

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

Навчально-науковий інститут загальноуніверситетської підготовки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Машиновикористання в землеробстві
доц. _____ Володимир
КУВАЧОВ

“ ____ ” _____ 2021 року

Пояснювальна записка

до дипломної роботи здобувача СВО Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Підвищення ефективності експлуатації орних агрегатів на базі тракторів виробництва ХТЗ на агрофоні зі слабкою несучою здатністю в умовах півдня України»

32МЗД.121.000000ПЗ

Виконав: здобувач ВО 2 курсу, групи 24 МБ АІ 3 спеціальності 208 Агроінженерія

за ОПП Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності та ОПП)

_____ Віктор ТЕРЕЩЕНКО

Керівник доц. _____

Консультант проф. _____ Юрій РОГАЧ

Нормоконтроль доц. _____ Тетяна ЧОРНА

Рецензент _____

Мелітополь
2021

- розробити методику проведення орних робіт на агрофоні підвищеної вологості (аналіз ґрунтів України та сучасні способи підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів);
- обґрунтувати теоретичні дослідження ефективності встановлення здвоєних шин при виконанні орних робіт (з аналізом можливих схем руху агрегату на гоні та побудовою теоретичних тягових характеристик);
- реалізувати заходи з охорони праці при виконанні орних робіт;
- обґрунтувати економічну ефективність здвоювання шин при виконанні орних робіт на агрофоні підвищеної вологості.
- розрахувати економічну ефективність роботи агрегату.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Способи підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора;
2. Моделювання процесу руху трактора зі здвоєними колесами;
3. Обґрунтування способу агрегування трактора;
4. Аналіз тягових характеристик трактора;
5. Конструктивно-технологічна схема пристрою для здвоювання коліс;
6. Реалізація заходів з охорони праці;
7. Оцінка економічної ефективності прийнятих рішень.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці при виконанні орних робіт та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рогач Юрій Петрович, к.т.н., професор	19.12.2020 р.	21.12.2020 р.

7. Дата видачі завдання 10.10.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ. Обґрунтування напрямку дослідження. Аналіз існуючих методів підвищення тягово-зчіпних властивостей агрегату. Аналіз ґрунтів України з точки зору виконання сільськогосподарських технологічних операцій.	21.12.2020 р. 29.12.2020 р.	
2	Аналіз можливих схем руху агрегату на гоні. Теорія кочення здвоєного колеса по деформуємій	30.12.2020 р. 06.01.2021 р.	

	несучій поверхні з урахуванням схем руху агрегату.		
3	Розрахунок та побудова теоретичних тягових характеристик орного агрегату ХТЗ-150К-09.172.01+ПЛН-5-35 обладнаного одинарними та здвоєними шинами. Зчіпний розрахунок агрегату з точки зору вологості ґрунту.	07.01.2021 р. 14.01.2021 р.	
4	Аналіз експлуатаційно-технологічних показників агрегату зі здвоєними шинами при виконанні орних робіт. Економічна ефективність здвоювання шин.	15.01.2021 р. 18.01.2021 р.	
5	Охорона праці при виконанні орних робіт та безпека в надзвичайних ситуаціях	19.01.2021 р. 22.01.2021 р.	
6	Економічна частина	19.01.2021 р. 22.01.2021 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Віктор ТЕРЕЩЕНКО
Керівник проекту _____

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 83 сторінки машинописного тексту, 4 розділи, 14 рисунків, 8 таблиць, 34 посилання.

Графічна частина роботи - 7 листів формату А4 .

Об'єктом досліджень є підвищення ефективності експлуатації орних агрегатів на базі тракторів виробництва ХТЗ на агрофоні зі слабкою несучою здатністю в умовах півдня України.

Предметом досліджень у роботі є здвоєння шин на базі тракторів виробництва ХТЗ на агрофоні зі слабкою несучою здатністю в умовах півдня України.

Метою роботи є обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів здвоєних шин.

У дипломній роботі зроблено наступне:

- обґрунтовано напрямки дослідження;
- зроблено аналіз існуючих методів підвищення тягово-зчіпних властивостей орного агрегату;
- проведено аналіз ґрунтів України з точки зору виконання сільськогосподарських технологічних операцій;
- зроблено аналіз можливих схем руху орного агрегату на гоні;
- проаналізовано теорію кочення здвоєного колеса по деформуємій несучій поверхні з урахуванням схем руху агрегату;
- зроблено розрахунок та побудову теоретичних тягових характеристик орного агрегату ХТЗ-150К-09.172.01+ПЛН-5-35 обладнаного одинарними та здвоєними шинами;
- проведено зчіпний розрахунок агрегату з точки зору вологості ґрунту;
- проведено аналіз експлуатаційно-технологічних показників агрегату зі здвоєними шинами при виконанні орних робіт та розрахована економічна ефективність здвоювання шин.
- розглянуто безпеку життєдіяльності при експлуатації ґрунтообробних агрегатів та сформовані висновки роботи.
- розраховано економічну частину.

Ключові слова: тягово-зчіпні властивості, здвоєння шин, агрофон зі слабкою несучою здатністю, експлуатаційно-технологічні показники, орний агрегат, ефективність експлуатації, ґрунти півдня України.

ВСТУП

В даний час спостерігається значна інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, яка призводить до ущільнення термінів виконання технологічних операцій, що, у свою чергу, відображається у вигляді більш раннього виходу машинно-тракторних агрегатів в поле, а також пізнішого закінчення польових робіт. Це позначається на умовах експлуатації як самого енергетичного засобу, так і сільськогосподарського знаряддя. Більший вплив при цьому спостерігається на агрегати, які механічно взаємодіють з ґрунтом – ґрунтообробні агрегати, які використовуються для передпосівного обробітку ґрунту. До таких агрегатів відноситься і орний.

Одним з сучасних методів підвищення ефективності агрегатів на ранньо-весняних та пізньо-осінніх роботах, які характеризуються ґрунтом підвищеної вологості, є здвоювання шин, що призводить до формування більшої сили тяги рушія та зменшення механічної деградації ґрунту.

Даний напрямок робіт є актуальним для механізації сільськогосподарського виробництва півдня України.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОНАННЯ ОРНИХ РОБІТ НА АГРОФОНІ ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ	10
1.1 Аналіз характеристик ґрунтів півдня України з точки зору сільськогосподарського виробництва	10
1.2 Тенденції підвищення тягових властивостей колісних тракторів	15
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АГРЕГАТУ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗДВОЄНИХ ШИН	28
2.1 Оцінка тягово-енергетичних показників орного агрегату на одинарних шинах	28
2.2 Визначення тягових характеристик орного агрегату зі здвоєними шинами при нормальній вологості ґрунту з урахуванням схеми руху	33
2.3 Аналіз впливу ґрунтових умов на тягові характеристики орного агрегату зі здвоєними шинами	37
2.4 Вплив тиску повітря в шинах на формування дотичної сили тяги здвоєного колеса на агрофоні нормальної та підвищеної вологості	39
2.5 Теоретична оцінка підвищення тягово-енергетичних показників орного агрегату при встановленні здвоєних шин на агрофоні підвищеної вологості	41
2.5.1 Порівняльна оцінка тягово-енергетичних властивостей тракторів з одинарними шинами та на здвоєних шинах	44
2.5.2 Аналіз умов обладнання трактора здвоєними шинами	49
2.5.3 Тяговий розрахунок трактора зі здвоєними шинами за зчепленням	50
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ОРНИХ РОБІТ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
3.1 Фактори, що впливають на умови праці механізатора при експлуатації трактора ХТЗ-150К-09.172.01	53
3.2 Пожежна безпека машинно-тракторного агрегату	53

3.3 Охорона навколишнього середовища	54
3.4 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	55
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗДВОЮВАННЯ ШИН ПРИ ВИКОНАННІ ОРНИХ РОБІТ НА АГРОФОНІ ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ	64
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	76

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОНАННЯ ОРНИХ РОБІТ НА АГРОФОНІ ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ

1.1 Аналіз характеристик ґрунтів України з точки зору сільськогосподарського виробництва

Для забезпечення сприятливих умов розвитку рослин і формування урожаю необхідно розробити та дотримуватись усіх технологічних операцій, які заплановані в технологічних регламентах на вирощування і збирання продукції рослинництва.

Для створення сприятливих умов росту сільськогосподарських культур необхідно забезпечити якісне виконання всіх технологічних операцій в зазначені агротехнічні строки. Значна роль при цьому відводиться обробітку ґрунту.

Обробіток ґрунту є однією з найбільш енергоємних операцій, яка споживає до 40% витрат палива при виробництві сільськогосподарських культур. Питанню вибору технології обробітку приділяється значна увага. Йдуть широкі дискусії про переваги та недоліки відвального та безвідвального, глибокого, поверхневого обробітку ґрунту та нової енергозберігаючої технології «прямого посіву» (no-till). Мета обробітку ґрунту, при цьому, завжди залишається постійною – зміна щільності ґрунту, і як правило, його розуцільнення.

Щільність ґрунту є інтегрованим показником його стану, який визначає як умови розвитку ґрунтової біоти, так і розвиток кореневої системи рослин.

Оптимальна щільність – це щільність ґрунту, що забезпечує найбільш продуктивний розвиток культури. Інтуїтивно, сьогодні мета обробітку ґрунту полягає в тому, щоб хоча б на час вегетації рослин змінити рівноважну (реальну) щільність ґрунту, наблизивши її до оптимальної. Роботами [17, 19-21] доведено, що усі ґрунти України можуть бути розділені на чотири групи, за розподіленням щільності на глибині шару, що обробляється, кожній з яких відповідає свій спосіб механічного обробітку. При цьому встановлено, що 19%

усіх ґрунтів України потребують приведення до оптимальної щільності як по усьому орному шару, так і по підорному горизонту. Тому використання на ґрунтах даної групи системи «нульового обробітку» не витримує жодної критики.

Роботою [18] встановлено, що на щільність ґрунту впливає не тільки його твердість, але й вологість, яка нерівномірно розподілена як по поверхні поля, так і по його глибині. Також отримано рівняння регресії залежності щільності ґрунту від його твердості, яке має вигляд:

$$\rho = 0,692 + 0,042p - 0,0031p^2, \quad (1.1)$$

де ρ – щільність ґрунту, г/см³;

p – твердість ґрунту, Н/см² (Па).

Окрім того, роботою [4] встановлено, що між твердістю та вологістю ґрунту існує залежність, яка має вигляд:

$$T = \frac{A}{W} - B, \quad (1.2)$$

де T – твердість ґрунту, Н/см²;

W – вологість ґрунту, %;

A та B – коефіцієнти, які залежать від типу ґрунту.

Таким чином, можна казати про вплив водного режиму ґрунту на врожайність сільськогосподарської культури.

Вологість ґрунту впливає не тільки на вегетацію рослин (через показники твердості та щільності), а й на умови виконання технологічної операції машино-тракторним агрегатом.

Як показують результати експериментальних досліджень [2, 7, 13, 22], втрати потужності на самопересування та буксування трактора в залежності від стану ґрунту досягають значних величин. Чим більше втрати на самопересування та буксування, тим менше тягова потужність трактора, а отже, і продуктивність агрегату.

Ґрунти, які є важкими для ґрунтообробних машин, у яких основна частина тягового зусилля йде на виконання технологічного процесу і лише

незначна на подолання опорів перекочування, виявляться легкими для машин інших типів, у яких значна частина тягового зусилля використовується на перекочування самої машини.

Отже, тип ґрунту та його стан необхідно розглядати з двох точок зору: як середовище обробітку, що створює значний вплив на питомий опір машини, і як несучу поверхню для пересування агрегату.

Ґрунт як несуча поверхня визначає конструкцію ходових органів. Площа контакту ходової системи знаходиться в безпосередній залежності від стану ґрунту: чим твердіше ґрунт, тим площа контакту може бути менше при тій же самій зчіпній вазі, про що свідчать роботи [5, 15, 16].

Класифікація ґрунтових умов за міцністю несучої поверхні в найбільш узагальненому вигляді запропонована Х.Г. Барамом [2]. В її основу покладена максимальна тягова потужність трактора, виражена для даних ґрунтових умов у відсотках до максимальної тягової потужності на стерні зернових на середніх ґрунтах.

За дослідними даними [13, 27, 39] питомий опір плугу при різних типах ґрунту в залежності від вологості змінюється у великих межах за певною закономірністю. При цьому для кожного конкретного випадку мінімальний опір відповідає оптимальній вологості.

За даними П.А. Некрасова, при вологості ґрунту (суглинковий чорнозем) 9,8% питомий опір має найбільшу величину ($5,6 \text{ Н/см}^2$); при вологості 18,3% (55% капілярної вологоємності) він досягає мінімуму ($4,8 \text{ Н/см}^2$) [27]. Подальше збільшення вологості призводить до залипання робочих органів, що викликає збільшення питомого опору до $5,5 \text{ Н/см}^2$. При надмірному зволоженні ґрунту (30%) питомий опір плугу при оранці знову зменшується ($5,1 \text{ Н/см}^2$), так як волога, що виділяється з ґрунту, послаблює залипання робочих органів.

Таким чином проф. П.А. Некрасов на основі своїх досліджень робить висновок про те, що оптимальна вологість ґрунту, при якій питомий опір найменший, дорівнює 40 ... 60% його капілярної вологоємності. При цьому рілля виходить кращої якості. При вологості ґрунту 70 ... 80% капілярної

вологоємності, з'являється найбільше прилипання ґрунту до робочої поверхні і питомий опір збільшується.

Дослідженнями В.В. Кіквадзе встановлено, що при оранці звичайного чорнозему найменший питомий опір плугу створюється при 28% вологості, а темно-каштанових ґрунтів – при 20% (у межах 50...60% їх капілярної вологості). При меншій вологості збільшується питомий опір плугу через велике зчеплення ґрунтових частинок.

За даними Н.А. Качинського найменша віддача енергії трактором на важких ґрунтах буде при середній вологості ґрунту (30...60% відносної вологості). На сирих ґрунтах трактор може буксувати внаслідок залипання його коліс та ковзання по бруду. Рослинний покрив (стерня, поклад) за низької та середньої вологості ґрунту (до 70% відносної вологості) також ускладнює перекочування машини та підвищує її тяговий опір [13]. Проф. Н.А. Качинським встановлені межі вологості ґрунту (30...70% відносної вологості при несолонцюватих ґрунтах і 40...60% для солонцюватих) при яких виходить висока якість оранки.

При оптимальній вологості ґрунту зменшується його питомий опір, при цьому він не розпорошується, рілля має рівний профіль, поліпшується впушеність.

Згідно з даними В.В. Кіквадзе, оптимальна вологість темно-каштанових ґрунтів, звичайного та південного чорнозему лежить в межах 55...60% капілярної вологоємності кожного ґрунту.

За даними Х.Г. Барама підвищення абсолютної вологості ґрунту в порівнянні з оптимальною на 1% викликає збільшення питомого опору плугу в середньому на $0,12 \text{ Н/см}^2$ (крім піщаних ґрунтів) та зниження максимальної тягової потужності колісного трактора на 2 ... 2,5% [2].

Таким чином, можна казати про те, що, з точки зору виконання технологічного процесу обробітку ґрунту, найбільша ефективність агрегатів спостерігається на ґрунтах оптимальної вологості. Так ДСТУ Б В.2.1-6-2000 [17] встановлено, що

оптимальній вологості ґрунту відповідає його максимальна несуча здатність, яка відповідає границі липкопластичного стану ґрунту.

Згідно ГОСТ 22733-77 [8] для чорнозему звичайного (найбільш розповсюдженого ґрунту на території України) оптимальна вологість ґрунту становить 30% його вагової вологості.

Таким чином, затвердимо наступні визначення:

– «ґрунт нормальної вологості» – це ґрунт, вагова вологість якого не перевищує 30%;

– «ґрунт підвищеної вологості» – це ґрунт, вагова вологість якого знаходиться в інтервалі від 30% до вологості, встановленої агротехнічними вимогами для певної сільськогосподарської культури.

Виробниками сільськогосподарських машин встановлюються певні інтервали вагової вологості ґрунту для виконання технологічного процесу. Аналізом існуючих рекомендацій по використанню ґрунтообробних сільськогосподарських машин [45-47] встановлено, що єдиною технологічною операцією, яка проводиться в зоні налипання ґрунту є оранка (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Інтервали вагової вологості ґрунту в орному шарі для виконання технологічних процесів ґрунтообробними агрегатами

В цій зоні ґрунт налипає на робочі органи сільськогосподарської машини, в результаті чого збільшується навантаження на гаку, що сприяє підвищенню гакової витрати палива та буксування рушіїв.

Таким чином, вивчення роботи орного агрегату на агрофоні підвищеної вологості є доцільним.

