчасті та ланцюгові перетворювачі [4]. В такому випадку рівняння набуде наступного вигляду:

$$N = M \cdot \omega, \quad (2.7)$$

де ω – кутова швидкість обертання вала; M – крутний момент обертання вала

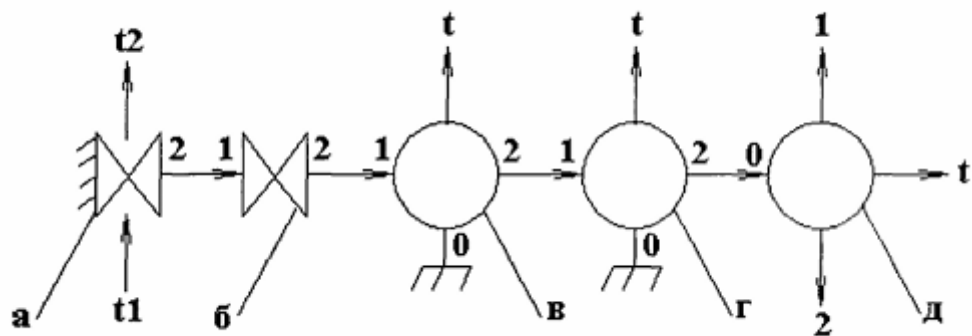
Кожен з'єднуючий потік можна можна описати двома рівняннями зв'язку (2.5, 2.6). Після складання двох рівнянь зв'язку, число невідомих

заданих параметрів силового потоку зменшується на 2, але при цьому на 2 зменшується і число вільних потоків, які дорівнюють числу параметрів.

$$\Lambda_u = 2 \cdot (C_m + C_k) + C_p, \quad (2.8)$$

де C_m , C_k , C_p – число механічних, кінематичних та розгалужуючих вузлових точок.

Схему СП для привода додаткового ведучого моста трактора можна виразити наступним чином:

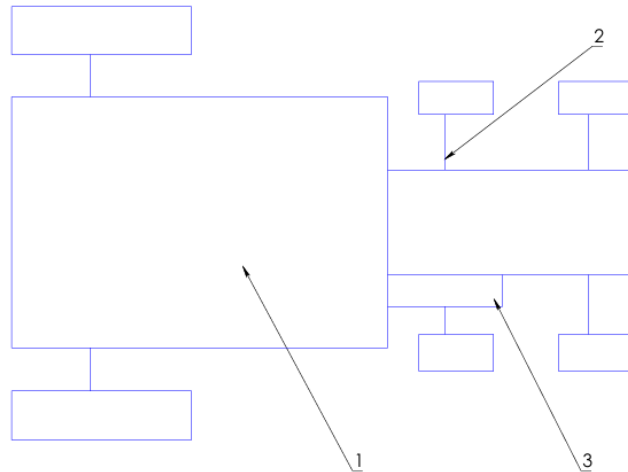


а – двигун трактора; б – муфта; в – коробка передач з редуктором; г – ланцюгова передача; д – головна передача(диференціал) додаткового моста; о – корпусні деталі; t – втрати; 1 – вхід; 2 – вихід

Рисунок 2.2 - Схема силового потоку

В цій схемі силового потоку величина потужності фактора позитивна, з чого виходить, що силові та швидкісні фактори також мають бути позитивними. З урахуванням всього вище згадуваного, розрахуємо передаточне співвідношення. Крутний момент на додатковий ведучий міст трактора передається від коробки передач і редуктора через ланцюгову передачу. Кінематична схема трактора з додатковим ведучим мостом показана на рисунку 2.3

Проведені розрахунки показали, що для забезпечення необхідного передаточного співвідношення число зубів ведучої та веденої зірочок має бути $z=16$ та $z=18$ відповідно.



1 – трактор; 2- додатковий ведучий міст; 3 – коробка передач з редуктором.

Рисунок 2.3 - Кінематична схема агрегату

2.2 Визначення дотичної сили тяги трактора з додатковим ведучим мостом

При використанні неповнопривідних колісних тракторів в складі агрегату на транспортних роботах при русі по поверхнях з низькою несучою здатністю, наприклад по сильно вологому ґрунту або снігу, збільшується величина буксування, знижуються тягово-зчіпні властивості та продуктивність. Через це можна припустити, що використання трактора з додатковим ведучим мостом дозволяє покращити його тягово-зчіпні властивості. Розглянемо як установка додаткового ведучого моста буде впливати на тягово-зчіпні властивості трактора.

Існуючі математичні моделі взаємодії ведучих коліс з ґрунтом не дозволяють використовувати їх для порівняльної оцінки тяго-зчіпних властивостей серійного неповнопривідного трактора і трактора з допоміжним приладом – додатковим ведучим мостом [19].

Для виявлення даних залежностей, які дозволять побудувати правильно математичну модель, необхідно розглянути процес формування дотичної сили тяги в залежності від зміни вертикального навантаження, яке впливає на колесо трактора.

Загальна дотична сила тяги колеса залежить від числа ґрунтозачепів, що входять у ґрунт або ж від площі контакту колеса з поверхнею [23]. Враховуючи все це, величина дотичної сили тяги загалом залежить від зміни вертикального навантаження, що впливає на мост трактора і розміром площі контакту колеса з поверхнею по якій він рухається.

$$P_{\text{кст}} = P_{\text{зос}} + P_{\text{ктр}}, \quad (2.9)$$

де $P_{\text{зос}}$ – дотична сила тяги, що створюється колесом заднього моста трактора; $P_{\text{ктр}}$ – дотична сила тяги, що створюється ведучим колесом додаткового моста трактора;

Враховуючи, що визначення величини дотичної сили тяги ведучого колеса трактора $P_{\text{зос}}$ детально розглянуто в роботах, детально розглянемо дотичну силу тяги, що створюється ведучим колесом додаткового моста трактора, яка може виглядати наступним чином:

$$P_{\text{ктр}} = G_{k(t)} \cdot \varphi, \quad (2.10)$$

де $G_{k(t)}$ – нормальний контактний тиск колеса на поверхню на даний момент часу; φ – коефіцієнт зчеплення;

Розглянемо процес формування дотичної сили тяги, що створюється ведучим колесом додаткового моста трактора, та оцінемо зміну середнього контактного тиску

$$G_{k(t)} = \frac{F_{k(t)}}{S_{(t)}}, \quad (2.11)$$

де $F_{k(t)}$ – миттєве значення вертикального навантаження, що приходить на колесо додаткового моста трактора; $S_{(t)}$ – миттєве значення площі контакту колеса трактора з поверхнею.

Величина миттєвого значення вертикального навантаження, що приходить на колесо додаткового моста, визначається:

$$F_{k(t)} = G_{k(c)} + G_{k(d)}, \quad (2.12)$$

де $G_{k(c)}$ – власна вага додаткового моста трактора; $G_{k(d)}$ – навантаження, що передається на додатковий міст трактора

Використовуючи алгебраїчний момент сил, що лежить в одній площині відносно центру, отримаємо:

$$G_{k(d)} = \frac{Fh_1}{h_2}, \quad (2.13)$$

де h_1, h_2 – відповідні плечі прикладення сил; F – прикладна сила.

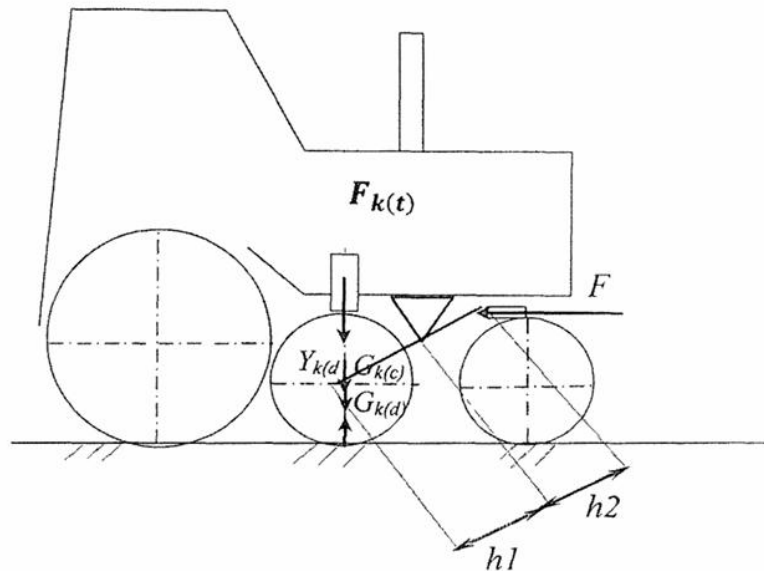


Рисунок 2.4 - Схема вертикального навантаження на додатковий ведучий міст трактора

Аналізуючи виведену формулу (2.12) можна припустити, що зміна плечей передаючого приладу дозволить змінити навантаження, що передається на додатковий міст трактора

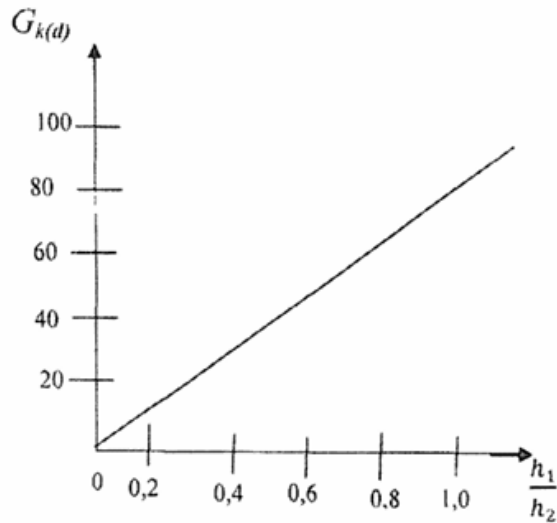


Рисунок 2.5 - Залежність навантаження, що передається від зміни відношення довжини плеча

Проаналізуємо як зміниться площа контакту $L = l_1 + l_2$, де l_1 – довжина контакту в зоні m_0 , l_2 – довжина контакту в зоні n_0 .

Нормальний контактний тиск в зоні загрузки P_1 та розгрузки P_2 виражаються за формулами для ґрунта [34]:

$$m_0 = P_1 = G_1 X_1. \quad (2.14)$$

$$n_0 = P_2 = G_2 X_2. \quad (2.15)$$

Для шин (якщо деформація не перевищує критичного значення)

$$P_1 = S_1 Y_1. \quad (2.16)$$

$$P_2 = S_2 Y_2, \quad (2.17)$$

де G_1, G_2 – коефіцієнти повної X_1 та пружної X_2 деформації ґрунта; S_1, S_2 – коефіцієнти пружної деформації шини в зоні загрузки та розгрузки; Y_1, Y_2 – радіальна деформація шини в зоні загрузки та вигрузки

Елементарну вертикальну силу fR , що діє на елементарну площу fl (рис. 2.6), запишемо як

$$fR = fN \cos \alpha. \quad (2.18)$$

За умови, що

$$\sum fR = R = Fk. \quad (2.18)$$

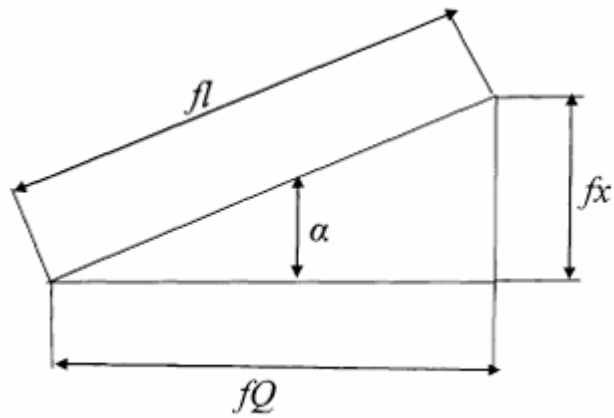


Рисунок 2.7 - Проекції сил, що діють на елементарну площу при русі колеса

При ширині поверхні контакту колеса з ґрунтом $B_{\text{ш}}$ маємо:

$$fN \cos \alpha = P f l B_{\text{ш}} \cos \alpha = P(Q) f Q B_{\text{ш}}, \quad (2.19)$$

де $B_{\text{ш}}$ – ширина протектора шини; Q – продольна координата точки 1.

Середнє значення величини нормального тиску можна записати як співвідношення

$$G_{k(d)} = \frac{F_k}{B_{\text{ш}} L}. \quad (2.20)$$

З рис. 2.6 виходить:

$$fL = fQ \frac{1}{\cos \alpha}; \quad (2.21)$$

$$\frac{fX}{fa} = \operatorname{tg} \alpha; \quad (2.22)$$

$$X_1 + Y_1 = \frac{a_1^2}{2r_0} - \frac{Q^2}{2r_0}, \quad (2.23)$$

де r_0 – радіус колеса

$$a_1 = \sqrt[3]{F_k}. \quad (2.24)$$

Залежність середнього нормального контактного тиску пневматичного колеса на ґрунт, що деформується під навантаженням, що приходить на його вісь:

$$G_{k(d)} = \frac{F_k}{L(F_k) B_{\text{ш}}} = \frac{Y_{k(d)}}{L(Y_k) B_{\text{ш}}}, \quad (2.25)$$

де $L(F_k)$ – загальна довжина контакту.

2.2 Вплив додаткового ведучого моста на величину буксування

Дотична сила тяги ведучих коліс будь-якого енергетичного засобу створюється на контакті колеса з поверхнею ґрунта. Дотична сила тяги через зчеплення з ґрунтом це найбільше значення реакції ґрунта, що відповідає крутному моменту, який приходить на рушії енергетичного засобу від двигуна і загалом знаходиться за формулою [18]:

$$P_k = \varphi_{\text{сц}} \cdot Y_k, \quad (2.26)$$

де $\varphi_{\text{сц}}$ – коефіцієнт використання зчіпної ваги, Y_k – зчіпна вага трактора

Коефіцієнт зчіпної ваги можна визначити за такими формулами:

Для серійного трактора

$$\varphi_{\text{сц}}^c = \frac{P_k^c}{Y_k^c}, \quad (2.27)$$

де Y_k^c – зчіпна вага серійного трактора, P_k^c – дотична сила тяги серійного трактора

Для експериментального трактора

$$\varphi_{\text{сц}}^e = \frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d}, \quad (2.28)$$

де Y_k^d – зчіпна вага, яка приходить на додатковий міст, P_k^e – дотична сила тяги експериментального трактора.

При порівнянні цих формул можна побачити, що коефіцієнт використання зчіпної ваги у експериментального трактора з додатковим мостом менший, ніж у серійного трактора.

Буксування будь-якого енергетичного засобу можна визначити за формулою [29].

$$\delta = \frac{0,248\varphi_k}{1-3,077\varphi_k^3}, \quad (2.29)$$

де φ_k – коефіцієнт використання зчіпної ваги

З урахуванням раніше отриманих формул, формулу для знаходження величини буксування можна виразити наступним чином

Для серійного трактора

$$\delta = \frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3}. \quad (2.30)$$

Для трактора з додатковим ведучим мостом

$$\delta = \frac{0,248 \frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d} \right)^3}. \quad (2.31)$$

Аналізуючи отримані дані можна зазначити, що монтаж додаткового моста дозволяє знизити величину буксування у порівнянні з серійним трактором. Це, в свою чергу, дозволить збільшити робочу швидкість руху та продуктивність трактора.

2.3 Вплив додаткового ведучого моста на величину продуктивності

Як вже було вказано раніше, зниження величини буксування підвищує робочу швидкість руху, яка прямо впливає на величину продуктивності [1,12]

$$W = \left(\frac{\vartheta \cdot J}{L \cdot V_m (1 - \delta) \vartheta t_{\text{пр}}} \right) m_{\text{прс}} V_m (1 - \delta), \quad (2.32)$$

де $m_{\text{прс}}$ – маса причіпного составу, ϑ – коефіцієнт використання пробігу, J – коефіцієнт використання вантажопідйомності, L – довжина їздки, V_m – теоретична швидкість, δ – величина буксування, $t_{\text{пр}}$ – час руху.