1.2 Тенденції підвищення тягових властивостей колісних тракторів

Найбільші втрати потужності залежать від ККД взаємодії ходової частини з опорною поверхнею, яке, в свою чергу, залежить від потужності, що втрачається на деформацію опорної поверхні, та потужності, що втрачається в самій ходовій системі. Правильний вибір поєднання цих факторів дозволяє підвищувати ККД тягово-транспортного засобу.

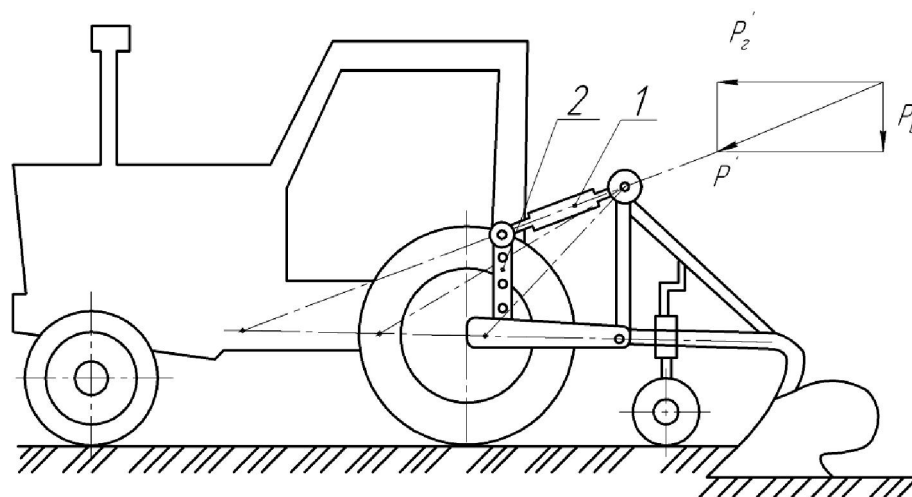
Усі сучасні способи підвищення тягово-зчіпних властивостей колісних тракторів у складі сільськогосподарських агрегатів можна розділити на три групи: шляхом зміни: зчіпної ваги агрегату; характеристик рушіїв зокрема та ходової системи трактора в цілому; схеми агрегування.

Так як на формування дотичної сили тяги рушіїв трактора істотний вплив чинять вертикальне навантаження на колесо та площа плями контакту останнього з опорною поверхнею, то перші два шляхи підвищення тягових властивостей машинно-тракторних агрегатів є найбільш прийнятними. Зміни зчіпної ваги агрегату можна домогтися чотирма існуючими способами: заповненням камер коліс баластом; довантажувачами зчіпної ваги; розподілом маси трактора по його вісях та комплектуванням ешелонованих агрегатів.

Найпростішим способом збільшення зчіпної ваги трактора є заповнення камер задніх коліс баластною рідиною (в теплу пору року – водою, а в холодну – розчином хлористого кальцію) на 1/2 або 3/4 їх об'єму. Недоліками такого способу є збільшення часу обслуговування трактора та обмеження швидкості його руху не вище 16 км/год.

Таких недоліків позбавлені довантажувачі зчіпної ваги. В даний час, за способом довантаження ведучих коліс, виділяють два типи довантажувачів – механічний та гідравлічний. Механічний довантажувач ведучих коліс (рис. 1.2) являє собою кронштейн 2, в якому зроблено ряд отворів, призначених для

кріплення переднього кінця центральної тяги 1 механізму начіпки. Тяга фіксується в кронштейні пальцем з чекою.

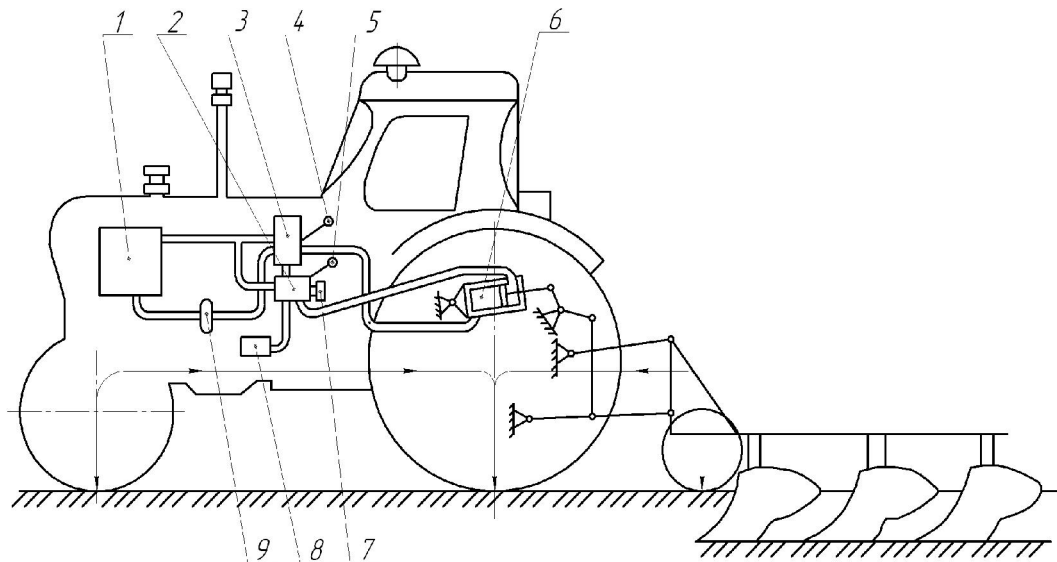


1 – центральна тяга; 2 – кронштейн; P – стискаюче зусилля в центральній тязі; $P'_в$ та $P'_г$ – вертикальна та горизонтальна складова стискаючого зусилля

Рисунок 1.2 – Схема механічного довантажувача ведучих коліс

Під час руху тракторного агрегату з заглибленими робочими органами тяговий опір знаряддя викликає в нижніх тягах розтягуюче, а у верхніх стискаюче зусилля, частина якого і викликає довантаження задніх коліс. Перестановкою точки приєднання центральної тяги механізму начіпки змінюють довантаження ведучих коліс.

Недолік даного довантажувача в тому, що його ефективно можна використовувати тільки з машинами, у яких тягове зусилля перевищує їх власну вагу. Цього недоліку позбавлений гідравлічний довантажувач (рис. 1.3) [35].



1 – бак; 2 – ГЗВ; 3 – розподільвач; 4 – ручка; 5 – важіль; 6 – силовий циліндр;
7 – маховичок; 8 – гідроаккумулятор; 9 – насос

Рисунок 1.3 – Схема гідравлічного довантажувача ведучих коліс

Принцип його роботи заснований на тому, що частина ваги машини ніби «знімається» з її опорних коліс механізмом начіпки та «переноситься» на трактор, довантажуючи задні ведучі колеса, крім того, за рахунок виникнення моменту сил, відбувається перерозподіл нормального навантаження між мостами в бік довантаження заднього.

Дослідження, проведені в УНДІМЕСГ [11] та в НДІМЕСГ північного заходу [26] в умовах відповідних ґрунтово-кліматичних зон показують, що за рахунок використання ГЗВ при роботі трактора МТЗ-50ПЛ на оранці розширюється діапазон застосування підвищених швидкостей. Так, наприклад, в умовах Полісся України при оранці на глибину 18 – 20 см (вологість ґрунту 30%) при роботі трактора на V передачі без ГЗВ, буксування складає понад 40% – практично робота неможлива. З включеним ГЗВ буксування зменшилося до 7% і була забезпечена нормальна робота.

Недоліком ГЗВ є ускладнена конструкція, що вимагає великих капіталовкладень, як на технічне обслуговування, так і на капітальний ремонт.

Збільшення зчипної ваги трактора тісно пов'язане з питанням перерозподілу маси трактора по його осях (для повнопривідних тракторів).

У середньому на передню вісь доводиться 0,55 – 0,62 загальної маси машини. Передній ведучий міст навантажують додатковими вантажами, маса яких залежить від маси начіпної сільськогосподарської машини. Маса цих вантажів визначається мінімальним допустимим кутом поздовжньої стійкості та мінімальним навантаженням на керовані колеса, яке не може бути менше $0,2m_{аер}$, де $m_{аер}$ – експлуатаційна маса агрегату.

Так, для колісного трактора класу 1,4 розвантаження переднього мосту більш ніж на 35% статичного навантаження не допускається [38]. Однак, як показали результати досліджень [10, 30], у великому діапазоні перерозподілу нормальних навантажень на твердих ґрунтах залежність ККД ходової системи трактора від коефіцієнту розподілу маси не має явно вираженого максимуму. Цей максимум проявляється на торф'яно-болотних ґрунтах з низькою несучою здатністю. На вологих мінеральних ґрунтах, характерних для екстремальних кліматичних умов і перехідних сезонів (весна, осінь) такі дослідження в досить повних обсягах не проводилися.

Перерозподілу маси по мостах трактора також можна домогтися шляхом комплектування ешелонованих агрегатів.

Інформаційні зарубіжні матеріали показують, що в останні роки ряд провідних фірм Західної Європи займається розробкою та випуском плугів передньої та задньої начіпки під назвою «push-pull» (рис. 1.4) на колісні трактори традиційної компоновки з двигунами потужності 75 – 100 кВт. Подібні плуги рекламуються в проспектах фірм Huard, Thieme, Naud, Bonnel, Rabewerk, Gassner, Lemken, Dowdeswell Engineering.

За даними фірм, що випускають плуги передньої та задньої начіпки, тяговий ККД трактора підвищується з 60 до 80% за рахунок збільшення частки навантаження на передній ведучий міст до 40 – 45%. Перевага такого агрегату в тому, що маса та тяговий опір фронтально начіпленої секції плуга збільшують вертикальне навантаження на передні ведучі колеса, підвищують зчеплення з ґрунтом та зменшують їх буксування. Завдяки цьому поліпшуються умови

використання потужності трактора з переднім ведучим мостом, підвищується продуктивність та знижується питома витрата палива.



Рисунок 1.4 – Ешелонований орний агрегат на базі трактора John Deere

У дослідженнях, проведених у Великобританії Національним інститутом сільськогосподарської техніки (NIAE) [42], на передньому начіпному пристрої тракторів потужністю 73,5 – 110 кВт монтували 2- та 3-корпусні плуги, на задньому – 3 – 4- корпусні.

При русі з опущеними в робоче положення корпусами формували 5-, 6- або 8-корпусні орні агрегати. Зокрема, в агрегаті з трактором моделі Renault 145-14TX потужністю 100 кВт використовували плуги з 8 корпусами (на передньому механізмі начіпки встановлювали 3-корпусний оборотний плуг зі смуговими відвалами, на задньому – 5-корпусний).

Таке розміщення плугів сприяло більш рівномірному розподілу їх маси по вісях, що значно підвищувало тягово-зчіпні властивості трактора. При цьому виключалася необхідність баластування передніх коліс трактора, відзначалася краща стійкість руху орного агрегату (особливо при роботі на місцевості з пересіченим рельєфом).

Проте дана ефективність агрегату з плугами передньої та задньої начіпки не завжди підтверджується в інших умовах. Так в роботі [43] наводяться дані відділу сільгоспмашин Управління сільського господарства Німеччини, в яких

наголошується, що на піщано-суглинкових ґрунтах орний агрегат, що складається з трактора «Deutz DX-145» потужністю 98 кВт та плугу передньої та задньої начіпки (три- та чотирьохкорпусного) фірми Naud, не показав будь-яких переваг у порівнянні з напівначіпним семикорпусним плугом фірми Lemken.

Крім того, недоліком ешелонування агрегатів за схемою «push-pull» є особлива конструкція сільськогосподарського знаряддя, яка вимагає зміни конструктивного виконання трактора, за рахунок обладнання його переднім механізмом начіпки, що веде до ускладнення гідравлічної системи самого енергетичного засобу.

Підвищення тягових властивостей колісного трактора за рахунок зміни ходової системи здійснюється чотирма способами: переходом на повнопривідну схему; різницею діаметра коліс переднього та заднього мостів; встановленням широкопрофільних або здвоєних шин. Підвищені тягово-енергетичні показники задніх коліс тракторів з приводом 4К4 пояснюються тим, що вони рухаються по попередньо ущільненій поверхні з меншими приблизно на 30% втратами на пересування та більшим на 2 – 15% коефіцієнтом зчеплення.

Перехід на повнопривідну схему призводить до циркуляції потужності по вісях трактора, яка викликана невідповідністю кутових швидкостей обертання коліс останнього – певним значенням коефіцієнту кінематичної невідповідності.

Рекомендації по вибору коефіцієнту кінематичної невідповідності суперечливі. Запропоновано як кінематично узгоджені приводи, так і приводи з кінематичним випередженням передніх коліс.

Однак, згідно роботи [12], в робочому діапазоні тягових навантажень синхронний привід ведучих коліс забезпечує найбільш високий ККД ходової системи. У зв'язку з цим виникають дві конструктивні схеми ходових систем трактора: 4К4а – з керованими колесами меншого діаметру, та 4К4б – всі колеса однакового розміру.

Збільшення розміру шин передніх керованих коліс трактора обмежується шириною остову (рами, напіврами або інших деталей, що утворюють остов), розміром мінімальної колії та кутом їх повертання для отримання необхідного радіусу повороту. Співвідношення передніх та задніх коліс для зарубіжних машин потужністю 73,5 – 110 кВт складає 0,70 – 0,75, а для деяких моделей – 0,8. Подальше збільшення цього відношення радіусів коліс веде до необхідності зміни способу повороту машини, тобто вимагає застосування одного з таких способів: повороту всіх коліс або повороту за допомогою шарнірної рами.

Була відзначена недостатня маневреність тракторів з колісною формулою 4К4б внаслідок недостатнього кута повороту керованих коліс. Застосування конструкцій з шарнірною рамою або з усіма колесами, що повертаються, погіршує водіння МТА. Особливо це проявляється при роботі в міжряддя.

Характерним для трактора з колісною формулою 4К4б є високий рівень резонансних низькочастотних коливань остову при виконанні робіт загального призначення, що обумовлено компонованням та рівнем енергонасиченості тракторів за відсутності підресореної підвіски з ефективним гасителем коливань. Високий рівень низькочастотних коливань призводив до незадовільних умов праці та зумовив необхідність зниження робочої швидкості.

Як показали дослідження [12], в робочому діапазоні тягових навантажень на зміцнювальних та твердих ґрунтах ККД ходової системи з передніми колесами меншого розміру, ніж задні, перевищив аналогічний ККД ходової системи з рівними колесами внаслідок того, що перенесення навантаження на задні колеса більшого розміру в цих умовах призводить до збільшення суми дотичних сил тяги без істотного збільшення опору коченню.

При збільшенні тягового навантаження понад 20 кН на сухих та твердих ґрунтах проявляються переваги ходової системи з рівними колесами. В результаті випробувань, виконаних на стерні ячменю та ґрунті, підготовленому під посів, вологістю 16 – 20%, не встановлено суттєвої різниці в ККД ходових систем з рівними колесами і з передніми колесами меншого розміру.

Так, при порівняльних випробуваннях на вологих ґрунтах в Англії найкращі показники отримані у тракторів з рівними колесами (випробування проводилися з баластуванням шин до максимальної вантажопідйомності) [41], а при випробуваннях у КубНДІТіМ більш високі тягово-енергетичні показники мав трактор з меншими передніми колесами (шини 11,2 – 20"), ніж задні (18,4 – 34") в порівнянні з трактором, що мав однакові колеса (14,9 – 30").

Найбільш простий спосіб підвищення тягових властивостей, що не вимагає значних змін в конструкції – використання на тракторах широкопрофільних шин, які чинять на ґрунт менший тиск (рис. 1.5). Однак для них потрібна широка борозна, яка може бути отримана шляхом застосування плуга з ромбічними корпусами або зі спеціальними заплужниками, встановленими за останнім корпусом плугу. Найбільш прийнятний спосіб при цьому – рух трактора всіма колесами по незораному полю, що вимагає зміни конструкції плугу.



а



б

Рисунок 1.5 – Трактори ХТЗ-150К-09 (а) та К-744РЗ (б), що обладнані широкопрофільними шинами

В роботі [46] експериментальними дослідженнями було встановлено, що значення тягового ККД колеса зростає при збільшенні ширини шин до 2,5 – 3 м та зовнішнього діаметра до 4 – 4,5 м. Подальше збільшення розмірів шини не призводить до зростання тягового ККД колеса. При цьому слід зазначити, що збільшення ширини шини або зовнішнього діаметра шини до зазначених меж знижує в середньому на 25 – 30% середньоквадратичне відхилення

нормального навантаження, а це в свою чергу, зменшує вертикальні коливання трактора.

Однак збільшення маси тракторів та розмірів коліс погіршує їх вписуваність в міжряддя при обробітці просапних культур. Мінімальне значення розміру міжрядь не перевищує 0,45 м. Виходячи з вимог забезпечення захисної зони, ширина шин не може перевищувати 0,21 м. Найбільші розміри шин універсально-просапних тракторів, що застосовуються в США та Західній Європі, становлять 18,4/15-38 та 20,8-38 AS, що дозволяє реалізувати потужність двигуна до 80,9 кВт при колісній формулі 4К2 та швидкості до 8 км/год [16].

Для зниження тиску на ґрунт та підвищення тягового ККД за рахунок меншого буксування колісних тракторів багато закордонних фірм обладнують їх здвоєними шинами (рис. 1.6).



а



б

Рисунок 1.6 – Трактори К-744РЗ (а) та New Holland Т8040 (б), обладнані здвоєними шинами, у складі ґрунтообробних агрегатів

Крім того, встановлення здвоєних шин зменшує механічну деградацію ґрунту за рахунок зниження тиску на нього. Так, згідно з [14], використання здвоювання шин на тракторі ХТЗ-150К призводить до зменшення тиску в зоні контакту рушія з опорною поверхнею в 1,5 рази – з 0,9 кг/см² до 0,6 кг/см², внаслідок чого трактор відповідає світовим стандартам. Тому все частіше виробники тракторів рекомендують використовувати встановлення здвоєних шин на поверхневому обробітці ґрунту з одночасним внесенням добрив, сівбі

широкозахватними агрегатами, підгодівлі озимих та багаторічних трав, а також на глибокій оранці ґрунтів, що мають підвищений опір [25, 28, 33].

Так, в роботі [44] аналізуються експериментальні дослідження, при яких проводилася культивування зябу двома агрегатами К-701+КТ-10.01 та К-701 зі здвоєними шинами + ЗКПС-4. Було встановлено, що продуктивність другого агрегату на 60% перевищувала перший, при цьому витрата ПММ на 1 га знизилася в 2,2 рази. Також, під час підготовки ґрунту до посіву було вивчено вплив різних тракторів і знарядь на властивості ґрунту. Для порівняння були обрані трактори «Челленджер» на широких гумових гусеницях та трактор К-701 зі здвоєними шинами. На основі експериментальних досліджень встановлено, що по сліду трактора К-701, зі здвоєними шинами, щільність ґрунту не перевищувала $0,95 - 0,97 \text{ г/см}^3$, в той час як для гумових гусениць даний показник склав $1,3 \text{ г/см}^3$.

В роботі [40] мінімізація впливу здвоєних шин на схожість рослин аналізується з точки зору прорідження сходів ярової пшениці по сліду тракторів Т-150К та Т-150К зі здвоєними шинами (Т-150КСШ).

Встановлено, що для трактора Т-150К прорідженість сходів вища ніж для Т-150КСШ: спостерігається відставання в зростанні рослин, що виростають по сліду трактора Т-150К; для трактора Т-150КСШ спостерігається дружніший схід рослин за рахунок прикочуючого впливу рушіїв.

В той самий час, робота [37] свідчить про те, що дослідженнями НАТІ в зоні ОНІС встановлено залежність ущільнюючого впливу на ґрунт не тільки від питомого тиску, але й від ширини рушія. Здвоювання шин на тракторі Т-150К (тиск повітря в камерах шини – $100...120 \text{ кПа}$) призвело до зниження максимального питомого тиску на 30% та глибини сліду на 20%. При цьому ширина сліду збільшилась вдвічі, площа поперечного перерізу – в 1,7 разів, а ущільнюючий вплив трактора на ґрунт збільшився, що призвело до збільшення щільності ґрунту та зменшенню врожайності ярового ячменю на 2,5 ц/га (на 8,4%). Подальше зниження тиску повітря в камерах здвоєних шин призвело до того, що ущільнюючий вплив вказаних тракторів практично зрівнявся.

Аналіз результатів випробувань трактора К-701 на Північно-Кавказській МІС та Цілинній МІС показав, що здвоювання шин на ньому не дає суттєвої переваги по ущільненню ґрунту.

В той же час дані КубНДІТіМ, Ул'янівського СГІ та ряду господарств свідчать про переваги трактора ХТЗ-150К-09.172.01 зі здвоєними шинами на ранньо-весняних роботах, при снігоутриманні та роботах на уклонах [37].

Роботою [37] також встановлено, що збільшення сили зчеплення та, відповідно, тягового зусилля трактора при здвоюванні шин відбувається за рахунок додавання зчіпної ваги, про що свідчить той факт, що коефіцієнт використання останньої для тракторів з одинарними та здвоєними шинами, при однаковому буксуванні та інших рівних умовах, залишається на одному рівні.

Доведено, що вантажопідйомність здвоєних шин 12,4-38 трохи вище, а вантажопідйомність здвоєних шин 11,2-42 дорівнює вантажопідйомності одинарних шин 18,4-38. Тому один і той же трактор при виконанні різних операцій рекомендують обладнувати здвоєними шинами [16].

Спеціалістами університету штату Небраска в Америці встановлено [29], що для забезпечення ефективної експлуатації здвоєних шин необхідно, щоб тиск повітря в шинах зовнішніх коліс був трохи меншим (на 0,02 – 0,025 МПа), ніж в внутрішніх.

До недоліків здвоювання шин слід віднести неповну уніфікацію шин, що використовуються для здвоювання. Роботою [29] вказується, що на тракторах зі здвоєними шинами має виконуватися умова встановлення на усіх бортах шин тільки з однойменним кордом – діагональним або радіальним. При невиконанні цієї умови значно підвищується буксування та втрати в ходовій частині трактора перевищують 20%.

Але, не дивлячись на все вищевикладене, так і не було встановлено оптимальних умов використання тракторів зі здвоєними шинами, а також (не дивлячись на реєстрацію покращення параметрів на ранньо-весняних роботах) не проаналізовано вплив ґрунтово-кліматичних умов на роботу таких тракторів. Та й самі експериментальні дані досить суперечливі, що унеможлиблює

вирішення питання по ефективності впливу здвоювання шин на усі показники агрегату.

Крім зміни конструкції та технічних властивостей ходової системи, підвищення тягових властивостей трактора здійснюється шляхом зміни схеми руху агрегату на гоні – схемою агрегатування. Даний спосіб притаманний орним агрегатам.

При оранці правими колесами по борозні умови руху правих та лівих коліс трактора не однакові. Через нахил трактора праворуч, вертикальне навантаження на праві колеса більше, ніж на ліві. Так як ліві колеса рухаються, як правило, по стерні, а праві – по щільному дну борозни, то коефіцієнт зчеплення з ґрунтом останніх більше.

Ці два фактори забезпечують правим колесам можливість реалізації більшої сили тяги, ніж лівим. В той самий час наявність тертя бічних поверхонь шин правих коліс об стінку борозни та часткова засміченість борозни пухким ґрунтом підвищують опір перекочуванню. Результати випробувань проведених у НАТІ показали, що для трактора на шинах 21,3R24 це збільшення опору перекочуванню складає 27 – 32% [31].

При роботі на низьких передачах та відповідно великих значеннях тягового зусилля зростає максимальна тягова потужність та відповідні їй тягові зусилля. При значенні буксування менше 15% тягові показники при русі коліс по борозні погіршуються, так як тут позначається збільшення опору перекочуванню.

Крім того, в процесі руху колеса ущільнюють частину оберненого плугом ґрунту та дно борозни. В результаті утворюється «плужна підшва», що погіршує водно-повітряний режим у ґрунті, що призводить до зниження врожаю на 20% [3].

Однак, на ряду з тягово-зчіпними та паливно-економічними властивостями агрегатів, особливе місце надається питанню про їх динамічну стійкість на гоні. Особливо це питання актуальне для орних агрегатів, так як динамічна нестабільність останнього призводить до більш частого звалювання

в борозну і, відповідно, збільшенню, як пройденого шляху, так і витрати палива.

Тому якість роботи сільськогосподарської машини визначається двома факторами: ступенем відповідності конструкції і параметрів робочих органів машини їх призначенням та ступенем стійкості руху машини в роботі.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВО-ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АГРЕГАТУ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗДВОЄНИХ ШИН

2.1 Оцінка тягово-енергетичних показників орного агрегату на одинарних шинах

В загальному випадку рівняння тягового балансу трактора має вигляд:

$$P_{\text{дот}} = P_{\text{тяг}} + P_f \pm P_a \pm P_j, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{дот}}$ – дотична сила тяги трактора, Н;

$P_{\text{тяг}}$ – тягове зусилля, яке реалізоване трактором, Н;

P_f – сила опору коченню, Н;

P_a – сила опору підйому, Н;

P_j – опір сил інерції, Н.

Якщо прийняти припущення, що швидкість трактора постійна ($v = \text{const}$) та останній рухається на рівній ділянці ($\alpha = 0$), то рівняння тягового балансу трактора прийме наступний вигляд:

$$P_{\text{дот}} = P_{\text{тяг}} + P_f. \quad (2.2)$$

Таким чином, дотична сила тяги при сталій роботі трактора на горизонтальній ділянці дорівнює горизонтальній складовій тягового опору та силі опору коченню коліс.

Для визначення дотичної сили тяги в загальному випадку В.В. Гуськовим була запропонована формула, що має вигляд:

$$P_{\text{дот}} = \frac{f_{\text{ков}} k_{\tau} G_i}{\delta L} \left[\ln \left(ch \left(\frac{\delta L}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{\text{нр}} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta L}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{\text{зр}} \frac{h_2 L}{t}, \quad (2.3)$$

де $f_{\text{ков}}$ – коефіцієнт тертя ковзання;

k_{τ} – коефіцієнт деформації ґрунту, м;

G_i – навантаження, що припадає на i -е колесо, Н;

δ – коефіцієнт буксування рушіїв трактора;

L – довжина плями контакту рушія з опорною поверхнею, м;

f_{np} – приведений коефіцієнт тертя;

$\tau_{зр}$ – напруження ґрунту на зріз, Н/м²;

h_z – висота ґрунтозачепу, м;

t – крок ґрунтозачепу, м.

Таким чином, дотична сила тяги, в загальному випадку, залежить від нормального навантаження, що діє на колесо, параметрів самого колеса, фізико-механічних властивостей несучої поверхні та режиму руху трактора (буксування рушія).

Нормальне навантаження на i -е колесо дорівнює нормальній реакції ґрунту, яка визначається дією трактора на вісь колеса та вагою самого колеса.

Вага трактора, яка припадає на вісь i -го колеса, залежить від положення центру мас трактора:

$$G_i = \alpha_i G_{mp}, \quad (2.4)$$

де α_i – коефіцієнт перерозподілу ваги трактора по його вісях;

G_{mp} – вага трактора, Н.

Для спрощення розрахунків, з деяким припущенням, приймемо, що при певному тяговому зусиллі навантаження на передню та задню вісі розподіляється рівномірно ($\alpha_i = 0,25$).

З огляду на вищевикладене, нормальне навантаження на i -е колесо може бути визначене за формулою:

$$G_i = G_{mp} + G_k = 0,25 \cdot m_{mp} \cdot g + m_k \cdot g, \quad (2.5)$$

де m_{mp} – маса трактора, що припадає на колесо, кг;

m_k – маса колеса, кг.

Тоді формула для дотичної сили тяги одинарного колеса матиме вигляд:

$$P_{\text{дом}} = \frac{f_{\text{ков}} k_{\tau} (0,25 \cdot m_{\text{мп}} \cdot g + m_{\text{к}} \cdot g)}{\delta L_1} \left[\ln \left(c h \left(\frac{\delta L_1}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{\text{нр}} \left(\frac{1}{c h \left(\frac{\delta L_1}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{\text{зр}} \frac{h_2 L_1}{t}. \quad (2.6)$$

Глибину колії, що утворилася при взаємодії рушія з опорною поверхнею в загальному випадку можна визначити за формулою:

$$h = \sqrt[3]{\frac{G_i^2}{k^2 b^2 D}}, \quad (2.7)$$

де G_i – вертикальне навантаження на i -е колесо, Н;

b – ширина колеса, м;

D – діаметр колеса, м;

k – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м³.

Довжину плями контакту колеса з ґрунтом визначимо за формулою:

$$L = 2\sqrt{2rh_u - h_u^2} + \frac{h}{\text{tg} \left(\frac{4}{3}\sqrt{2rh_u} - \frac{1}{3}\sqrt{2rh_u - h_u^2} \right)}, \quad (2.8)$$

де r – вільний радіус шини, м;

h – глибина колії, м;

h_u – прогин шини, м, який може бути визначений за формулою Хейдекелю:

$$h_u = \frac{G_i}{2\pi p_u \sqrt{rr_c}}, \quad (2.9)$$

де G_i – навантаження, що припадає на i -е колесо, Н;

p_u – тиск повітря в шині, Па;

r – вільний радіус шини, м;

r_c – радіус перерізу шини, м:

$$r_c = \frac{b_i}{2}, \quad (2.10)$$

де b_i – ширина шини, м.

Залежність між напруженням та деформацією ґрунту будемо визначати за формулою В.В. Кацігіну:

$$\tau_{zp} = f_{mk} \cdot p \cdot \left(1 + \frac{f_{np}}{ch \frac{\Delta}{k_\tau}} \right) th \frac{\Delta}{k_\tau}, \quad (2.11)$$

де f_{np} – приведений коефіцієнт тертя;

f_{mk} – коефіцієнт тертя ковзання;

k_τ – коефіцієнт деформації, м;

Δ – деформація ґрунту, що виникає при прикладенні тиску p .

З високою точністю можна прийняти, що при тиску p , який в даному випадку дорівнює тиску, створюваному в зоні контакту одного колеса з опорною поверхнею, деформація ґрунту Δ дорівнює глибині колії h , що утворена колесом, яке розглядається.

Приведений коефіцієнт тертя f_{np} є функцією коефіцієнтів тертя спокою та ковзання. Для ґрунтів нормальної вологості він може бути визначений за емпіричною формулою:

$$f_{np} = 2,55 \left(\frac{f_{cn} - f_{mk}}{f_{mk}} \right)^{0,825}, \quad (2.12)$$

де f_{cn} – коефіцієнт тертя спокою.

З експериментальних даних випливає, що співвідношення $\lambda = f_{cn} / f_{mk}$ змінюється в межах 1,16...2,0, причому λ збільшується зі зменшенням тиску p [9].

Коефіцієнт деформації ґрунту k_τ пропорційний критичній деформації Δ_0 та пов'язаний з нею і приведеним коефіцієнтом тертя f_{np} наступною залежністю [9]:

$$k_\tau = \frac{\Delta_0}{\operatorname{arcch} \left(\frac{1 + \sqrt{1 + f_{np}^2}}{2f_{np}} \right)}. \quad (2.13)$$

З достатньою точністю для ґрунтів нормальної вологості коефіцієнт k_τ може бути визначений за формулою [9]:

$$k_\tau = 0,4t, \quad (2.14)$$

де t – крок ґрунтозачепу, м.

Для визначення тиску, що діє в зоні контакту шини з опорною поверхнею, будемо використовувати формулу:

$$p = \frac{G_i}{F_{нк}}, \quad (2.15)$$

де $F_{нк}$ – площа плями контакту, м².

Для визначення площі плями контакту приймемо припущення, що остання має форму прямокутника з довжиною L та шириною b , де L – довжина плями контакту, м, а b – ширина шини, м, тоді:

$$F_{нк} = L \cdot b, \quad (2.16)$$

$$p = \frac{G_i}{L \cdot b}. \quad (2.17)$$

Для визначення опору кочення одинарного колеса по несучій поверхні при сталому режимі існує декілька залежностей. Одна з них, що найбільш повно відображає реальні умови взаємодії колеса з поверхнею, має наступний вигляд [9]:

$$P_f = \frac{\gamma_u u_u \lambda_n h_u^2}{4\pi r_0}, \quad (2.18)$$

де γ_u – коефіцієнт пропорційності; для існуючих тракторних шин при тиску повітря в них $p_u = 80...250$ кПа $\gamma_u = 0,12...0,15$, причому верхня межа стосується шин низького тиску, а нижня – шин високого тиску;

u_u – коефіцієнт, що визначає співвідношення між роботою, витраченою при одноразовому стисненні шини та за один її оберт;

λ_n – жорсткість шини;

h_u – нормальна деформація шини, м;

r_o – динамічний радіус колеса, який може бути визначений зі співвідношення [9]:

$$r_o = 0,5D - h_u, \quad (2.19)$$

де D – вільний діаметр колеса, м.

Коефіцієнт u_u може бути визначений за наступною залежністю [9]:

$$u_u = \frac{\pi h_u (2r - h_u)}{r^2 \left(\frac{\pi D_o}{180} - \sin \alpha \right)}, \quad (2.20)$$

де

$$\alpha = 2 \arccos \frac{r - h_u}{r}. \quad (2.21)$$

Нормальну деформацію шини h_u підраховують за формулою Хейдекелю [9]. Якщо підставити до формули (2.18) значення h_u з формули Хейдекелю та зробити деякі спрощення, то отримаємо наступний вираз для визначення опору коченню колеса по поверхні:

$$P_f = \gamma_u \frac{G_i^3}{4\pi p_u^2 r^3 r_c \left(\frac{\pi \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right)}. \quad (2.22)$$

Таким чином, знаючи значення сили опору коченню колеса по несучій поверхні та задаючись певними значеннями буксування рушія можна визначити дотичну силу тяги, що розвивається останніми.