Використовуючи згадані вище формули, що дозволяють знайти величину буксування для серійного та трактора з додатковим ведучим мостом, отримаємо величину продуктивності

Для серійного трактора

$$W_c = \left(\frac{\vartheta \cdot J}{L \cdot V_m \left(\frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3} \right) \vartheta t_{\text{пр}}} \right) m_{\text{прс}} V_m \left(\frac{0,248 \frac{P_k^c}{Y_k^c}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^c}{Y_k^c} \right)^3} \right). \quad (2.33)$$

Для трактора з додатковим ведучим мостом

$$W = \left(\frac{\vartheta \cdot J}{\frac{0,248 \frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d}}{L \cdot V_m \left(\frac{P_k^e}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d} \right)^3} \right) \vartheta t_{np}}} \right) m_{прс} V_m \left(\frac{0,248 \frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_k^e}{Y_k^c + Y_k^d} \right)^3} \right). \quad (2.34)$$

Аналізуючи отримані залежності, варто зазначити, що теоретична продуктивність у трактора з додатковим ведучим мостом більша, ніж продуктивність серійного трактора. Більш наглядно це можна побачити на монограмі (рис. 2.8)

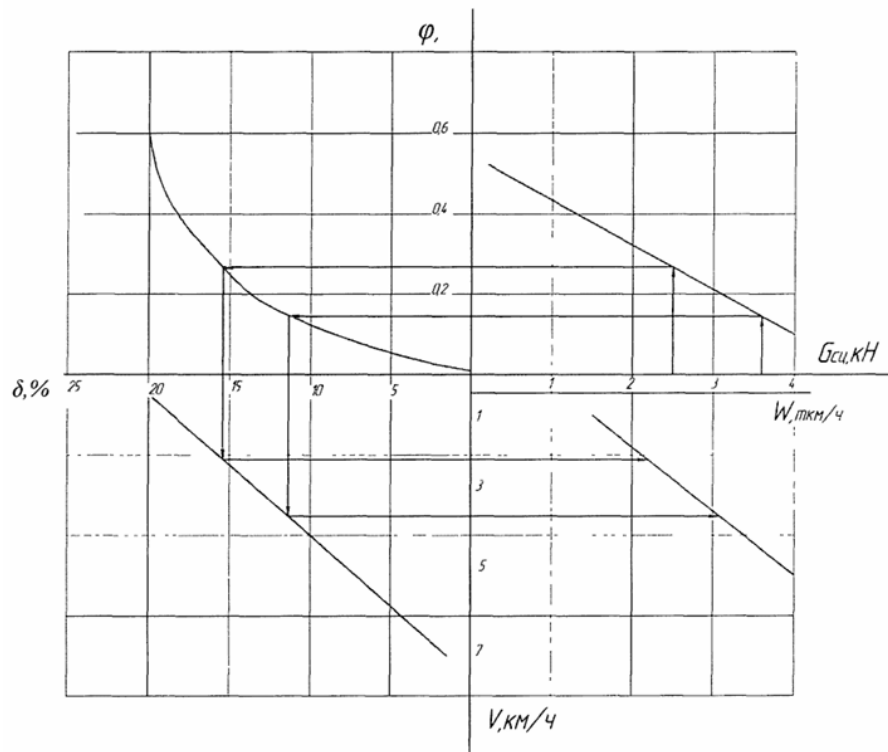


Рисунок 2.8 - Номограма для визначення впливу зчпної ваги на величину продуктивності МТА

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДІВ

3.1 Результати теоретичних дослідів по розподілу зчіпної ваги по мостах трактора

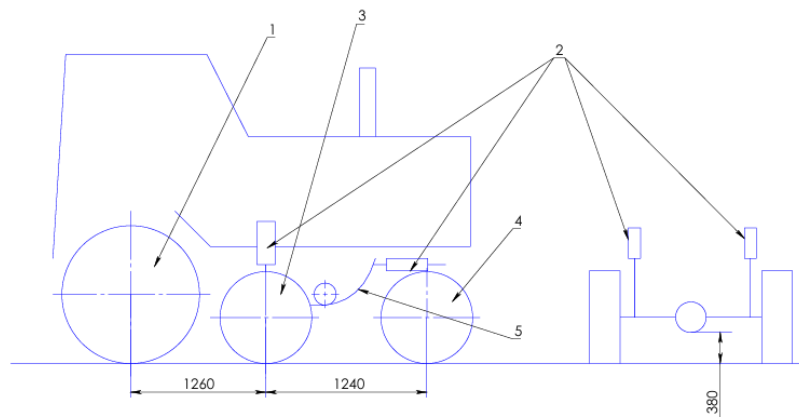
Тягово-зчіпні властивості трактора характеризуються його зчіпною вагою, тобто вагою, яка давить на ведучі колеса трактора. Існує кілька шляхів збільшення цієї ваги: використання різних додаткових навантажувачів на колеса, використання баластування, наповнення коліс рідиною і т.п. У той самий час збільшення зчіпної ваги можна досягти за рахунок перерозподілу ваги між мостами трактора

Як відомо, при використанні тракторів з колісною формулою 4к2 зчіпна вага приходить лише на задні ведучі колеса, а вага, що приходить на передні колеса, не використовується. У той же час, трактори класу 1,4 та колісною формулою 4к2 дуже часто використовуються на різних господарствах.

Дуже часто на трактори цього класу вішається робоче обладнання для забезпечення різних робіт, пов'язаних з завантаженням та розвантаженням різної продукції, наприклад сіна або соломи з полів. У той же час через недостатність тягово-зчіпних властивостей для забезпечення транспортування тяговий опір на гаку штучно знижують за рахунок зменшення вантажу, що перевозиться.

У зв'язку з цим виникає питання щодо розподілу частини навантаження з переднього моста на задні ведучі колеса або на інший додатково встановлений ведучий міст. Це дозволить підвищити зчіпну вагу трактора, знизити нормальний тиск на ґрунт та підвищити тягово-зчіпні властивості трактора

Крім цього, встановлення додаткового ведучого моста дозволить збільшити площу контакту рушіїв з ґрунтом. З цією метою запропонований пристрій, що дозволяє розподіляти зчіпну вагу між переднім мостом трактора та додатковим ведучим мостом [32].



1 – ведуче колесо; 2 – гідроциліндри; 3 – додатковий ведучий міст; 4 – кероване колесо; 5 – напівеліптична ресора

Рисунок 3.1 - Схема приладу для перерозподілу зчійної ваги між мостами трактора

Для знаходження результатів розподілу зчійної ваги між мостами трактора були проведені експериментальні досліді. У ході проведення зважування трактора по осях, під кожне колесо трактора був підкладений датчик тиску ДСТ.

Таблиця 3.1 - Розподіл навантаження по осях трактора

№	Ведучий міст трактора	Додатковий міст	Керуючий міст	Примітка
1	22,0 кН (61,1%)	—	14,0 кН (38,9%)	Додатковий ведучий міст піднятий у транспортне положення
2	20,0 кН (55,5%)	3,6 кН (10%)	12,4 кН (34,5%)	Додатковий ведучий міст опущений, вага через вертикальний гідроциліндр
3	17,4 кН (48,3%)	12,4 кН (34,4%)	6,2 кН (17,3%)	Додатковий ведучий міст опущений, вага з переднього моста

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що використання приладу для перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора дозволяє збільшити зчіпну вагу, що приходить на ведучі колеса машини.

Так, в транспортному положенні, розподіл зчіпної ваги по осях трактора мав наступні значення:

- На задній міст – 22,0 кН

- На передній міст – 14,0 Кн

В положенні, коли додатковий ведучий міст знаходиться в опущеному, ненавантаженому стані, розподіл зчіпної ваги мав наступні значення:

- На задній міст – 17,4 кН

- На передній міст – 6,2 кН

- На додатковий міст – 12,4 кН

Більш наглядно розподіл зчіпного навантаження по мостам трактора можна побачити на діаграмі(рис. 4.2).

Перерозподіл зчіпної ваги у відсотковому співвідношенні між мостами можна побачити на діаграмі(рис.4.3.)

Таким чином в транспортному положенні розподіл зчіпної ваги по осях мав наступні значення:

- На задній мост – 61,1%

- На передній міст – 38,9%

В положенні коли додатковий ведучий міст знаходиться у робочому стані, розподіл зчіпної ваги мав такі показники:

- На задній міст – 55,5%

- На передній міст – 34,5%

- На додатковий ведучий міст – 10%

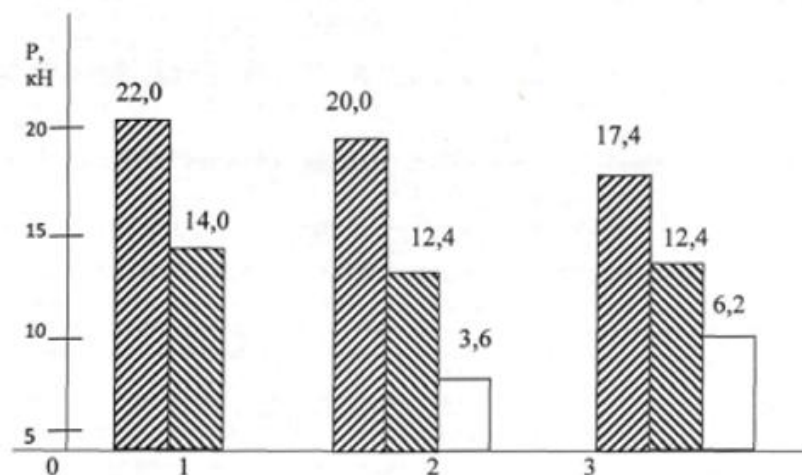


Рисунок 3.2 - Розподіл навантаження по осях трактора

1 – транспортне положення, 2 – додатковий міст без навантаження,
3 – додатковий міст з навантаженням.