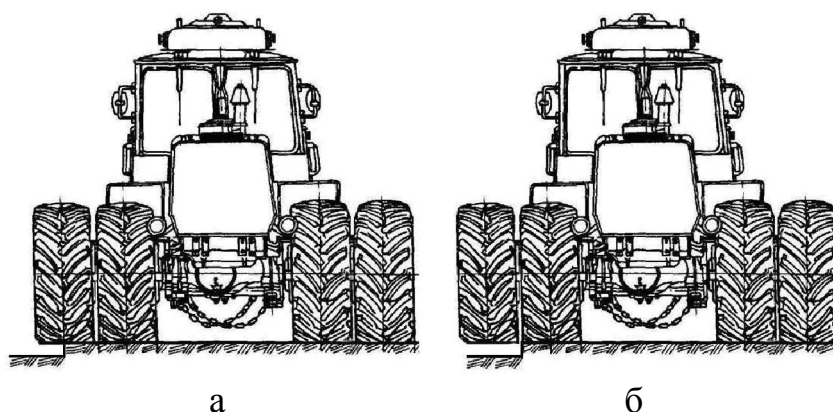
2.2 Визначення тягових характеристик орного агрегату зі здвоєними шинами при нормальній вологості ґрунту з урахуванням схеми руху

Технологічний процес оранки, при якому трактор всіма колесами рухається по незораному полю, передбачає зсув осі плугу щодо повздовжньої вісі трактора праворуч на 150...200 мм. Оранка ж в борозні характеризується поєднанням повздовжньої вісі як трактора, так і плуга.

Встановлення ж здвоєних шин вносить зміни до проведення орних робіт. Технологічний процес оранки в борозні на здвоєних шинах неможливий через невідповідність ширини борозни та пари коліс борту.

Рух трактора поза борозною на оранці призводить до того, що одне колесо пари правого борту рухається по незораному полю, а друге, не взаємодіючи з опорною поверхнею, звисає над борозною.

За допомогою технологічної налашки орного агрегату можна домогтися двох можливих схем його руху на гоні (рис. 2.1):



а – $2 \times 1,5$; б – 2×1

Рисунок 2.1 – Можливі схеми руху агрегату зі здвоєними шинами на гоні

– схема 2×1 характеризується рухом всіх коліс лівого борту по незораній поверхні, а правий борт тільки одним колесом рухається по полю, в той час як друге колесо пари не взаємодіє з несучою поверхнею (рис. 2.1, в);

– схема $2 \times 1,5$, при якій лівий борт всіма колесами рухається по незораному полю, а на правому борту одне колесо пари повністю, а друге – на половину своєї ширини, взаємодіє з несучою поверхнею (рис. 2.1, б);

Розгляд проміжних схем руху недоцільний, тому що схема менш ніж 2×1 впливає на розподіл тиску в зоні контакту рушія з поверхнею поля, що позначається на надійності експлуатації шин, а також на ущільнюючий вплив рушіїв на ґрунт. Схеми більш ніж $2 \times 1,5$ нездійсненні на тривалий проміжок часу зважаючи на складність їх стабільного виконання оператором агрегату.

Для визначення дотичної сили тяги здвоєного колеса в загальному випадку можна використовувати формулу В.В. Гуськова (2.3) з деякими доповненнями.

Для спрощення розрахунків також прийемо, що при певному тяговому зусиллі навантаження на передню та задню вісь розподіляється рівномірно ($\alpha_i = 0,25$).

При роботі трактора зі здвоєними шинами необхідно враховувати вагу пари коліс, які знаходяться на одному борті мосту. Таким чином:

$$G_{к2} = 2 \cdot m_{к} \cdot g. \quad (2.23)$$

З огляду на вищевикладене, нормальне навантаження на і-ту пару коліс може бути визначене за формулою:

$$G_{i2} = G_{mp} + G_{к2} = 0,25 \cdot m_{mp} \cdot g + 2 \cdot m_{к} \cdot g. \quad (2.24)$$

Тоді формулу В.В. Гуськова для пари шин можна переписати в наступному вигляді:

$$P_{дом2} = \frac{f_{коб} k_{\tau} (0,25 \cdot m_{mp} \cdot g + 2 \cdot m_{к} \cdot g)}{\delta L_{2к}} \left[\ln \left(ch \left(\frac{\delta L_{2к}}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta L_{2к}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{зп} \frac{h_z L_{2к}}{t}, \quad (2.25)$$

де $L_{2к}$ – довжина плями контакту спареної шини трактора з опорною поверхнею, яка може бути визначена за аналогією з довжиною плями контакту для одинарних шин за формулою (2.26):

$$L_{2к} = L_1 + L_2 = 2\sqrt{2rh_{у2} - h_{у2}^2} + \frac{h_2}{tg \left(\frac{4}{3}\sqrt{2rh_{у2}} - \frac{1}{3}\sqrt{2rh_{у2} - h_{у2}^2} \right)}. \quad (2.26)$$

де $h_{у2}$ – прогин здвоєної шини, м;

h_2 – глибина колії, що утворилася при взаємодії здвоєного рушія з опорною поверхнею, м.

Глибину колії, що утворилася при взаємодії здвоєного рушія з опорною поверхнею можна визначити за формулою (2.7) з деякими доповненнями.

З огляду на те, що при роботі здвоєних шин у просторі між ними утворюється земляний клин, який бере участь у формуванні дотичної сили тяги, з деяким припущенням, можна прийняти, що ширину колеса можна замінити шириною утвореного пневмокотка, яка може бути визначена за формулою:

$$b_2 = b + S + ib, \quad (2.27)$$

де b – ширина одного колеса у розглянутій парі, м;

S – відстань між шинами в розглянутій парі, м;

i – коефіцієнт, який залежить від схеми руху здвоєної шини на гоні.

Для трактора зі здвоєними шинами, якщо схема руху останнього на гоні має вигляд $2 \times 1,5$, то $i = 0,5$, а якщо 2×1 – $i = 0$.

Таким чином, глибина колії для здвоєного колеса буде визначатися за формулою:

$$h_2 = \sqrt[3]{\frac{G_{i2}^2}{k^2 b_2^2 D}} = \sqrt[3]{\frac{G_{i2}^2}{k^2 (b + S + ib)^2 D}}. \quad (2.28)$$

Прогин здвоєної шини може бути визначений за формулою Хейдекелю (2.9) з урахуванням того, що радіус перерізу здвоєної шини визначиться за формулою:

$$r_{c2} = \frac{b_2}{2} = \frac{b + S + ib}{2}, \quad (2.29)$$

тоді формула Хейдекелю матиме вигляд:

$$h_{u2} = \frac{G_{i2}}{2\pi p_u \sqrt{r r_{c2}}}. \quad (2.30)$$

Залежність між напруженням та деформацією ґрунту під здвоєними шинами будемо визначати за формулою В.В. Кацигіну (2.11). При цьому необхідно враховувати, що тиск, що діє в зоні контакту здвоєної шини з опорною поверхнею буде визначатися за формулою:

$$p = \frac{G_{i2}}{F_{нк2}}, \quad (2.31)$$

де $F_{нк2}$ – площа плями контакту здвоєної пари з опорної поверхнею, м².

Для визначення площі плями контакту приймемо припущення, що остання має форму прямокутника з довжиною $L_{2к}$ та шиною b_2 , де $L_{2к}$ – довжина плями контакту здвоєної пари шин з опорною поверхнею, м, а b_2 – ширина здвоєної пари, м, тоді:

$$F_{mk2} = L_{2к} \cdot b_2, \quad (2.32)$$

$$p = \frac{G_{i2}}{L_{к2} \cdot b_2}. \quad (2.33)$$

Приведений коефіцієнт тертя f_{np} визначаємо за формулою (2.12) з урахуванням збільшення тиску в плямі контакту здвоєної шини з несучою поверхнею, а коефіцієнт деформації ґрунту k_τ – за формулою (2.13).

Для визначення опору коченню пари коліс по несучій поверхні при сталому режимі використаємо формулу (2.22), яка прийме вигляд:

$$P_{f2} = \gamma_w \frac{G_{i2}^3}{4\pi p_w^2 r^3 r_{c2} \left(\frac{\pi \alpha_2}{180^\circ} - \sin \alpha_2 \right)}, \quad (2.34)$$

де

$$\alpha_2 = 2 \arccos \frac{r - h_{w2}}{r}. \quad (2.35)$$

2.3 Аналіз впливу ґрунтових умов на тягові характеристики орного агрегату зі здвоєними шинами

Для визначення дотичної сили тяги здвоєного колеса скористаємося формулою (2.25) для здвоєних коліс.

В цій формулі нормальне навантаження на i -ту пару коліс дорівнює нормальній реакції ґрунту, яка визначається дією трактора на вісь колеса та вагою самого колеса. Крім того, за наявності здвоєних шин та при значенні вологості ґрунту вище оптимальної, останній налипає в просторі між колесами та створює додаткове навантаження на колесо, яке можна визначити за формулою:

$$G_{ep} = m_{ep} \cdot g, \quad (2.36)$$

де m_{ep} – маса налиплого ґрунту, кг;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с².

Враховуючи вищевикладене, нормальне навантаження на i -ту пару визначиться за формулою:

$$G_{i2} = G_{mp} + G_k + G_{ep} = 0,25 \cdot m_{mp} \cdot g + 2 \cdot m_k \cdot g + m_{ep} \cdot g; \quad (2.37)$$

Тоді дотична сила тяги здвоєного колеса при підвищеній вологості ґрунту буде визначатися з формули:

$$P_{дом2} = \frac{f_{ков} k_{\tau} (0,25 \cdot m_{mp} \cdot g + 2 \cdot m_k \cdot g + m_{ep} \cdot g)}{\alpha_2} \left[\ln \left(ch \left(\frac{\alpha_2}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\alpha_2}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{зп} \frac{h_2 L_2}{t}. \quad (2.38)$$

Для визначення маси ґрунту, налиплого в простір між колесами, приймемо деякі припущення (рис. 2.2):

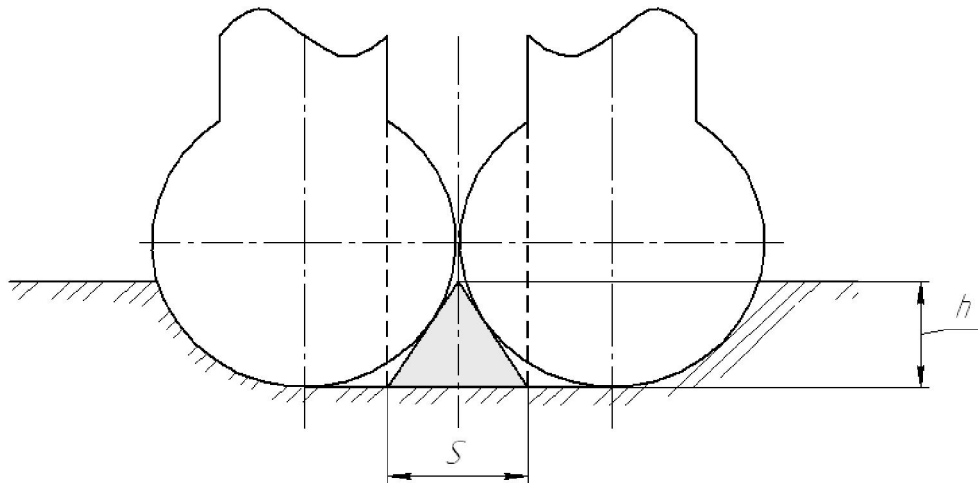


Рисунок 2.2 – До визначення маси налиплого ґрунту

- маса ґрунту, що знаходиться між колесами залишається постійною і не змінюється з часом;
- ґрунт знаходиться в просторі між колесами у вигляді маси, площа поперечного перерізу якої відповідає рівнобедреному трикутнику.
- висота рівнобедреного трикутника поперечного перерізу маси ґрунту дорівнює глибині колії, що виникає при русі розглянутої пари.

– довжина основи рівнобедреного трикутника (відстань між спареними шинами розглянутої пари) залишається постійною.

З огляду на вищевикладені припущення, масу ґрунту між шинами можна визначити за формулою:

$$m_{gp} = V_{gp} \cdot \rho_{gp}, \quad (2.39)$$

де V_{gp} – об'єм ґрунту, що знаходиться між колесами в розглянутій парі, м³;

ρ_{gp} – щільність ґрунту з якого утворена несуча поверхня, кг/м³.

Об'єм ґрунту, що знаходиться між колесами в розглянутій парі можна визначити з наступного співвідношення:

$$V_{gp} = \pi DF, \quad (2.40)$$

де D – вільний діаметр колеса, м;

F – площа трикутника – площа поперечного перерізу маси ґрунту, м²:

$$F = \frac{1}{2}Sh, \quad (2.41)$$

де S – основа рівнобедреного трикутника – відстань між шинами в розглянутій парі, м;

h – висота рівнобедреного трикутника – глибина колії, що утворилася при взаємодії рушія з ґрунтом, м.

Глибину колії, що утворилася при взаємодії рушія з опорною поверхнею можна визначити за формулою (2.28).

2.4 Вплив тиску повітря в шинах на формування дотичної сили тяги з двоєного колеса на агрофоні нормальної та підвищеної вологості

Відповідно до формул (2.8) і (2.9) на формування площі плями контакту, а, отже, і на значення дотичній сили тяги істотний вплив чинить тиск повітря в камері шини.

На підставі наведених формул були розраховані значення дотичних сил тяги та буксування рушія в залежності від тиску повітря в шинах на агрофоні нормальної та підвищеної вологості.

Для розрахунку було обрано робочий діапазон тисків повітря у камері шини – від 0,08 до 0,12 МПа. Розрахунок проводився для шин трактора JOHN DEERE 8130 – 710/70R42, які підтримують ці значення робочих тисків у камері.

Для агрофону нормальної вологості була побудована поверхня залежності дотичної сили тяги і буксування рушія від тиску повітря в шині (рис. 2.3). На підставі розрахунків було встановлено, що максимальні значення дотичної сили тяги при мінімальних значеннях буксування на агрофоні нормальної вологості досягається при тиску повітря в шинах, що дорівнює 0,08 МПа.

Дане явище можна пояснити тим, що при зниженні тиску повітря в камері шини остання має більший прогин, в наслідок чого збільшується площа опорної поверхні рушія.

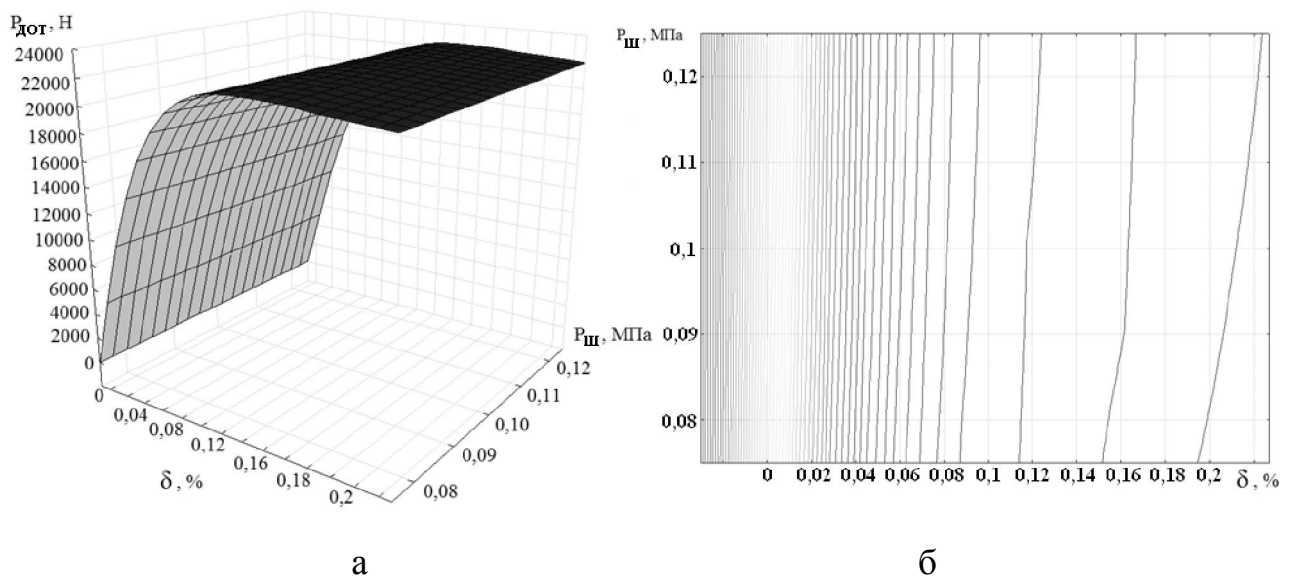
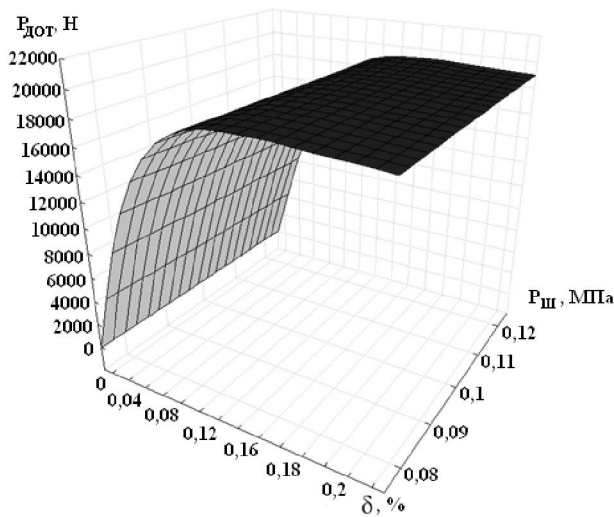
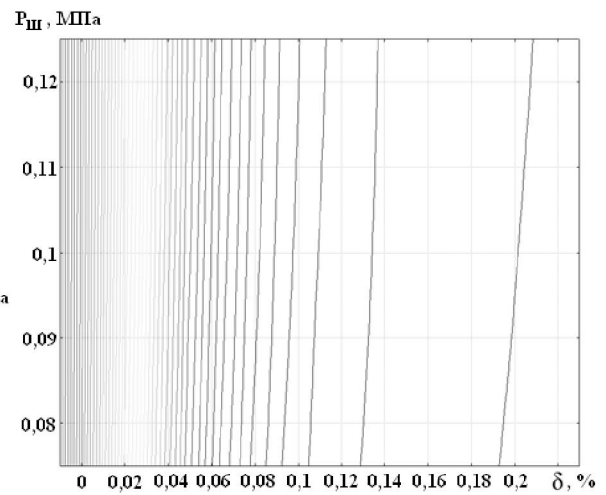


Рисунок 2.3 – Поверхня (а) та її лінії рівня (б) залежності дотичної сили тяги здвоєного колеса та його буксування від величини тиску повітря в камері на агрофоні нормальної вологості

Таке ж збільшення дотичної сили тяги з пониженням тиску повітря в камері шини спостерігається і під час роботи рушія на агрофоні підвищеної вологості (рис. 2.4).



а



б

Рисунок 2.4 – Поверхня (а) та її лінії рівня (б) залежності дотичної сили тяги здвоєного колеса та його буксування від величини тиску повітря в камері на агрофоні підвищеної вологості

При цьому збільшення дотичній сили тяги на агрофонах нормальної та підвищеної вологості при зниженні тиску з 0,12 до 0,08 МПа практично однаково і становить 6,25%.

Таким чином, можна говорити про те, що тиск в камері шини в 0,08 МПа є найкращим, з точки зору формування дотичної сили тяги, і подальші розрахунки тягових характеристик тракторів необхідно проводити з урахуванням даної величини.

2.5 Теоретична оцінка підвищення тягово-енергетичних показників орного агрегату при встановленні здвоєних шин на агрофоні підвищеної вологості

Для аналізу впливу вологості ґрунту та схеми руху ґрунтообробного агрегату був обраний трактор ХТЗ-150К-09,172.01, як найбільш поширений трактор загального призначення 3 тягового класу.

Параметри, що впливають на формування дотичної сили тяги та сили опору руху, для трактора ХТЗ-150К-09,172.01 наведені в табл. 2.1.

Для трактора JOHN DEERE 8130 при здвоюванні шин забезпечує відстань між шинами здвоєної пари в 620 мм. Ця відстань залежить від типу шини, та, відповідно, від типу трактора, що експлуатується.

Таблиця 2.1 – Параметри трактора ХТЗ-150К-09,172.01, які впливають на формування дотичної сили тяги та сили опору руху

Найменування параметру	Одиниці вимірювання параметру	Значення параметру
Номінальне тягове зусилля	кН	42,8
Маса трактора	кг	10346
Тип шини	-	710/70R42
Робочий тиск повітря в шині	МПа	0,08
Діаметр шини	м	1,42
Ширина шини	м	0,71
Нормальна жорсткість шини	кПа	170
Маса шини	кг	316,11

Для побудови тягових характеристик даного трактора на різних схемах руху використовувалися дані, які отримані з регуляторної характеристики двигуна останнього. Характеристики двигуна ЯМЗ–236, який застосовується на тракторах ХТЗ-150К-09,172.01 наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики двигуна ЯМЗ-236 трактора ХТЗ-150К-09,172.01

Найменування параметру	Одиниці вимірювання параметру	Значення параметру
Оберти колінчастого валу двигуна: номінальні на холостому ході мінімальні	хв^{-1}	2100 2196 1700
Ефективна потужність двигуна: на номінальних обертах на мінімальних обертах	кВт	135 155,31
Годинна витрата палива двигуном: на номінальних обертах на холостому ході на мінімальних обертах	кг/год	39,15 3,67 42,73

Для характеристики несучої поверхні, з якою взаємодіє рушій трактора, використовувалися дані, наведені в табл. 2.3.

Коефіцієнти тертя ковзання $f_{ков}$ та тертя спокою $f_{сп}$ залежать від тиску в зоні контакту рушія з опорною поверхнею.

Вирішення отриманих рівнянь здійснюється з використанням програмного комплексу MathCad. Дана програма виконує розрахунки в наступній послідовності:

- сила опору кочення колеса;
- сила опору руху трактора;
- дотична сила тяги колеса;
- дотична сила тяги всіх коліс трактора;
- сила тяги трактора;
- швидкісні параметри тягової характеристики трактора;
- показники потужності тягової характеристики трактора;
- паливно-економічні показники тягової характеристики трактора.

Таблиця 2.3 – Характеристики несучої поверхні

Найменування параметру	Одиниці вимірювання параметру	Значення параметру
Тип ґрунту	–	чорнозем звичайний
Оптимальна вологість ґрунту	%	30
Коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту	Н/м ³	2
Щільність ґрунту	кг/м ³	1,06
Критична деформація ґрунту:		
нормальна вологість	м	0,08
підвищена вологість		0,065

В розрахунках враховується наявність (відсутність) додаткового колеса на піввісі трактора, зміна вологості несучої поверхні, з якою взаємодіє рушій трактора та схема руху здвоєного колеса.

2.5.1 Порівняльна оцінка тягово-енергетичних властивостей тракторів з одинарними шинами та на здвосних шинах

На підставі тягових розрахунків графічним методом визначені тягові характеристики трактора з одинарними і здвоєними шинами при його роботі на агрофоні нормальної та підвищеної вологості (рис. 2.5 – 2.8).

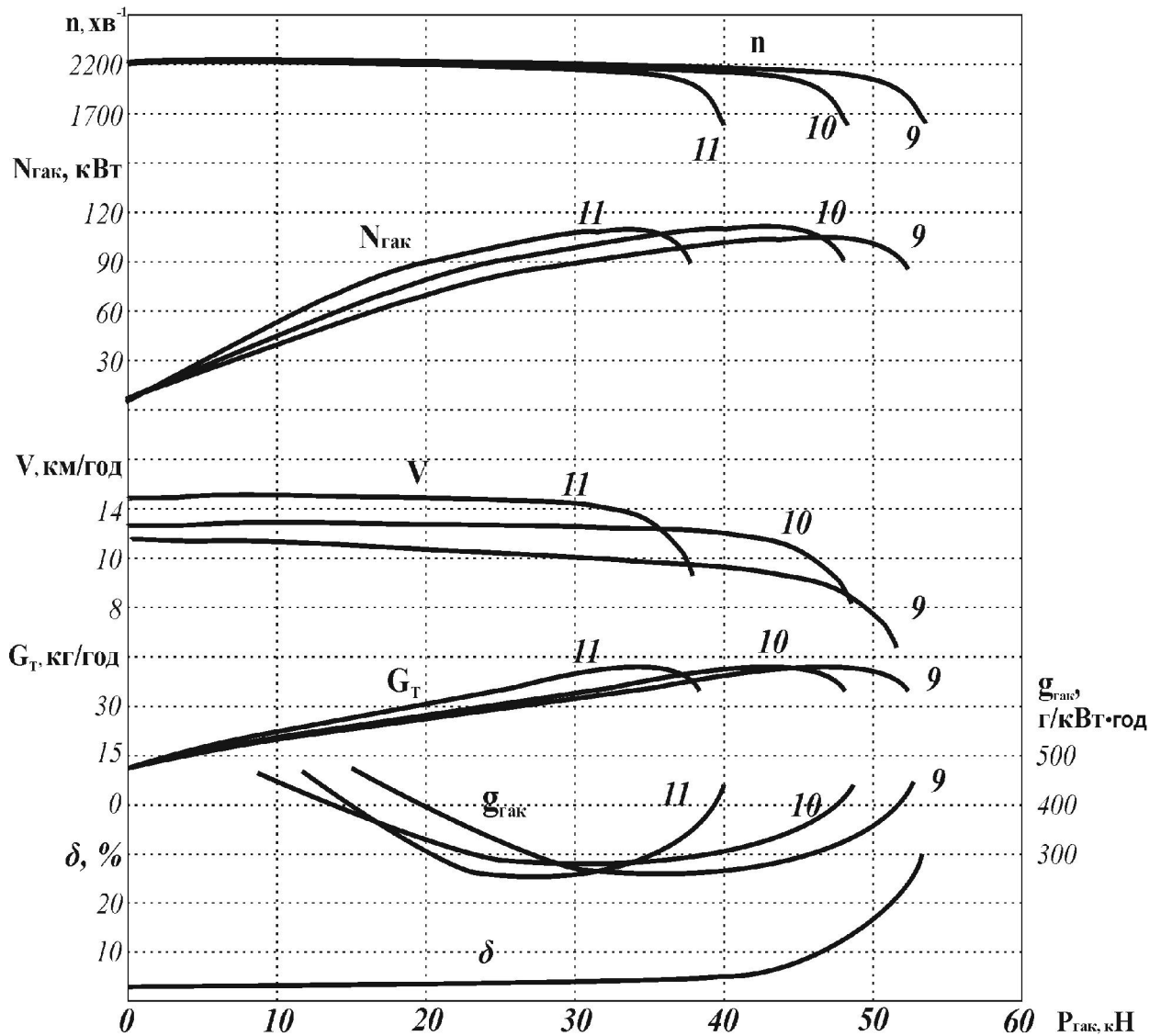


Рисунок 2.5 – Теоретична тягова характеристика трактора ХТЗ-150К-09,172.01 з одинарними шинами на агрофоні нормальної вологості

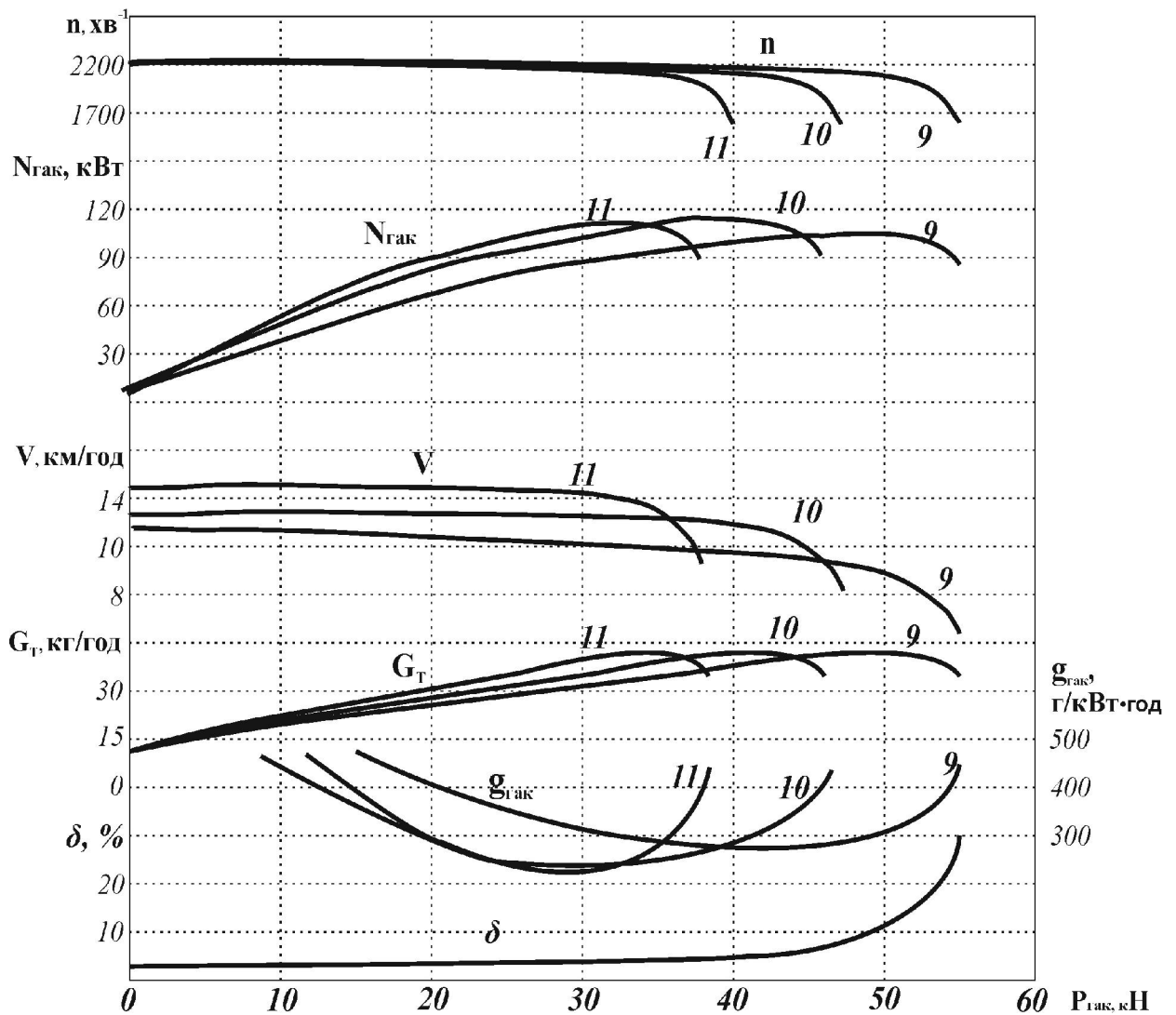


Рисунок 2.6 – Теоретична тягова характеристика трактора ХТЗ-150К-09,172.01 зі здвоєними шинами на агрофоні нормальної вологості

Результати теоретичних досліджень тягових властивостей тракторів з одинарними та здвоєними шинами на агрофоні нормальної та підвищеної вологості зведені в табл. 2.4 – 2.5.

Як видно з розрахунків, відмінність тягових характеристик трактора при його роботі з одинарними шинами від відповідних характеристик трактора, що працює зі здвоєними шинами на агрофоні вологість, якого знаходиться в допустимих межах складає не більше 5%, такий низький ефект викликаний збільшенням коефіцієнту опору перекочування пропорційно до зменшення буксування рушіїв. Таким чином, можна говорити про те, що, з точки зору тягово-зчіпних та паливно-економічних показників, трактори, що обладнані

здвоєними шинами і працюють на агрофоні нормальної вологості рівноправні з тією різницею, що здвоєвання шин зменшує негативний вплив на ґрунт.