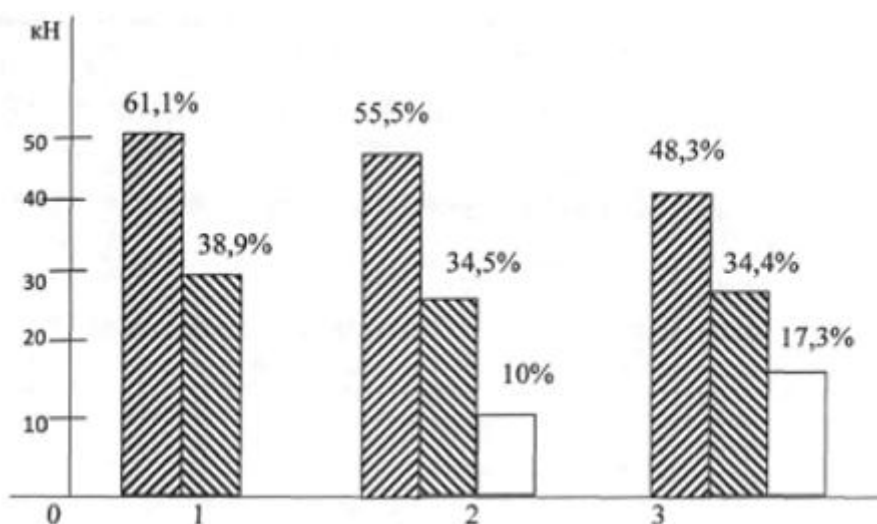


Рисунок 3.3 - Розподіл навантаження між мостами трактора у відсотковому співвідношенні

1-транспортне положення; 2- додатковий міст трактора без навантаження; 3 – додатковий міст трактора під навантаженням.

В робочому положенні, тобто коли на задній та додатковий ведучі мости трактора, через розподільчий пристрій передається частина навантаження з переднього моста, розподіл зчіпної ваги мав такі значення:

-На задній міст – 48,3%

-На передній міст – 17,3%

-На додатковий ведучий міст – 34,4%

Як показали дослід, в залежності від тиску, що створюється у гідроциліндрах, пов'язаних зі зчіпним пристроєм, відбувається перерозподіл зчіпної ваги (рис. 4.4)

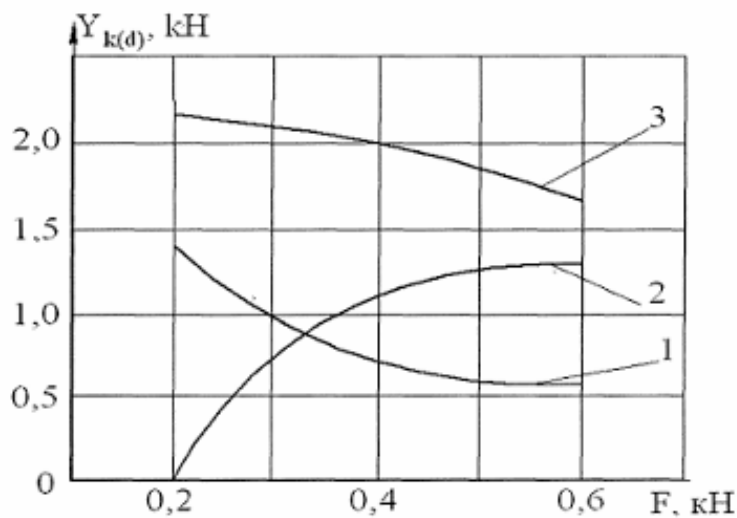


Рисунок 3.4 - Зміна зчіпної ваги по мостам трактора

1 – керований міст, 2- додатковий міст, 3 – задній ведучий міст

У ході аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що використання приладу для розподілу зчіпної ваги дозволяє підвищити тягово-зчіпні властивості трактора за рахунок перерозподілу зчіпної ваги між його мостами. Більш рівномірний розподіл навантаження, що приходить на колеса трактора, дозволяє знизити механічний вплив на ґрунт та знизити коефіцієнт буксування трактора.

3.2 Результати теоретичних досліджень по визначенню величини буксування

З метою визначення впливу приладу для перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора на величину буксування, були проведені випробування в реальних умовах експлуатації. У зимній період колісні трактори з формулою 4к2 найчастіше використовуються на перевезеннях всередині господарства. Але використання таких тракторів обмежується їх невисокими тягово-зчіпними властивостями, що в результаті знижує ефективність їх використання. Розширити потенціал використання

колісних тракторів, як вже було сказано раніше, можна за рахунок збільшення їх тягово-зчіпних властивостей.

Використання приладу для перерозподілу зчіпної ваги між мостами трактора дозволяє збільшити зчіпну вагу, що приходить на колеса трактора.

Випробування, що проводились на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення дозволили отримати результати, які зображенні на рисунку 4.4

Після аналізу значень були побудовані графіки по визначенню величини буксування та швидкості руху в залежності від тягового зусилля на гаку (рис. 3.5)

Як показали досліди, з підвищенням тягового зусилля трактора, величина буксування збільшується як у тракторів серійних, так і з додатковим обладнанням для збільшення кількості ведучих мостів.

Таким чином, при збільшенні навантаження на гаку з 5 до 14 кН величина буксування серійного трактора зросла з 8 до 27,5 %, а трактора з додатковим обладнанням для збільшення кількості ведучих мостів з 4,5 до 15,0%. Як видно з графіків, встановлений додатковий міст дозволяє зменшити величину буксування.

При наступному збільшенні навантаження до 15 кН, у серійного трактора величина буксування різко зросла, у той час як у трактора з додатковим обладнанням характер росту величини буксування залишається лінійним. Це говорить про те, що у серійного трактора тягово-зчіпних властивостей виявляється недостатньо. Для трактора з додатковим обладнанням лінійний характер зміни величини буксування залишався до 20 кН.

Якщо порівнювати тягові зусилля серійного трактора та трактора з додатковим обладнанням при однаковій величині буксування, можна відмітити наступне:

- При величині буксування 10% тягове зусилля у серійного трактора становило 6 кН, а у трактора з додатковим обладнанням – 10 кН;

- При величині буксування 20% тягове зусилля серійного трактора становило 15 кН, а з додатковим обладнанням -18 кН, тобто тягове зусилля збільшилося на 17-18%
- Подальше збільшення величини буксування призвело до зниження поступальної швидкості руху, що в результаті знижує продуктивність роботи трактора на транспортних роботах.

3.3 Результати теоретичних дослідів по розподілу баланса потужності трактора

Зниження тягово-зчіпних властивостей трактора призводить до зниження всього баланса потужностей трактора. Більш наглядний розподіл ефективності потужної потужності трактора можна побачити на діаграмі баланса потужності. Для побудови діаграми баланса потужності скористаємося загальновідомими формулами.

Рівняння баланса потужності загалом можна виразити:

$$N_e = N_{kp} + N_{mp} + N_{\delta} + N_f, \quad (3.1)$$

де N_e – ефективна потужність, кВт; N_{kp} – тягова потужність, кВт; N_{mp} – потужність, що витрачається на механічні втрати, кВт; N_{δ} – потужність, що витрачається на буксування; N_f – потужність, що витрачається на кочення, кВт.

Розподіл складових баланса потужності трактора з серійним та експериментальним прицепом приведено на рисунку 3.6 та 3.7. З графіків видно, що відбувається зміна складових баланса потужності серійного трактора та трактора з додатковим обладнанням.

У той же час співвідношення між окремими його складовими різне, що пояснюється різними тягово-зчіпними властивостями серійного трактора та трактора з додатковим обладнанням.

Потужність, що витрачається на буксування у серійного трактора вища, ніж потужність трактора з додатковим обладнанням. Це говорить про те, що тягово-зчіпні властивості експериментального трактора вищі. Більш

наглядно розподіл балансу потужності трактора зображено у відсотковому співвідношенні в таблиці 3.6 та рис 4.6-4.8.