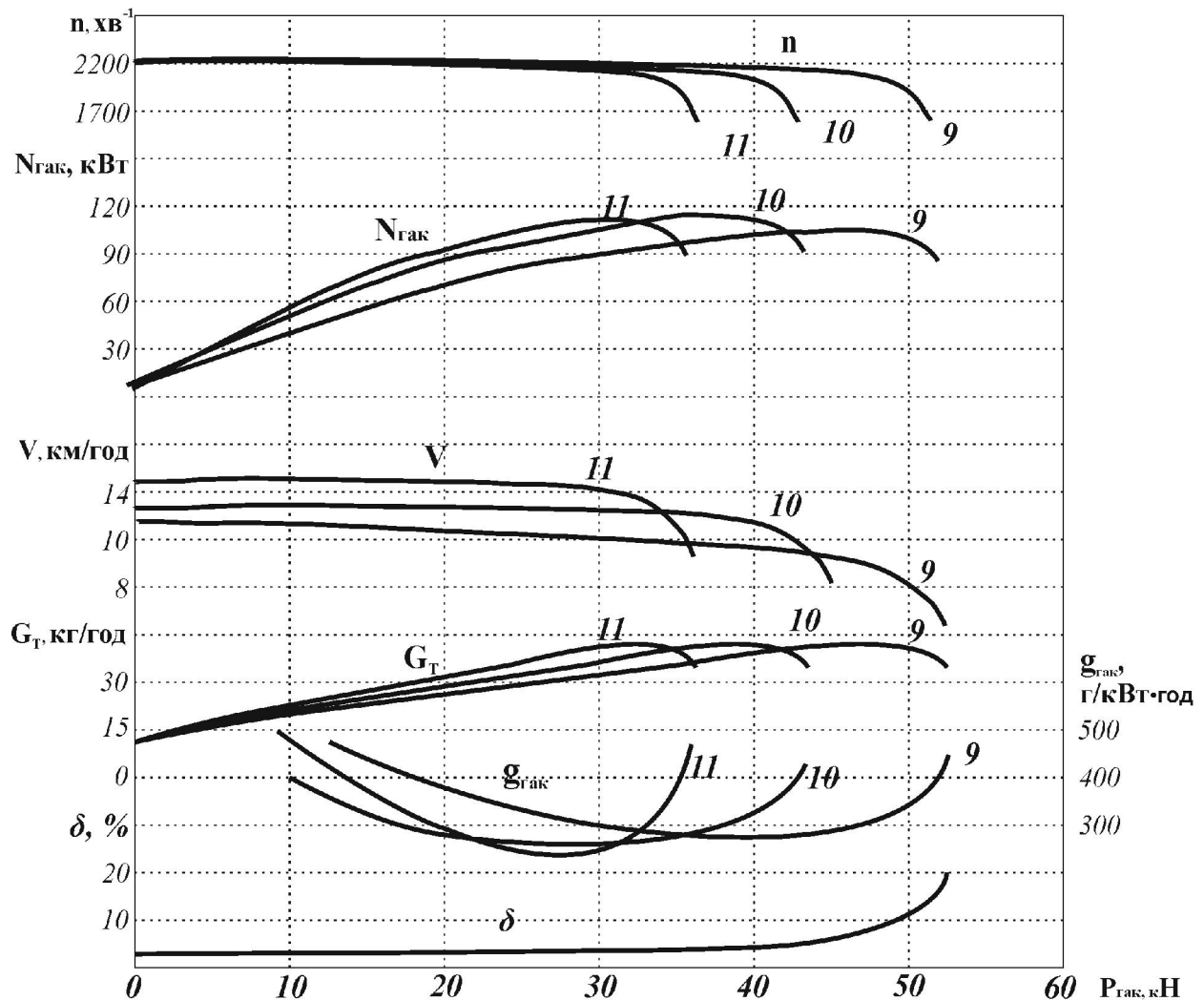


Рисунок 2.7 – Теоретична тягова характеристика трактора ХТЗ-150К-09,172.01 зі здвоєними шинами на агрофоні підвищеної вологості

На підставі порівняння тягових характеристик трактора з одинарними шинами та трактора зі здвоєними шинами в складі орного агрегату, що працює за схемою можна зробити наступні висновки.

Встановлення здвоєних шин на агрофоні нормальної вологості при роботі трактора на орних роботах сприяє збільшенню максимальної гакової потужності. При цьому максимальне значення $N_{кр\ max}$ спостерігається при роботі трактора на 9 передачі – 117,45 кВт для трактора з одинарними шинами та 122,94 кВт – зі здвоєними шинами. Як видно з теоретичного дослідження

максимальна гакова потужність трактора при встановленні здвоєних шин зростає на 5,3% в порівнянні з трактором, обладнаним одинарними шинами.

Таке збільшення гакової потужності можна пояснити збільшенням максимального гакового навантаження на розглянутій передачі на 1145,1 Н, що становить 2,4% від номінального.

Зменшення буксування при встановленні здвоєних шин в середньому на 52% призводить до збільшення максимальної швидкості агрегату з 8,76 до 8,89 км/год (на 2,4%) такий маленький ефект пояснюється низьким коефіцієнтом буксування для нормальної вологості. Проте, здвоювання коліс викликає збільшення годинної витрати палива з 39,07 кг/год до 39,6 кг/год.

Тобто можливо стверджувати, що використання здвоєних шин покращує паливо-економічні показники не суттєво і має свою доцільність, як механізм зменшення негативного впливу на ґрунт.

Таблиця 2.4 – Результати теоретичних розрахунків тягової характеристики трактора ХТЗ-150К-09,172.01 зі здвоєними шинами на агрофоні нормальної вологості

Параметр	Передача	Трактор з одинарними шинами (схема 4×4)	Трактор зі здвоєними шинами (схема 4×4)
$P_{гак\ max}$, Н	9	48240,2	49385,8
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/ГОД		8,76	8,89
$N_{гак\ max}$, кВт		117,45	121,94
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/ГОД		39,07	38,87
$P_{гак\ max}$, Н	10	41321,55	42449,8
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/ГОД		10,15	10,31
$N_{гак\ max}$, кВт		118,06	121,42
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/ГОД		38,67	38,53
$P_{гак\ max}$, Н	11	34178,58	35354,65
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/ГОД		11,85	12,32
$N_{гак\ max}$, кВт		115,16	119,77
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/ГОД		38,27	38,02

Однак встановлення здвоєних шин на агрофоні підвищеної вологості навпаки сприяє суттєвому покращенню основних паливо економічних властивостей МТА збільшенню гакової потужності трактора (на 9 передачі – максимальна) з 105,93 кВт

до 119,03 кВт (на 13,2%). Дане явище також пояснюється збільшенням максимального значення гакового навантаження трактора на 2749,69 Н.

Таблиця 2.5 – Результати теоретичних розрахунків тягової характеристики трактора ХТЗ-150К-09,172.01 зі здвоєними шинами на агрофоні підвищеної вологості

Параметр	Передача	Трактор з одинарними шинами (схема 4×4)	Трактор зі здвоєними шинами (схема 4×4)
$P_{гак\ max}$, Н	9	45828,19	48577,88
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/год		8,322	8,82132
$N_{гак\ max}$, кВт		105,9395	119,0336
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/год		41,26535	39,18315
$P_{гак\ max}$, Н	10	39255,47	41610,8
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/год		9,6425	10,22105
$N_{гак\ max}$, кВт		105,1447	118,1406
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/год		39,86335	38,27994
$P_{гак\ max}$, Н	11	32469,65	34417,83
V_{max} при $N_{гак\ max}$, км/год		11,2575	11,93295
$N_{гак\ max}$, кВт		101,5353	114,0851
G_m при $N_{гак\ max}$, кг/год		39,46135	38,17673

Буксування трактора обладнаного одинарними шинами при виконанні робіт на агрофоні підвищеної вологості збільшується в середньому до 14%, що майже виходить за допустимі межі, а використання трактора зі здвоєними шинами призводить до зменшення буксування на 51-56%.

Зниження буксування рушіїв трактора дозволяє збільшити швидкість останнього з 8,32 до 8,82 км/год та зменшити годинну витрату палива з 41,26 кг/год до 39,18 кг/год (на 5%) .

Поліпшення характеристик трактора зі здвоєними шинами можна пояснити перерозподілом дотичних сил тяги по бортах трактора, що призводить до поліпшення роботи правого борту за рахунок зменшення площі плями контакту рушія з опорною поверхнею, а отже збільшення зчіпних властивостей колеса при збільшенні тиску в розглянутій плямі контакту.

Виходячи зі значень гакової витрати палива та швидкості руху агрегату, які наведені на рис. 2.5 – 2.7, можна стверджувати, що для виконання орного технологічного процесу найбільша ефективність з точки зору тягово-зчіпних властивостей спостерігається на 9 передачі робочого діапазону трактора.

2.5.2 Аналіз умов обладнання трактора здвоєними шинами

Основним критерієм роботи рушія по пластичній поверхні є його буксування. Згідно ГОСТ 7057-2001 [34] для колісного рушія існує гранично допустиме значення буксування, яке не повинно перевищувати 25%.

На основі розробленої математичної моделі формування дотичної сили тяги здвоєного колеса отримана залежність буксування рушіїв від вагової вологості ґрунту в орному шарі (рис. 2.8).

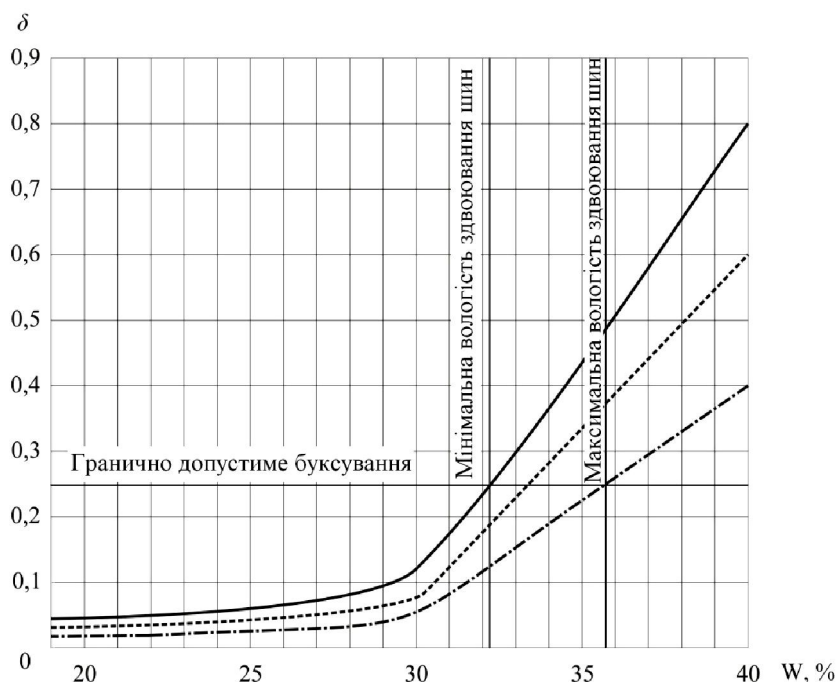


Рисунок 2.8 – Залежності буксування δ здвоєних рушіїв трактора від вагової вологості ґрунту W в орному шарі при русі орного агрегату на гоні

Як видно з рис. 2.8, для трактора з оди́нарними шинами таке буксування настає при ваговій вологості орного шару в 32,2%. Тому експлуатація такого трактору на ґрунті з вологістю вище даного значення неможлива. Буксування рушіїв в інтервалі вагової вологості роботи плугів (до 35%) не перевищує

гранично допустимого значення тільки для орних агрегатів, трактора яких обладнані здвоєними колесами.

Таким чином, можна казати, що найефективніша робота орного агрегату на агрофоні підвищеної вологості можлива з застосуванням здвоєних колес. При цьому інтервал робочої вагової вологості здвоєних шин при даній схемі руху складає 25,2...35,7%. Робота трактора на здвоєних шинах при ваговій вологості орного шару менше 25,2% недоцільна, так як тяга по двигуну може бути забезпечена й одинарними шинами. Робота такого трактора при вологості більше 35,7% призводить до значного руйнування структури ґрунту.

2.5.3 Тяговий розрахунок трактора зі здвоєними шинами за зчепленням

Сила зчеплення колеса з ґрунтом визначається трьома складовими:

- силою тертя матеріалу шини з ґрунтом P_m ;
- силою внутрішнього зчеплення P_c ;
- силою тертя часток ґрунту P_{φ_0} :

$$P_{\varphi} = P_m + P_c + P_{\varphi_0}$$

Сила тертя матеріалу шини з ґрунтом залежить від навантаження, яке припадає на опорну поверхню ґрунтозачепів, та коефіцієнта тертя резини по ґрунту [23]:

$$P_m = k_n G_i \varphi_p,$$

де k_n – коефіцієнт насичення рисунку протектора, що визначає частку навантаження, яке припадає на ґрунтозачеп;

φ_p – коефіцієнт тертя резини по ґрунту.

Сила внутрішнього зчеплення часток ґрунту може бути визначена з залежності [23]:

$$P_c = c_0 S (1 - k_n),$$

де c_0 – коефіцієнт внутрішнього зчеплення ґрунту, кг/м²×с²;

S – площа плями контакту рушія з опорною поверхнею, м².

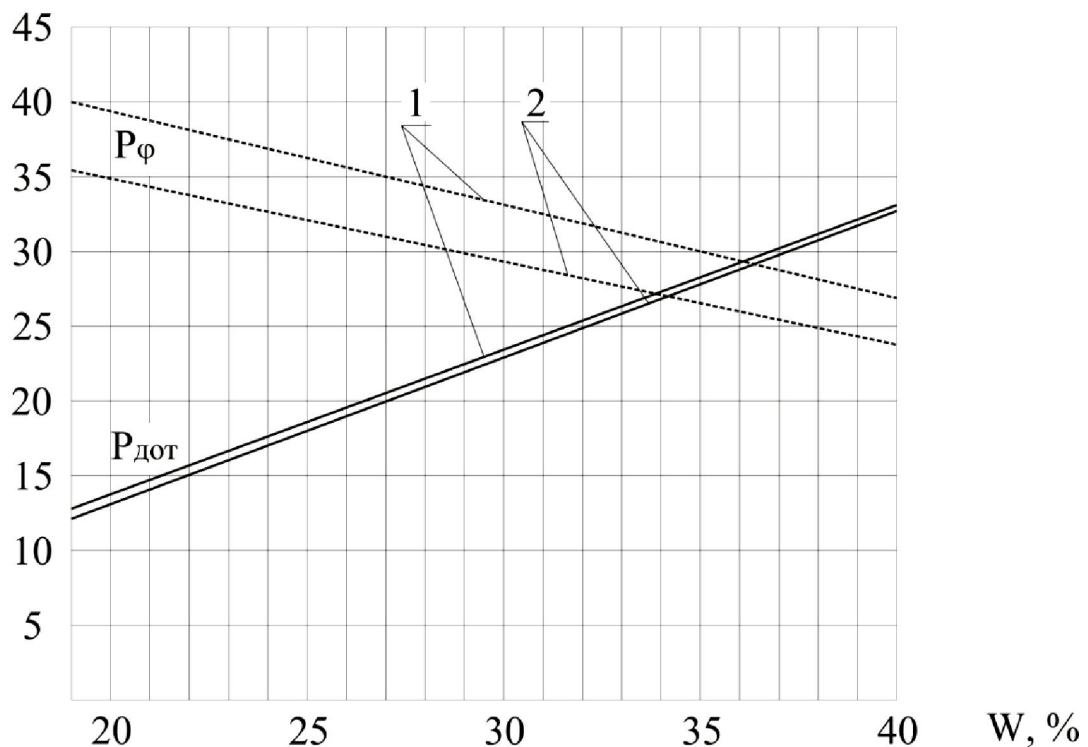
Сила внутрішнього тертя в ґрунті [23]:

$$P_{\varphi_0} = \varphi_0 G_i (1 - k_n),$$

де φ_0 – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту.

Таким чином коефіцієнт зчеплення в значній мірі визначається коефіцієнтом насиченості протектору та різними параметрами ґрунту.

$P_\varphi, P_{\text{дот}}, \text{кН}$



1 – здвоєні колеса; 2 – одинарні колеса.

Рисунок 2.9 – Залежності дотичної сили тяги $P_{\text{дот}}$ та сили зчеплення P_φ від вагової вологості орного шару ґрунту для руху орного агрегату

Для більшості ґрунтів сумарне значення $c_0 + \varphi_0$ більше φ_p , тобто основний вплив на значення коефіцієнту зчеплення чинять сили внутрішнього зчеплення та тертя часток ґрунту. Для таких ґрунтів коефіцієнт зчеплення значно підвищується зі зменшенням коефіцієнту насиченості рисунку протектора, тобто при використанні досить розчленованого протектора.

Саме тому для тракторів, які працюють на м'якому ґрунті, використовують шини, у яких $k_n = 0,15 \dots 0,25$.

Умовою роботи рушія за зчепленням є збереження значення дотичної сили тяги колеса вище значення сили зчеплення з ґрунтом.

Проведений тяговий розрахунок за зчепленням показав можливість використання трактора без здвоювання коліс на визначеному інтервалі вологості (рис. 2.9).

Також встановлено, що для здвоєних коліс граничне значення вологості ґрунту за зчепленням є вологість в 36,2%, а для одинарних – 32%. Отже здвоювання коліс має більший інтервал вологості ґрунту для виконання технологічного процесу.

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Фактори, що впливають на умови праці механізатора при експлуатації трактора ХТЗ-150К-09,172.01

При виконанні сільськогосподарських робіт умови праці механізатора залежать від багатьох факторів, що діють при роботі агрегату. До таких факторів відносяться: шум від роботи агрегату, підвищена або знижена температура, забруднення повітря вихлопними газами й іншими шкідливими речовинами, підвищений вміст пилу в повітрі, вібрація. Усі ці фактори, діють негативно на здоров'я механізатора, що у свою чергу відбивається на якості виконання технологічного процесу. Механізатор швидко стомлюється, стає дратівливим, знижується уважність. Ці зміни в організмі людини можуть привести до травм та нещасного випадку.

Розробити систему заходів щодо зниження впливу шкідливих факторів – основна задача безпека життєдіяльності.