Таблиця 3.2 - Розподіл ефективної потужності двигуна, %

№ п/п	Показники	Серійний трактор	Трактор з додатковим ведучим мостом
1	Тягова потужність	22,4	28,6
2	Потужність, що витрачається на буксування N_{δ}	27,8	15
3	Потужність, що витрачається на механічні втрати $N_{тр}$	6,7	8,3
4	Потужність, що витрачається на кочення N_F	43,1	48,1

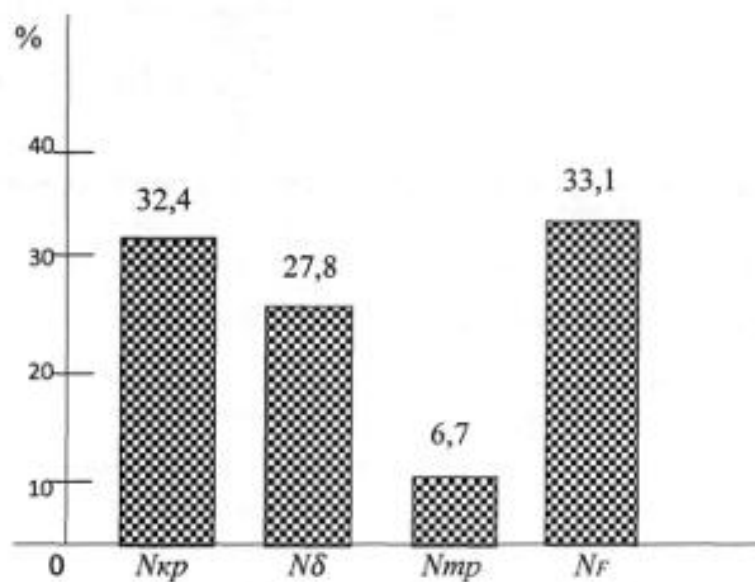


Рисунок 3.5 - Баланс потужності серійного трактора

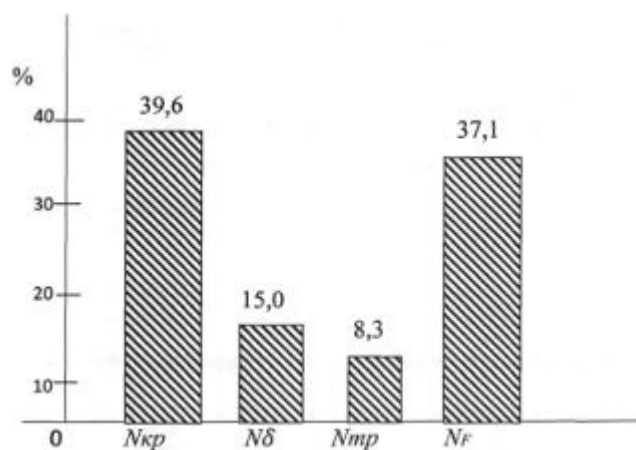


Рисунок 3.6 - Баланс потужності трактора з додатковим обладнанням

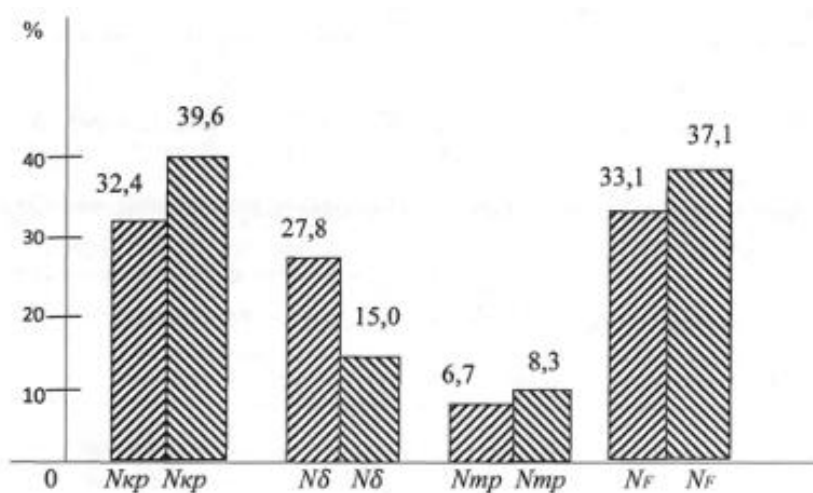


Рисунок 3.7 - Порівняльний баланс потужності серійного та експериментального тракторкритеріїв.

3.4 Результати порівняльних господарських випробувань трактора класу 1,4 з додатковим ведучим мостом

З метою встановлення ефективності використання трактора класу 1,4 з колісною формулою 4к2 і додатковим ведучим мостом на транспортних роботах в умовах недостатніх тягово-зчіпних властивостей були проведені порівняльні сільськогосподарські досліді в реальних умовах експлуатації. Для порівняння брався серійний трактор класу 1,4 з колісною формулою 4к2 та причіп 2ПТС-4, що зазвичай використовується у сільськогосподарському виробництві.

Порівняння було проведене методом хронометражних спостережень за роботою транспортно-тракторних агрегатів. Основною ціллю хронометражних спостережень є визначення основних параметрів, які характеризують ефективність роботи:

$W_{дв}$ – продуктивність за годину руху

$W_{год}$ – продуктивність за годину робочого часу

$V_{ср}$ – середня швидкість руху, м/с

Розрахунок основних параметрів, що характеризують ефективність роботи транспортних агрегатів зроблений на основі загальнодоступних методик [30].

Виробництво за годину руху.

$$W_{дв} = \frac{Q}{T_{дв}} = \frac{Q}{T_p + T_n}, \quad (3.2)$$

де Q – об'єм перевезеного вантажу, т; $T_{дв}$ – час руху, год; T_p – час руху без урахування поворотів, год; T_n – час поворотів, год.

Середня швидкість руху по полю:

$$V_{ср} = \frac{S_m}{T_p}, \quad (3.3)$$

де S_m – довжина поля, м

Продуктивність за годину робочого часу:

$$W_{ч} = \frac{Q}{T_p}. \quad (3.4)$$

Розхід палива за одиницю перевезеного вантажу:

$$G_y = \frac{M_{мон}}{Q}, \quad (3.5)$$

де $M_{мон}$ – кількість палива, що було використане на перевозку груза, кг.

Коефіцієнт використання часу руху

$$K_{дв} = \frac{T_p}{T_p + T_n} = \frac{T_p}{T_{дв}}. \quad (3.6)$$

В таблиці 3.7 показані порівняльні господарські досліди трактора класу 1,4 з колісною формулою 4к2 та експериментального з додатковим ведучим мостом та причіпом 2ПТС-4

Таблиця 3.3 - Порівняльні досліди трактора МТЗ-80 та причіпа 2ПТС-4 на транспортних роботах

Показники	МТЗ-80 + 2ПТС-4	
	Серійний	Експериментальний
1	2	3
Довжина поля, м	920	920
Довжина повороту, м	65	65
Вантажопідйомність теоретична, т	4	4
Вантажопідйомність фактична, т	3,7	3,7
Швидкість руху по прямій, м/с	1,3	1,7
Швидкість руху на поворотах, м/с	1,2	1,5
Продуктивність за годину часу руху, т·км	16,7	21,8
Продуктивність за годину чистого робочого часу, т·км	18,4	22,1
Коефіцієнт використання часу руху	0,93	0,88

Отримані результати показують, що використання в тракторі додаткового моста дозволяє підвищити продуктивність за годину чау руху на 30,5% та за годину робочого часу на 20,1% у порівнянні з серійним трактором та причепом 2ПТС-4

3.5 Паливно енергетичний аналіз використання трактора класа 1,4 з додатковим ведучим мостом

У зв'язку з постійною зміною цін на енергоносії, досить складно оцінити ефективність використання, як нової техніки, так і технологій.

Саме через це у якості критерія ефективності використання нової техніки використовується енергоємність. Це пояснюється тим, що цей показник не залежить від цін на енергоносії, що дає можливість при обґрунтуванні ефективності використання нової техніки провести порівняльний аналіз без урахування коливань цін на енергоносії.

За основний критерій енергетичної оцінки приймають показник енергетичної ефективності, який враховує усі затрати енергії, необхідні для виробництва одиниці продукції. При знаходженні ефективності, враховувалися методичні та нормативні матеріали [25], а результати наступного використання цих матеріалів наведені на рисунку 3.9.

Виходячи з усієї інформації, що вказана вище, виконаний розрахунок ефективності використання на транспортних роботах трактора з додатковим ведучим мостом, по методиці, що зображена. Вихідні дані для розрахунку взяті зі спостережень. В якості порівняння взятий серійний трактор.

Прямі затрати енергії знаходяться за формулою

$$E_n = H_m \cdot (a_m + f_m), \quad (3.7)$$

де H_m – розхід палива, кг/т*км; a_m – теплоємність палива, МДж/кг; f_m – коефіцієнт, враховуючий додаткові затрати енергії на виробництво палива, МДж/кг.

Затрати робочої сили

$$E_p = \frac{n_q \cdot a_p}{W_{cm}}, \quad (3.8)$$

де n_q – число основних операторів, чол; a_p – енергетичний еквівалент робочої сили, МДж/кг; W_{cm} – продуктивність агрегату, т*км/ч

Удільна енергоємність трактора в розрахунку на 1 годину роботи трактора:

$$E_m \frac{M_m \cdot C_{mp} (K_m + K_{mk} + K_{mp})}{100 \cdot T_{hm}}, \quad (3.9)$$

де M_m – маса енергетичного засобу, кг; C_{mp} – енергетичний еквівалент енергетичного засобу, МДж/кг; K_m , K_{mk} , K_{mp} – відрахунки на амортизацію,

капітальний та актуальний ремонт тракторів, %; T_{hm} – річне навантаження трактора, ч.

Удільна енергоємність причепа

$$E_m = \frac{P_m \cdot M_m (\Phi_m + \Phi_{mk})}{100 \cdot T_{hm}}, \quad (3.10)$$

де P_m – енергетичний еквівалент причепа, МДж·кг; M_m – маса причепа, кг; Φ_m, Φ_{mk} – відрахування на реновацію, капітальний та актуальний ремонт трактора, %; T_{hm} – річне навантаження трактора, ч.

Сумарна енергоємність трактора та причепа з розрахунку на 1 га

$$E_{tm} = \frac{E_t \cdot E_m}{W_{cm}}. \quad (3.11)$$

Повні енергозатрати

$$E_{tp} = E_n + E_{ж} + E_{tm} \quad (3.12)$$

Економія повних енергозатрат

$$\Delta E_{tn} = E_{tnn} + E_{tnb}, \quad (3.13)$$

де E_{tnn} – сумарні енергозатрати нової машини, МДж/га; E_{tnb} – сумарні енергозатрати базової машини, МДж/га.

Виконаємо розрахунки ефективності використання трактора МТЗ-80 з додатковим ведучим мостом на транспортних роботах з причепом 2ПТС-4

Для серійного трактора:

1. $E_{nc} = 2,05 \cdot (42,7 + 10) = 108,0$ МДж/ткм
2. $E_{жс} = \frac{1 \cdot 1,26}{17,5} = 0,07$ МДж/ткм
3. $E_k = \frac{3780 \cdot 92 (10+14,9)}{100 \cdot 1095} = 79,07$ МДж/ткм
4. $E_k = \frac{82 \cdot 1880 (14,2+13,0)}{100 \cdot 650} = 64,5$ МДж/ткм
5. $E_{tnpc} = \frac{E_{mc} + E_{nrc}}{W} = \frac{79,07 + 64,5}{17} = 8,44$ МДж/ткм
6. $E_{tnpc} = E_{nc} + E_{жс} + E_{tnpc} = 108,0 + 0,07 + 8,44 = 116,5$ МДж/ткм

Для експериментального трактора:

1. $E_{nc} = 1,71 \cdot (42,7 + 10) = 90,1$ МДж/ткм
2. $E_{жс} = \frac{1 \cdot 1,26}{22,3} = 0,06$ МДж/ткм

$$3. E_{mn} = \frac{3780 \cdot 92 (10+14,9)}{100 \cdot 1295} = 68,9 \text{ МДж/ткм}$$

$$4. E_{npн} = \frac{82 \cdot 1880 (14,2+13,0)}{100 \cdot 650} = 64,5 \text{ МДж/ткм}$$

$$5. E_{mnpн} = \frac{68,9+64,5}{22,3} = 6,0 \text{ МДж/ткм}$$

$$6. E_{mnн} = E_{nн} + E_{жн} + E_{mnpн} = 108,0 + 0,07 + 8,44 = 116,5 \text{ МДж/ткм}$$

$$\Delta E_n = 116,5 - 96,2 = 20,3 \text{ МДж/ткм}$$

РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАКТОРІВ З РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВЕДУЧИХ МОСТІВ

Для розрахунку економічної ефективності використання трактору з додатковою кількістю ведучих мостів, виконаємо порівняння з базовими характеристиками трактора Т-80 з одним ведучим мостом. Розрахунок буде виконаний за загальнодоступними методиками визначення ефективності використання сільськогосподарських машин і агрегатів [21].

Годинну експлуатаційну продуктивність орних агрегатів W_r , га/год, розраховуємо за формулою:

Витрати праці на одиницю роботи визначаються за формулою:

$$T_p = \frac{Ч}{W_r}, \quad (4.1)$$

де $Ч$ – кількість працівників, що обслуговують МТА, осіб; W_r – годинна продуктивність МТА.

Питомі витрати енергоресурсів розраховуються за формулою:

$$B_e = \frac{Nq_{\text{пит}}K_d}{W_r}, \quad (4.2)$$

де N – потужність двигуна, кВт; $q_{\text{пит}}$ – питома витрата палива, кг/кВтгод; K_d – коефіцієнт, що враховує ступінь використання двигуна за потужністю та часом.

Розрахунок собівартості одиниці роботи визначається на формулою:

$$C = C_z + C_a + C_p + C_{\text{пмм}} + C_n, \quad (4.3)$$

де C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн/га; C_a – амортизаційні відрахування, грн/га; C_p – витрати на ремонт, грн/га; $C_{\text{пмм}}$ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн/га; C_n – накладні витрати, грн/га.

Амортизаційні відрахування визначаються як сума за всіма складовими МТА:

$$C_a = \frac{Ba_T}{100TW_r}, \quad (4.4)$$

де B – капітальні вкладення, грн; a_T – норма амортизаційних відрахувань трактора; T – річне завантаження машини, год.

Заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$C_z = \frac{C_{з.год} \cdot K_z}{W_T}, \quad (4.5)$$

де $C_{з.год}$ – годинна тарифна ставка, грн; K_z – коефіцієнт, що враховує різні види доплат і нарахувань (1,5).

Витрати на паливно-мастильні матеріали розраховується за формулою:

$$C_{пмм} = B_e \cdot C_n \cdot K_m, \quad (4.6)$$

де C_n – ціна 1 кг палива, грн; K_m – коефіцієнт, що враховує витрати на мастильні матеріали (1,15).

Витрати на ремонт за годину роботи розраховуються за формулою:

$$C_p = \frac{B_{ap}}{100TW_T}, \quad (4.7)$$

де a_p – норма відрахувань на трактор.

Накладні витрати визначаються за формулою:

$$C_n = 0,05(C_z + C_a + C_p + C_{пмм}), \quad (4.8)$$

Річна економія експлуатаційних витрат, грн:

$$E_p = (C_b - C_e)T_o \cdot W_T, \quad (4.9)$$

де C_b, C_e – собівартість роботи базової та експериментальної машини відповідно, грн/га; T_o – завантаження МТА на даній операції протягом року, годю

Термін окупності додаткових капіталовкладень визначається за формулою, років:

$$T_{ок} = \frac{B_e - B_b}{E_p}, \quad (4.10)$$

де B_e – балансова вартість більш економічного агрегату, грн; B_b – балансова вартість менш економічного агрегату, грн.

Цей перелік відображає витрати на придбання або доопрацювання того чи іншого виду обладнання. Також необхідно враховувати, що, окрім

вартості елементів усієї системи, присутні витрати на монтаж і випробування кожного

Виконавши порівняльні розрахунки, отримаємо результати, які внесені до таблиці 4.1 та таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Результати економічних дослідів експлуатаційних властивостей серійного трактор МТЗ-80

Економічний показник	Одиниця виміру	Серійний агрегат (МТЗ-80 + 2ПТС-4)
Продуктивність (Wгод)	т·км/год	16,7
Витрати праці (Tr)	люд.-год/т·км	0,06
Витрати палива (Gu)	кг/т·км	0,225
Собівартість одиниці роботи (C)	грн/т·км	18,5
Амортизаційні відрахування (Ca)	грн/т·км	4,15
Заробітна плата (Cz)	грн/т·км	0,95
Паливно-мастильні матеріали (Спмм)	грн/т·км	8,2
Витрати на ремонт та ТО (Cp)	грн/т·км	5,2
Річна економія витрат (Er)	грн	—
Термін окупності (Tok)	років	—

Таблиця 4.2 – Результати економічних дослідів експлуатаційних властивостей експериментального трактора МТЗ-80

Економічний показник	Одиниця виміру	Експериментальний агрегат (з дод. мостом)
Продуктивність (Wгод)	т·км/год	21,8
Витрати праці (Tr)	люд.- год/т·км	0,046
Витрати палива (Gu)	кг/т·км	0,185
Собівартість одиниці роботи (C)	грн/т·км	15,2
Амортизаційні відрахування (Ca)	грн/т·км	3,85
Заробітна плата (Cz)	грн/т·км	0,72
Паливно-мастильні матеріали (СПММ)	грн/т·км	6,15
Витрати на ремонт та ТО (Cp)	грн/т·км	4,48
Річна економія витрат (Er)	грн	129 205
Термін окупності (Tok)	років	1,25

РОЗДІЛ 5 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТРАКТОРІВ

5.1 Концепція інтелектуального керування приводом додаткового моста на основі моніторингу буксування в реальному часі

Сучасний розвиток агроінженерної науки нерозривно пов'язаний із цифровізацією та автоматизацією процесів [28]. Опираючись на результати проведених у роботі досліджень, можна зазначити, що механічне підключення додаткового моста на тракторі дозволяє суттєво знизити рівень буксування. Однак у реальних польових умовах стан агрофону постійно змінюється: вологість ґрунту, наявність рослинних залишків та мікрорельєф не однорідні навіть у межах одного гону.