При експлуатації машинно-тракторного агрегату необхідно контролювати визначені параметри й умови, від яких залежить безпечна експлуатація машин. Безпека оцінюється контрольним оглядом і виміром, тобто контролем визначених показників. Перевіряється комплектність (ЗІП, аптечка, термос, склоочисники, цілісність стекол і огорожень, зовнішні сигнально-освітлювальні прилади і т.д.), а також дія шкідливих факторів, повітря, пилу. Усі контрольовані параметри повинні відповідати ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», ДСН 3.3.6.039-99 «Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»

3.2 Пожежна безпека машинно-тракторного агрегату

Незважаючи на те, що майже всі деталі трактора зроблені з металу, він може зайняти. На тракторі горить фарба, пил, бруд просочені паливом і олією, рослинні залишки, що знаходяться на неочищеному тракторі, оббивка кабіни і

сидіння, паливо, олія й ін. Особливу небезпеку являють собою баки з пусковим і основним паливом.

Трактори заправляють паливозаправниками при заглушених двигунах і тільки у світлий час доби. У нічний час заправлення заборонене. При заправленні і перевірці рівня палива мірними лінійками забороняється користуватися відкритим вогнем і курити.

Не можна допускати підтікання палива й оливи з трубопроводів, баків і картерів. Місця заміни палива і оливи необхідно ретельно витирати насухо, щоб на деталях трактора не залишалось підтікань.

Трактор повинний бути обладнаний засобами пожежогасіння, зокрема вогнегасником. При експлуатації машинно-тракторного агрегату необхідно неухильно виконувати всі основні вимоги правил протипожежної безпеки.

3.3 Охорона навколишнього середовища

Зі збільшенням кількості техніки зокрема в сільському господарстві, важливою проблемою стало зменшення шкідливих викидів, що забруднює навколишнє середовище. Основними забрудненнями в результаті господарської діяльності людини в сільському господарстві є забруднення пально-мастильними матеріалами, отрутохімікатами і викидами вихлопних газів. У сільському господарстві більша кількість двигунів внутрішнього згорання, установлених на техніку – це дизельні.

Незважаючи на те, що викиди з дизельних двигунів (молекула вуглецю і діоксиду сірки) піддаються керуванню, викиди оксиду азоту і часток диму залишаються проблемою. Викиди у виді диму складаються в більшості із сульфатів, що можуть взаємодіяти з атмосферною вологою, утворити сірчану кислоту – одного з головних компонентів кислотного дощу.

На даному етапі наука працює над так називаною технологією, «швидке спалювання забруднювальних сумішей». В експериментальних двигунах спалюється збіднена паливна суміш у циліндрах, спеціально спроектованих для досягнення турбулентного горіння суміші. При турбулентному горінні

швидкість поширювання полум'я набагато вище, що сприяє більш повному згорянню, а потужність на вихідному валу може бути збільшена за допомогою звичайного турбонаддуву.

Також для зменшення шкідливих викидів вихлопних газів застосовуються на двигунах допалювачі вихлопних газів. За допомогою такого допалювача відбувається нейтралізація газів, що у свою чергу зменшує кількість шкідливих викидів в атмосферу з відпрацьованими газами.

Для зменшення забруднення навколишнього середовища отрутохімікатами необхідно щоб резервуари, арматура, техніка транспортуюча їх, були в справному стані. Не можна допускати розливів отрутохімікатів і потрапляння їх у штучні і природні водойми.

Зменшити забруднення паливо-мастильними матеріалами навколишнього середовища за допомогою організованого і правильного заправлення МТА. При проведенні ТО необхідно зливати відпрацьовані олії в спеціально призначені резервуари. Стік мийних вод не повинний бути в штучні і природні водойми. Вода повинна йти на повторне використання після відповідного очищення.

3.4 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Агропромисловий комплекс України — це цілісна народногосподарська система взаємопов'язаних у своєму розвитку галузей, які забезпечують виробництво сільськогосподарської сировини та продовольства, їх заготівлю, зберігання, переробку та реалізацію населенню. Ядро агропромислового комплексу складають галузі сільського господарства. Основною з них є рослинництво, призначення якої — виробництво рослинницької продукції з метою одержання продовольства для населення і сировини для промисловості. Зараз ця галузь знаходиться на старті нового сезону виробництва — здійснення комплексу весняно-польових робіт, якісне виконання яких створює передумови високих результатів сільськогосподарської діяльності. Весняно-польові роботи — напружений етап річного циклу агропромислового виробництва, адже у березні — квітні сільськогосподарськими підприємствами виконується

близько третини річного обсягу тракторних і майже така ж частка транспортних робіт у полі. Основним нормативно-правовим актом, який регламентує безпечне виконання робіт у сільськогосподарському виробництві, є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26 листопада 2012 р. № 1353.

Умови праці у сільськогосподарському виробництві мають певні особливості. Здебільшого польові роботи виконуються на значній відстані від центральної садиби і тракторної бригади. Через це знижується контроль за безпекою праці та життєдіяльності працівників з боку адміністрації господарства. У цих умовах підвищується особиста відповідальність механізаторів за безпеку проведення сільськогосподарських робіт. Разом з тим поживляються й інші роботи в агропромисловому виробництві. Зростає, порівняно із зимовими місяцями, кількість зайнятих на ручних роботах працівників, насамперед на технологічному обслуговуванні та забезпеченні роботи посівних та інших машинно-тракторних агрегатів. Все це об'єктивно збільшує вірогідність травматизму, особливо при недотриманні правил техніки безпеки та охорони праці й неналежній організації робіт.

Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні сільськогосподарських робіт

Основними шкідливими та небезпечними факторами при проведенні цих робіт є:

- технічна несправність тракторів і сільськогосподарських машин
- виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач;
- виконання робіт на відкритому повітрі, при підвищеній або низькій температурі повітря;
- підвищений рівень шуму та вібрацій;— підвищена забрудненість повітря пилом;
- наявність отрутохімікатів;— ризик контакту з отруйними рослинами, небезпечними комахами та тваринами;— схили полів, наявність перешкод у вигляді ям, ярів;

- рухомі агрегати;
- пожежна небезпека;
- нервово-психічні перевантаження.

Профілактика нещасних випадків та загальні особливості безпеки при роботі з сільськогосподарськими машинами

1. З метою запобігання порушенням, які можуть призвести до нещасних випадків та інших надзвичайних ситуацій, напередодні проведення сільськогосподарських робіт необхідно:

- призначити відповідальних осіб за організацію безпечної експлуатації обладнання та виконання робіт в структурних підрозділах;
- організувати та провести семінари-навчання працівників безпечним методам роботи;
- провести інструктажі з охорони праці з усіма працівниками, зайнятими у виробничих процесах;
- забезпечити працівників спецодягом, засобами індивідуального захисту, аптечкою, питною водою та засобами пожежогасіння;
- визначити та обладнати місця для відпочинку, споживання їжі та куріння;
- не допускати до роботи осіб, які не пройшли медичний огляд, хворих, перевтомлених, осіб, які перебувають в нетверезому стані, та які не пройшли інструктажі та навчання з охорони праці;
- до виконання технологічних процесів не допускати машини і обладнання, які мають технічні несправності.

2. Причіп та навіску машин і обладнання на трактор необхідно виконувати удвох. Робітник, який здійснює зчіпку (навіску), не повинен стояти на шляху руху трактора до машин, а зчіпку починати тільки після сигналу тракториста.

3. Тракторист повинен вести трактор на пониженій передачі, на малих обертах двигуна, без ривків, слідкувати за зчіпками і весь час тримати ногу на педалі

головної муфти зчеплення. З'єднувати причіпну сергу з причіпним пристроєм машин потрібно тільки при зупиненому тракторі і вимкненій передачі.

4. Сівалки і посадкові машини повинні мати:

- перила за спиною сівальника — на висоті 1 м, якщо причіплені борони котки, шлейфи тощо;
- захисні огороження зубчатих і ланцюгових передач;
- пристосування для очищення робочих органів;
- засоби двосторонньої сигналізації.

5. Пересування агрегатів до місця роботи і виконання робіт повинні виконуватися у відповідності з заздалегідь розробленими маршрутами й технологією, затвердженими керівником або відповідним головним спеціалістом господарства (підприємства), з якими повинні бути ознайомлені при проведенні інструктажу всі механізатори, які будуть брати участь у виконанні певного виду робіт.

6. При груповій роботі машин із числа працівників призначається старший:

- на машинно-тракторному агрегаті — старший тракторист-машиніст;
- на самохідних комбайнах — комбайнер;
- у виробничих приміщеннях (на виробничих майданчиках) — механік.

7. При роботі на ґрунтооброблювальних машинах можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі агрегати і машини;
- рухомі частини машин: причіпні (навісні) пристрої, робочі органи, пружини, механізми передачі руху, колеса тощо;
- робоча рідина гідросистеми;
- незакриті ями, колодязі, зрошувачі тощо;
- підвищена концентрація пилу, мінеральних добрив в повітрі робочої зони;
- несприятливі метеорологічні умови.

Технічне обслуговування машин і механізмів

1. Технічний стан ґрунтооброблювальних машин і пристроїв для очищення робочих органів повинен відповідати вимогам безпеки. Захисні огороження, робочі органи, циліндри і шланги гідравлічної системи повинні бути справними та надійно закріпленими. Гайки вісі в дискових луцильників і борін, катків повинні бути затягнуті й зафіксовані. Скребки (чистики) дисків мають бути гострими і встановлені з зазором 2–4 мм від поверхні диска.
2. Зубові борони повинні бути приєднані до машини так, щоб їх зуби скошеним ребром були направлені в сторону руху агрегату. Це поліпшує їх самоочищення під час роботи від залишків рослин. Залишати борони зубами вверх, навіть на короткий час, забороняється.
3. Перед початком руху агрегату, включенням гідросистеми або валу відбору потужності трактора необхідно подати сигнал (отримати зворотній сигнал, якщо агрегат обладнано засобами двосторонньої сигналізації), впевнитися, що це нікому не загрожує, і тільки після цього виконувати необхідні дії.
4. Заглиблення робочих органів повинно виконуватися тільки на ходу агрегату. Управління гідросистемою необхідно виконувати тільки із сидіння трактора.
5. При роботі на тракторі з навісною машиною не дозволяється її піднімати з включеним валом відбору потужності і включати вал відбору потужності при транспортному положенні машини (знаряддя).
6. В процесі роботи агрегату необхідно періодично перевіряти надійність причіпки (навіски) причіпної машини, кріплення і роботу робочих органів.
7. Заправляти машину, замінювати, регулювати й очищати робочі органи від зайвих предметів, земляних глиб, налиплого ґрунту і залишків рослин необхідно виконувати тільки спеціальними чистиками при вимкненому двигуні.
8. При заправці машин пиловидними добривами необхідно розташовувати заправник добрив з підвітряної сторони машини.
9. При обробці ґрунту з одночасним внесенням пестицидів необхідно

попередньо перемішати розчин пестициду протягом 2–3 хв. За допомогою насоса відкрити запірний клапан, включити подачу робочого розчину в магістраль, подати сигнал про початок руху і тільки після початку руху заглибити робочі органи у ґрунт.

10. Перед початком маневрування агрегату (поворот, розворот) необхідно впевнитися, що в радіусі руху агрегату не знаходяться люди, а потім переводиться машина (робочі органи) в транспортне положення. Маневрування заднім ходом з заглибленими робочими органами забороняється. Після закінчення маневрування на початку прямолінійного руху необхідно перевести машину (робочі органи) в робоче положення.

11. При аварійній ситуації необхідно негайно зупинити агрегат, загальмувати й вимкнути двигун трактора.

12. Не дозволяється залишати без нагляду ґрунтооброблювальний агрегат з увімкненим двигуном трактора. При тривалій зупинці агрегату необхідно його загальмувати, опустити робочі органи і вимкнути двигун.

13. Найбільш небезпечним при обслуговуванні ґрунтооброблювальних машин та механічному оброблянні ґрунту (оранка, культивація) є очищення робочих органів, тому його необхідно здійснювати при зупиненому агрегаті, опущених робочих органах та в рукавицях із застосуванням спеціальних чистиків.

14. Керувати робочими органами, а також переводити їх в робоче або транспортне положення необхідно тільки з кабіни трактора. При заміні робочих органів (лемішів, лап та ін.) рама причіпної чи навісної машини повинна бути встановлена на надійні підставки.

15. У разі наявності на ґрунтооброблювальних машинах сидінь, вони обладнуються страхувальними поясами та опорами для ніг.

16. Завантаження сівалок посівним матеріалом та добривами потрібно виконувати тільки за допомогою механічної заправки.

17. При застосуванні гербіцидів та пестицидів для обробляння безпосередньо в полі необхідно обов'язково пересвідчитись, що в зоні роботи агрегату та на прилеглих полях не працюють люди, а в разі виконання на цих полях

агротехнічних операцій витримати карантинні строки, які встановлені на певний вид пестицидів.

18. На навісних сівалках забороняється обслуговування одним працівником більше однієї сівалки.

19. Сівальник під час виконання робіт повинен бути одягнений в спецодяг, спецвзуття, використовувати ЗІЗ (захисні окуляри і респіратор).

20. Забороняється:

— сівальнику під час руху агрегату переходити з сівалки на сівалку, сидіти на насінневих ящиках, працювати при знятих огорожах, очищати руками робочі органи;

— застосовувати працю осіб молодше вісімнадцяти років на важких роботах і на роботах зі шкідливими або небезпечними умовами праці;

— залучати неповнолітніх до нічних, надурочних робіт і робіт у вихідні та до піднімання й переміщення вантажів, маса яких перевищує встановлені для них граничні норми.

Необхідною умовою успішного проведення комплексу сільськогосподарських робіт та збереження людського потенціалу є здійснення належного контролю за підлеглими працівниками та суворе дотримання ними трудової та виробничої дисципліни, правил охорони праці та пожежної безпеки.

Особливості виконання робіт за різних погодних умов

1. Обприскування проводять вранці і ввечері при найменших повітряних потоках, а у хмарну погоду — протягом світлого періоду доби.

2. У жарку погоду всі роботи з пестицидами необхідно проводити в ранні години, у похмуру — протягом всього робочого дня. При внесенні надзвичайно небезпечних і високонебезпечних препаратів робота причіплювачів забороняється.

3. Під час виконання робіт забороняється:

- заміна, регулювання та очищення робочих органів машин при ввімкненому двигуні трактора,
- виконання робіт після того, як будуть опущені або встановлені на підставки робочі органи;
- експлуатація машин без передбачених конструкцією огорож рухомих елементів;
- ґрунтообробка полів до виконання підготовчих робіт (вивезення каміння, засипка ям та інших перешкод; відбиття поворотних смуг).

4. При виявленні вибухонебезпечних предметів (снарядів, мін, гранат тощо) всі роботи на ділянках повинні бути негайно призупинені, межі ділянки позначені попереджувальними знаками «Обережно! Небезпека вибуху». На ділянці повинна бути організована охорона, а в органи МВС необхідно негайно передати повідомлення.

5. На ділянках полів і доріг, над якими проходять повітряні лінії електропередач (ЛЕП), проїзд і робота машин дозволяється у разі, коли відстань від найвищої точки машини чи вантажу на транспортному засобі до проводу не менше:

Напруга ЛЕП, кВ	до 1	1–20	35–100	154	220	330	500
Відстань по горизонталі, м	1,5	2	4	5	6	7	9
Відстань по вертикалі, м	1	2	3	4	5	6	7

6. На дорогах, у місцях перетину з повітряними ЛЕП напругою 330 кВ і вище повинні встановлюватися дорожні знаки, які забороняють зупинку транспорту в охоронних зонах цих ліній.

7. Щоб не бути ураженим розрядом блискавки, роботу на машинах під час грози необхідно припинити. Якщо близько є закриті приміщення (сарай, будинок, барак), то необхідно заховатися в ньому; при цьому вікна й двері приміщень повинні бути закритими.

8. Забороняється також перебувати поблизу електричних і телефонних проводів, поряд з підвищеними над землею одиничними предметами (деревами, машинами, опорами електропередач, стогами сіна, соломи). За відсутності сховищ необхідно перчекати грозу на землі на відстані не менше 80 м від машини.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗДВОЮВАННЯ ШИН ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ НА АГРОФОНІ ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ

Використання здвоювання шин при виконанні технологічних операцій ґрунтообробними сільськогосподарськими агрегатами на агрофоні нормальної та підвищеної вологості забезпечує підвищення їх тягово-зчіпних та потужностно-економічних показників. На ряду з цим, при русі орного агрегату зі здвоєними шинами на розглянутих агрофонах динамічні властивості МТА не порушуються.

В результаті здвоювання шин знижується механічний вплив на ґрунт рушіїв трактора, що призводить до зменшення його деградації. Як наслідок усього перерахованого вище, за підсумками проведених експериментів, при виконанні технологічного процесу збільшується продуктивність ґрунтообробних агрегатів.