Перспективним напрямом розвитку даної конструкції є перехід від ручного керування приводом до інтелектуальної системи автоматичного підключення додаткового моста. Основою такої системи має стати мережа датчиків, що вимірюють кутові швидкості кожного колеса та фактичну швидкість руху агрегата (наприклад, за допомогою датчиків GPS/GNSS модулів).



Рисунок 5.1 – GPS навігатор AgroTrek SL7

Алгоритм роботи такої системи може встановлювати поріг спрацювання. Наприклад, як тільки буксування задніх коліс буде перевищувати 12-14%, система автоматично активує електрогідравлічний привід додаткового моста. Це виключає людський фактор, адже

механізатор не завжди може вчасно зорієнтуватися та оцінити стан ґрунту. Ба більше, автоматизація такого процесу буде задовільно впливати на ресурс додаткового моста, оскільки міст зможе відразу відключатися після виходу трактора на стабільну ділянку поля з низьким опором ґрунту. Такий підхід зможе значно підвищити загальний тяговий ККД трактора.

5.2 Адаптація модульних ходових систем для універсально-просапних тракторів як засіб підвищення їхньої конкурентоспроможності.

В умовах сучасного ринку сільськогосподарської техніки малі та середні фермерські господарства часто стикаються з дефіцитом інвестиційних коштів для оновлення машинного парку. Купівля нового, потужного та високопродуктивного трактора іноземного виробництва вимагає колосальних затрат, які невеликі підприємства просто не в змозі собі дозволити. Саме тому концепція модернізації вже наявної техніки стає не просто альтернативою, а стратегічною необхідністю. У цьому контексті розроблене обладнання (додатковий ведучий міст) слід розглядати не як одноразову зміну конструкції, а як елемент глобальної стратегії створення модульних ходових систем [26].

Концепція модульності передбачає розробку уніфікованого вузла, який за допомогою спеціальних перехідних адаптерів може бути використаний на різних моделях тракторів класу 1,4. Слід розуміти, що сучасний фермер — це перш за все прагматик. Йому набагато вигідніше мати універсальний «КІТ-комплект», який можна встановити на трактор перед початком важких польових робіт (оранка, глибоке розпушування, посів по вологій землі) і демонтувати, коли трактор повертається до легких транспортних операцій чи міжрядного обробітку. Це дозволяє уникнути зайвого баласту та невиправданих витрат палива в періоди, коли надлишкова тяга не потрібна.

З інженерної точки зору, такий підхід вимагає серйозної роботи над стандартизацією. По-перше, це стосується точок кріплення проміжних опор для приводів. По-друге, необхідно спроектувати універсальні

роздавальні коробки, які б легко інтегрувалися в трансмісію без необхідності повного розбирання КПП. Важливо врахувати, що встановлення третього моста змінює кінематику всієї машини, тому модульна система повинна включати в себе і програмне забезпечення (або налаштування контролера), яке б синхронізувало кутові швидкості всіх трьох осей.

Така «конструкторська» гнучкість відкриває нові перспективи для сервісних підприємств та вітчизняних заводів сільгоспмашинобудування. Замість того, щоб конкурувати з гігантами на кшталт John Deere чи Case у сегменті надпотужних машин, вони можуть запропонувати ринку доступні комплекти для глибокого апгрейду популярних моделей. Це дозволяє власнику підприємства самостійно вирішувати, коли йому потрібна підвищена прохідність, перетворюючи звичайний трактор на потужний тривісний тягач без необхідності заміни всього парку техніки. Зрештою, такий підхід суттєво подовжує життєвий цикл техніки, що вже є в господарстві, роблячи її актуальною навіть для сучасних інтенсивних технологій вирощування культур.

5.3 Розробка сервісної інфраструктури та технологічного регламенту переобладнання техніки.

Будь-яка складна модернізація сільськогосподарської техніки, особливо така, що стосується втручання в ходову частину та трансмісію, вимагає не лише грамотних креслень, а й відповідної бази для обслуговування. Впровадження тривісних моделей на базі Т-80 неможливе без створення розгалуженої сервісної мережі. Важливо розуміти, що звичайний механізатор у полі не зможе самотужки провести діагностику додаткового ведучого моста чи відрегулювати синхронність роботи приводів. Це диктує потребу в нових підходах до сервісного супроводу.

Насамперед, сервісні центри повинні бути оснащені спеціалізованими стендами для перевірки тягових показників модернізованих машин. Оскільки ми змінюємо розподіл мас та кількість

точок опору, критично важливо контролювати навантаження на кожен міст окремо. Помилка у налаштуваннях підвіски чи неправильний підбір тиску в шинах середнього моста може призвести до виникнення паразитної потужності в трансмісії, що просто «з'їсть» шестерні та призведе до перегріву масла.

Процес встановлення додаткового обладнання повинен супроводжуватися чітким регламентом зварювальних та складальних робіт. Досвід експлуатації показує, що слабким місцем часто стають не самі вузли, а місця їх кріплення до остова. Тому сервісна інфраструктура має включати мобільні бригади, оснащені апаратами для ультразвукової дефектоскопії швів та лазерними системами центрування валів. Якщо вал від роздавальної коробки до додаткового моста буде виставлений з перекосом хоча б у пару міліметрів, вібрація з часом розіб'є підшипники та посадочні місця.

Окремим блоком стоїть питання підготовки персоналу. Зрештою, успіх впровадження таких тракторів на ринку залежить від наявності обмінного фонду запчастин. Фермер не може чекати тиждень, поки приїде специфічна деталь до його модернізованого Т-82 у розпал посівної. Тому логістична мережа складів має бути синхронізована з графіком сезонних робіт, забезпечуючи швидку заміну вузлів за модульним принципом. Такий комплексний підхід до сервісу перетворює одиничну технічну розробку на надійний інструмент для агробізнесу.

5.4 Екологічна стратегія зниження техногенного навантаження на ґрунт за рахунок оптимізації зчеплення

Однією з головних перспектив багатоосних схем у сільському господарстві є вирішення екологічної проблеми переущільнення та деградації ґрунтів. У традиційних схемах 4к2 при великих тягових навантаженнях буксування часто перевищує поріг у 20-25%. У цей момент колесо починає інтенсивно руйнувати ґрунт.

Збільшення кількості ведучих осей дозволить розподілити тягове зусилля на більшу кількість точок контакту. В результаті ми отримуємо не лише зниження питомого тиску на ґрунт, а й, що важливіше, зменшуємо його руйнування. Завдяки стабілізації буксування, структура родючого шару залишається більш збереженою.

В перспективі, такі модернізовані трактори можуть бути частиною систем «ощадного землеробства». Оскільки трактор із додатковим мостом має кращу прохідність, він зможе виходити в поле за вищої вологості без ризику застрягнути або нарізати глибоку колію. Це дозволяє більш гнучко підходити до агротехнічних термінів посіву, що безпосередньо впливає на врожаність.

5.5 Соціально-ергономічна значущість та покращення умов праці механізатора.

Робота на модернізованому тракторі з додатковим ведучим мостом має суттєві переваги не лише для техніко-економічних показників господарства, а й безпосередньо для персоналу, який обслуговує техніку. Проблема втоми механізатора часто ігнорується, хоча саме від його самопочуття залежить точність виконання технологічних операцій та безпека руху. Коли традиційний трактор працює на межі своїх зчіпних можливостей, механізатор змушений перебувати у постійній напрузі: він намагається втримати курс на пухкому ґрунті, постійно коригує положення навісного обладнання та стежить за показниками приладів, щоб не допустити критичного буксування.

Наявність третьої ведучої осі кардинально змінює динаміку руху агрегату. Додатковий міст виступає як елемент пасивної амортизації та стабілізації. За рахунок подовження бази та збільшення кількості точок опору, амплітуда коливань передньої частини трактора суттєво зменшується. Це означає, що при русі по нерівній поверхні поля або розбитій ґрунтовій дорозі, «тряска», яка передається на кабіну та сидіння водія, стає набагато менш інтенсивною. У довгостроковій перспективі це

знижує ризик виникнення професійних захворювань хребта та загальну стомлюваність працівника протягом 10–12 годинної зміни [8].

Крім того, інтелектуальна система керування, про яку йшлося у попередніх підпунктах, значно спрощує процес прийняття рішень. Механізатору більше не потрібно вручну маніпулювати важелями підключення мостів, орієнтуючись «на око» чи за відчуттями. Автоматика бере на себе рутинні операції, дозволяючи людині зосередитися на головному — дотриманні глибини обробітку та перекриттів між проходами. Це не лише підвищує якість роботи, а й знижує психоемоційне навантаження.

Важливим аспектом є і підвищення безпеки. Траєкторія руху тривісного трактора є більш передбачуваною, він менше схильний до заносів на поворотах при роботі з важкими причепами чи знаряддями. Покращена курсова стійкість особливо відчутна при роботі на схилах, де ризик сповзання задньої осі у традиційних моделей є досить високим [9]. Таким чином, впровадження запропонованої конструкції сприяє створенню більш комфортного та безпечного робочого середовища, що в сучасних умовах є важливим чинником при залученні кваліфікованих кадрів до аграрного сектору.

ВИСНОВОК

Кожного року потужність тракторів, вага агрегатів і в результаті вимоги до тягово-зчіпних властивостей тракторів збільшується семимильними кроками. Це змушує інженерів замислюватися над тим, як збільшити тягово-зчіпні властивості сільськогосподарської техніки для того, щоб задовільняти потреби підприємців.

Найдієвішим способом підвищення тяго-зчіпних властивостей трактора є збільшення кількості ведучих мостів в трансмісії. Як було вказано в роботі, тяго-зчіпні властивості трактора прямо і найбільше залежать від розподілу зчіпної ваги та її правильної реалізації на колеса, що позитивно впливає на збільшення продуктивності машини. У тракторів з ведучим тільки заднім мостом найбільшою перевагою є технічна простота та економічна доступність – вони дешевші при купівлі, експлуатації та простіші при ремонті, проте значно поступаються аналогам з більшою кількістю ведучих мостів. Трактори з ведучими заднім та переднім мостами мають значно вищі тягово-зчіпні властивості у порівнянні з машинами, де встановлений тільки один задній міст: у них краще розподілена зчіпна вага, краще керування, менше буксування і т.д., загалом вони в усьому перемагають трактори з одним ведучим мостом, окрім економічних факторів, бо такі трактори дорожчі як при купівлі, так і у ході експлуатації.

Також в роботі було розглянуте додаткове експериментальне обладнання у вигляді додатково встановленого третього моста на серійний трактор МТЗ-80, привод на який передавався від заднього ведучого моста за рахунок ланцюгової передачі. У ході дослідів було встановлено, що розподіл зчіпної ваги та використання додаткового ведучого моста трактора дозволяє підвищити тягово-зчіпні властивості машини. Величина буксування при номінальному тяговому зусиллю, у порівнянні з серійною моделлю, знизилася з 25 до 15%, тягове зусилля піднялося на 35...40 %, а зчіпна вага збільшилася на 35,6% у порівнянні з серійним трактором.

Використання на транспортних роботах колісного трактора з формулою 4к2 з додатковим ведучим мостом та причепом 2ПТС-4 дозволяє підвищити робочу швидкість на 25...30%, продуктивність на 27...29% у порівнянні з серійним трактором. А використання трактора з таким обладнанням дозволяє отримати економію 20,35 Мдж/т·км у порівнянні з серійним варіантом.

Загалом, враховуючи все вище сказане, тягово-зчіпні властивості тракторів зі збільшенням кількості ведучих мостів збільшуються за рахунок більш рівномірного розподілу зчіпної ваги. Проте не слід забувати, що разом зі збільшенням продуктивності трактора, збільшується і вимоги до його обслуговування. Тому потрібну кількість ведучих мостів на тракторі слід обирати, опираючись на вимоги та роботу, для яких трактор буде експлуатуватися.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Наукові основи розроблення і використання транспортних засобів для АПК : монографія. Київ: Аграрна наука, 2010. 312 с.
2. Булгаков В. М., Адамчук В. В. Теорія мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення: монографія. Київ: Аграрна наука, 2015. 568 с.
3. Войтов В. А., Калюжний О. Д. Вплив кількості ведучих осей на прохідність колісних машин. Технічний сервіс АПК, лісового та транспортного господарств. 2015. № 2. С. 45-52.
4. Григоров О. В., Борисенко Д. В. Трактори та автомобілі: будова і робочі процеси двигунів: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2013. 232 с.
5. Гунченко М. О. Енергетичні аспекти взаємодії колісних рушіїв з ґрунтом. Харків: ХНТУСГ, 2011. 192 с.
6. Гунченко М. О., Сідашенко О. І. Тягово-зчіпні властивості та прохідність колісних тракторів: навчальний посібник. Харків: ХНТУСГ, 2013. 248 с.
7. Державна служба статистики України : офіційний сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
8. ДСТУ 2189-94. Трактори сільськогосподарські. Вимоги безпеки. Київ : Держстандарт України, 1995. 32 с.
9. ДСТУ 3445-96 (ГОСТ 20000-96) Трактори сільськогосподарські та лісогосподарські. Гальмівні системи. Методи випробувань. Київ : Держстандарт України, 1997. 24 с.
10. Дубінін С. В. Ефективність використання транспортних засобів у сільському господарстві. Полтава: ПДАА, 2012. 184 с.
11. Екологічний паспорт Київської області, 2022, с 4-6, 36-41.

12. Експлуатація машинно-тракторного парку: підручник / [І. І. Мельник та ін.]; за ред. проф. І. І. Мельника. Київ : Видавництво НУБіП України, 2015. 488 с.
13. Електронний ресурс <https://agrodnepr.com.ua/ru/yumz-6-ili-mtz-80-kakoj-traktor-vybrat-preimuschestva-i-nedostatki-obeih-modelej>
14. Електронний ресурс <https://meteopost.com/weather/climate/year/>
15. Електронний ресурс <https://www.lectura-specs.com.ua/ua/model/sil-s-kogospodars-ka-tehnika/traktori-4wd-belarus/mtz-52-11770060>
16. Електронний ресурс https://www.museum.dp.ua/uk/object_6-2/
17. Електронний ресурс. Характеристика клімату Київської області. <https://studfile.net/preview/5025387/page:2/#5025387>
18. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: підручник: у 2-х т. Харків : Око, 2001. 444 с.
19. Кирик М. М. Прохідність мобільних енергетичних засобів: підручник. Київ: Кондор, 2011. 244 с.
20. Коробко А. І. Робочі процеси та розрахунок систем мобільних енергетичних засобів: монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2014. 280 с.
21. Кравчук В. І. Техніко-економічні показники сучасних тракторів. Глеваха : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 248 с.
22. Кравчук М. Г. Оцінка техногенного навантаження на ґрунт рушіями сучасних сільськогосподарських тракторів / М. Г. Кравчук, М. П. Грицишин // Праці ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2020. Вип. 24 (108). С. 12-19.
23. Лебедев А. Т. Трактори та автомобілі: підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
24. Мельник І. І., Макаренко М. Г. Конструювання та розрахунок тракторів і автомобілів: підручник. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2014. 512 с.
25. Михайлов Є. В., Бойко І. Г. Динаміка та енергетика мобільних машин : монографія. Київ : НУБіП України, 2015. 235 с.
26. Надикто В. Т. Модульні енергетичні засоби: монографія. Мелітополь : Люкс, 2011. 320 с.

27. Надикто В. Т. Тягово-енергетичні концепції використання колісних тракторів класу 1,4 / В. Т. Надикто // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для АПК України. 2018. - Вип. 22. — С. 45-52.
28. Офіційний сайт Міністерства аграрної політики та продовольства України. URL: <https://minagro.gov.ua/>
29. Пастухов В. І. Трактори і автомобілі. Теорія: підручник. Харків: ХНТУСГ, 2014. 448 с.
30. Погорілий В. В. Методи випробувань сільськогосподарської техніки : навчальний посібник. Глевах: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2012. 304 с.
31. Самородов В. Б. Динаміка та кінематична невідповідність повнопривідних колісних тракторів при виконанні важких польових операцій / В. Б. Самородов, О. В. Бондаренко // Вісник ХНАДУ. — 2019. № 86. С. 112-118.
32. Тіщенко Л. М., Назаренко С. А. Надійність сільськогосподарських машин : підручник. Харків: ХНТУСГ, 2011. 360 с.
33. Трактори і автомобілі: підручник / [В. А. Войтов та ін.]; за ред. проф. В. А. Войтова. Харків: ХНТУСГ, 2012. 640 с.
34. Lines J. A., Murphy K. The stiffness of agricultural tractor tires. Journal of Terramechanics. 1991. Vol. 28, No. 1. P. 49-64.