Трактор ХТЗ-150К-09,172.01 з одинарними шинами на оранці на агрофоні нормальної вологості по продуктивності (га/год) поступається трактору ХТЗ-150К-09,172.01 зі здвоєними шинами на 6,2% (табл. 4.1). На агрофоні підвищеної вологості дане співвідношення становить 15,23%. Економія палива при встановленні здвоєних шин на орні агрегати на розглянутих агрофонах становить у середньому 5%.

Критерієм ефективності техніки, при однаковій якості роботи альтернативних варіантів, а також однакових обсягах та якості продукції, є оцінка мінімуму приведених витрат.

При використанні здвоєних шин знижується механічний вплив на ґрунт та, як наслідок, підвищується врожайність сільськогосподарських культур у середньому на 5%. Тому оцінка економічної ефективності здвоювання шин проводиться за критерієм приведених витрат з урахуванням вартості отриманої додаткової продукції.

Таблиця 4.1 – Продуктивність тракторів ХТЗ-150К-09,172.01 з одинарними та здвоєними шинами у складі орного агрегату на агрофоні нормальної та підвищеної вологості

Склад агрегату	Кількість коліс	V , км/год	Ширина захвату, м	Продуктивність, га/год
нормальна вологість				
ХТЗ-150К-09,172.01 + ПЛН 5-35	4	8,76	2,0	1,75
	8	8,9	2,0	1,78
підвищена вологість				
JOHN DEERE 8130 + GREGOIRE BESSON SPB-9	4	8,3	2,0	1,66
	8	8,82	2,0	1,76

Значення річного економічного ефекту визначиться з виразу:

$$E_z = [(S_0 + E_H K_{y0}) - (S_1 + E_H K_{y1}) + \Delta U C_{np}] W_1 T_1, \quad (4.1)$$

де S_0 та S_1 – відповідно експлуатаційні витрати базового та запропонованого агрегатів у розрахунку на одиницю роботи, грн;

K_{y0} та K_{y1} – питомі капіталовкладення на відповідні агрегати, грн/га;

$E_H = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

ΔU – підвищення сільськогосподарської культури при використанні трактора, обладнаного здвоєними шинами, ц/га;

C_{np} – ціна одиниці отриманої продукції, грн/ц;

W_1 – продуктивність агрегату зі здвоєними шинами за годину змінного часу, га/год;

T_1 – нормативна річна завантаженість трактора зі здвоєними шинами на технологічній операції, год.

Експлуатаційні витрати агрегату на виконання технологічної операції в розрахунку на одиницю виконаної роботи визначається за формулою:

$$S = Z + \Gamma + T_p + A, \quad (4.2)$$

де Z – оплата праці механізаторів з нарахуваннями, грн.;

Γ – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн.;

T_p – вартість поточних, капітальних ремонтів та технічного обслуговування, грн;

A – амортизаційні відрахування, грн.

Величини, що входять до розглянутої формули визначаються наступним чином.

Оплата праці персоналу, що обслуговує агрегат:

$$Z = \frac{Z_m n K_m}{W}, \quad (4.3)$$

де Z_m – годинна тарифна ставка оплати праці механізатора, грн/год;

n – кількість механізаторів, які обслуговують агрегат, чел;

$K_m = 1,65$ – коефіцієнт, що враховує підвищення розцінок, надбавки за класність, стаж, якість роботи, нарахування на заробітну плату тощо;

W – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів, використаних на виконання одиниці роботи:

$$\Gamma = qЦ, \quad (4.4)$$

де q – витрати палива при виконанні технологічної операції, кг/га;

$Ц$ – комплексна ціна палива, включаючи вартість необхідної кількості мастила, грн/кг.

Відрахування на поточний, капітальний ремонт та технічне обслуговування агрегату в розрахунку на одиницю роботи:

$$T_p = \frac{1}{100W} \left(\frac{B_m \cdot \mathcal{C}_m}{T_m} + \frac{B_m \cdot \mathcal{C}_m \cdot n_m}{T_m} \right), \quad (4.5)$$

де B_m та B_m – балансова вартість трактора та сільськогосподарської машини відповідно, грн;

\mathcal{C}_m та \mathcal{C}_m – норма відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування тракторів і сільськогосподарських машин, %;

n_m – кількість сільськогосподарських машин в агрегаті, шт.

Амортизаційні відрахування по сільськогосподарському агрегату:

$$A = \frac{1}{100W} \left(\frac{B_m a_m}{T_m} + \frac{B_m a_m n_m}{T_m} \right), \quad (4.6)$$

де a_m та a_m – норма амортизаційних відрахувань на трактор та сільськогосподарську машину, %.

Питомий обсяг капіталовкладень по сільськогосподарському агрегату визначається за формулою:

$$K_y = \frac{1}{W} \left(\frac{B_m}{T_m} + \frac{B_m n_m}{T_m} \right). \quad (4.7)$$

Економічне обґрунтування ефективності здвоювання шин на агрофоні нормальної та підвищеної вологості виконується за трьома ґрунтообробними агрегатами на агрофоні нормальної та підвищеної вологості. За базовий варіант береться ґрунтообробний агрегат з одинарними шинами на базі трактора ХТЗ-150К-09,172.01.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту використання здвоєних шин за станом на 2016 рік наведено в табл. 4.2.

На підставі вихідних даних, наведених у табл. 4.2, проведений розрахунок за станом на 2016 рік економічної ефективності встановлення здвоєних шин на агрофоні нормальної та підвищеної вологості (табл. 4.3).

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

Найменування показника	Кількість коліс	
	4	8
Нормальна вологість		
Продуктивність, га/год	1,75	1,78
Витрата палива, кг/га	22,32	20,79
Вартість трактора, грн	2600000	2600000
Вартість пристрою для здвоювання шин, грн	–	5530
Вартість знаряддя, грн.	421 607	421 607
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Кількість знарядь в агрегаті, шт.	1	1
Годинна тарифна ставка, грн/год	9,19	9,19
Комплексна ціна палива, грн/кг	3,72	3,72
Річне завантаження трактора, год	1700	1700
Річне завантаження знаряддя, год	480	480
Підвищення врожайності, ц/га	–	1
Економія палива, кг/га	–	1,53
Підвищена вологість		
Продуктивність, га/год	1,66	1,76
Витрата палива, кг/га	24,88	21,21
Вартість трактора, грн	2600000	2600000
Вартість пристрою для здвоювання шин, грн	–	5530
Вартість знаряддя, грн.	421 607	421 607
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Кількість знарядь в агрегаті, шт.	1	1
Годинна тарифна ставка, грн/год	9,19	9,19
Комплексна ціна палива, грн/кг	3,72	3,72
Річне завантаження трактора, год	1700	1700
Річне завантаження знаряддя, год	480	480
Підвищення врожайності, ц/га	–	1
Економія палива, кг/га	–	3,67

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку економічного ефекту

Найменування показника	Кількість коліс	
	4	8
Нормальна вологість		
Експлуатаційні витрати, грн/га	108,51	102,2
Додаткові капіталовкладення, грн.	–	5530
Питомі капіталовкладення, грн/га	838,1	828,9
Додатково отримана продукція, т	–	8
Вартість додаткової продукції, грн	–	1360
Річний економічний ефект за зведеними витратами разом з додатковою продукцією, грн	–	33756
Строк окупності пристрою для здвоювання шин	–	0,39
Підвищена вологість		
Експлуатаційні витрати, грн/га	119,2	104,1
Додаткові капіталовкладення, грн.	–	5530
Питомі капіталовкладення, грн/га	883,5	833,3
Додатково отримана продукція, т	–	8
Вартість додаткової продукції, грн	–	1360
Річний економічний ефект за зведеними витратами разом з додатковою продукцією, грн	–	33380,2
Строк окупності пристрою для здвоювання шин	–	0,37

ВИСНОВКИ

На основі проведених розрахунків та експериментальних досліджень орного агрегату на агрофоні нормальної та підвищеної вологості встановлено, що з точки зору тягово-енергетичних показників схеми 2×1 та $2 \times 1,5$ рівноправні. Найбільша ефективність орного агрегату спостерігається при виконанні технологічного процесу зі швидкістю $8,3 \dots 8,9$ км/год, що відповідає 9 передачі робочого діапазону трактора. Інтервал вагової вологості ґрунту, при якому спостерігається найкраща робота орного агрегату на базі трактора зі здвоєними шинами при схемі руху $2 \times 1,5$ складає $25,2 \dots 36,2\%$. Робота трактора на здвоєних шинах при схемі руху $2 \times 1,5$ та ваговій вологості орного шару менше $25,2\%$ недоцільна, так як тяга по двигуну може бути забезпечена й одинарними шинами без суттєвого погіршення структури ґрунту. Робота трактора зі здвоєними шинами при виконанні орних робіт на агрофоні з ваговою вологістю більше $36,2\%$ неможлива, тому що буксування рушіїв перевищує гранично допустиме значення – 25% .

На основі проведених теоретичних досліджень запропоновані конструктивні рішення по здвоюванню шин трактора ХТЗ-150К-09.172.01 за допомогою гаків та барабану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Байков Б.П. Дизели. Справочник / [Байков Б.П., Ваншейдт В.А., Воронов И.П., Гендлер Л.В. и др.] – Под общ. ред. Ваншейдта В.А., Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
2. Барам Х.Г. Научные основы технического нормирования механизированных полевых работ / Барам Х.Г. – М.: БТИ ГОСНИТИ, 1968 – 152 с.
3. Бугайченко Н.В. Справочник пахаря / Бугайченко Н.В. – М.: Россельхозиздат, 1971. – 135 с.
4. Виноградов В.И. О почвенных факторах, определяющих износ почворезущих рабочих органов / В.И. Виноградов // Труды ЧИМЭСХ. – 1970. – Вып. 43 – Ч. 1. – С. 41– 45.
5. Вирабов Р.В. Об оценке сопротивления качению упругого колеса по жесткому основанию / Вирабов Р.В. // сб. науч. тр. Известия ВУЗов – М.: Машиностроение, 1967. – № 7 – с. 93 – 98.
6. Войтиков А.В. О влиянии ширины и наружного диаметра шины на тягово-сцепные качества колеса / Войтиков А.В., Бойков В.П., Кривицкий А.М. // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1982. – №9 – с. 11 – 12.
7. Гринченко И.В. Колесные автомобили высокой проходимости / Гринченко И.В., Розов Р.А., Лазарев В.В., Вольский С.Г. – М.: Машиностроение, 1967. – 239 с.
8. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. ГОСТ 22733-77 – [Действует с 01.07.1978] – М: Государственный комитет СССР по стандартам – 1978. – 7 с.
9. Гуськов В.В. Тракторы: теория / [Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др.] – Под общ. ред. Гуськова В.В., М.: Машиностроение, – 1988. – 377 с.

10. Дурманов А.С. К вопросу о рациональном распределении веса по осям трактора с четырьмя ведущими колесами одинакового размера // Воронежский СХИ. Записки. – Т. 44. – Вып. 2. – Воронеж, 1970, с. 70 – 76.
11. Касьяненко В.Д. Влияние ГСВ на производительность трактора / Касьяненко В.Д. // Механізація сільського господарства, 1965. – № 6 – с. 5 – 8
12. Кацыгин В.В. Влияние конструктивных параметров на тягово-энергетические показатели тракторов 4×4 / [Кацыгин В.В., Горин Г.С., Зенькович А.А., и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1982. – № 11 – с. 9 – 12.
13. Качинский Н.А. Свойства почвы как фактор, определяющий условия работы сельскохозяйственных машин / Качинский Н.А. // Почвоведение, 1937 – №8 – с. 3 – 5.
14. Комплекты деталей для установки сдвоенных колес на тракторы ХТЗ (электронный ресурс). Режим доступа <http://www.ukr-firma.com/node/977>
15. Кононов А.М. Об агротехнической проходимости тракторов по почве / Кононов А.М. // Труды УСХА: Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин – К., 1978. – Вып. 212 – с. 54 – 56.
16. Ксенович И.П. Ходовая система – почва – урожай / Ксенович И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
17. Кушнарев А.С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы / Кушнарев А.С., Погорелый В.В. // Техника АПК. – 2008. – № 1. – С. 17-21.
18. Кушнарев А.С. Мониторинг плотности почвы пахотного горизонта в системе точного (управляемого) земледелия / Кушнарев А.С., Кравчук В.И., Кушнарев С.А., Дюжаев В.П. // Техніка і технології АПК. – 2010. – №9(12). – С. 12 – 16.

19. Кушнарєв А.С. Новые научные подходы к выбору способа обработки почвы / Кушнарєв А.С., Кравчук В.И. // Техніка і технології АПК – 2010. – №5 (8) – С. 6 – 10.
20. Кушнарєв А.С. Пути экономии топлива при обработке почв степной зоны Украины (практические рекомендации) / А.С. Кушнарєв, С.А. Кушнарєв. – Запорожье: ИМТ. УААН, 1995. – 27 с
21. Кушнарєв А.С. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении индустриальных технологий возделывания с.-х. культур / А.С. Кушнарєв, В.М. Мацєпуро. – М.: ВСХИЗО, 1986. – 56 с.
22. Линтварєв Б.А. Научные основы повышения производительности земледельческих агрегатов / Линтварєв Б.А. – М.: ГосНИТИ, 1962. – 320 с.
23. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / Литвинов А.С. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
24. Лихачев В.С. Испытания тракторов / Лихачев В.С. – М.: машиностроение, 1974 – 283 с.
25. Минский тракторный завод. Агрегатирование. (электронный ресурс). Режим доступа <http://belarus-tractor.com/ru/main.aspx?guid=1141>
26. Назаров И.Н. О выборе оптимального давления подпора ГСВ колесного трактора на пахоте / Назаров И.Н. // Научные труды НИИМЭСХ Северо-запада, 1965. – с. 52 – 54.
27. Некрасов П.А. Влияние физико-механических свойств почвы и глубины пахоты на удельное сопротивление плуга / Некрасов П.А., М.: Наука, 1966. – 150 с.
28. ООО «Интерснаб» Трактор ОрТЗ-150К со сдвоенными колесами (электронный ресурс). Режим доступа http://www.ortz.ru/catshow.php?showinfo=01_012

- 29.Повышение тягового КПД колесных тракторов (США) | Машины в сельском хозяйстве (электронный ресурс). Режим доступа <http://tehnika-sh.ru/?p=30>
- 30.Рай Д.М. Об оптимальном распределении нагрузки по осям трактора 4×4 тягового класса 3 т. // Труды НИИМЭСХ Северо-Запада – вып. 5, 1969, с. 49 – 53.
- 31.Стародинский Д.З. Выбор рациональной схемы агрегатирования трактора Т-150К с плугами / Стародинский Д.З., Владимиров А.И., Шподаренко И.П., Лукьянчук Н.Р. // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1987. – №11 – с. 38 – 41.
- 32.Стефановский Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания / [Стефановский Б.С., Скобцов Е.А., Корси Е.К. и др.] – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
- 33.Трактор ХТЗ-17221/17021 (электронный ресурс). Режим доступа <http://www.road-machines.ru/mode.7642-id.31239-type.html>
- 34.Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. ГОСТ 7057-2001 – [Действующий с 01.01.2003] – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации – 2002. – 6 с.
- 35.Тракторы: пособие для подготовки кадров массовых профессий в колхозах и совхозах / [Белоконь Я.Е., Окоча А.И., Кохановский С.П., Антоненко А.Ф.]; под ред. Белоконя Я.Е. – [2-е изд.] – К.: Урожай, 1989. – 384 с.
- 36.Тракторы промышленные. Методы испытаний. ГОСТ 23734-98 – [Действующий с 01.07.2000] – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации – 2000. – 19 с.
- 37.Уткин-Любовцов О.Л. Оценка сдваивания колес тракторов классов 30 и 50 кН по некоторым показателям / Уткин-Любовцов О.Л., Шабаров А.А., Ляско М.И. // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1981. – № 3 – с. 4 – 7.

38. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Чудаков Д.А. – М.: Колос, 1972. – 384 с.
39. Щучкин Н.В. Измерители по плугам / Щучкин Н.В. // Механизация социалистического сельского хозяйства, 1937. – № 8 – с. 5 – 8.
40. Эффективное использование тракторов Т-150К в зоне Среднего Поволжья | Механизация и электрификация сельского хозяйства (электронный ресурс). Режим доступа <http://tihen.inf.ua/?p=262>
41. Dwyer M. A field comparison of the tractive performance of two – and fourwheel drive tractors / Dwyer M., Pearson G. // Agric. Eng. Res. – 1976. – 21 – с. 77 – 85.
42. Richter R. Probleme des Einsatzes von Fahrzeugen auf landwirtschaftlich genutztem Boden / Richter R., Hoffmann B. // Agrartechnik, 1981 – № 9 – с. 419 – 421.
43. Role of dump plough // Agricultural Engineering spring – 1982. – V.37 – № 1 – с. 12 – 14.
44. Russian Engineering – Русский инженерный портал (электронный ресурс). Борьба с уплотнением почвы. Сдвоенные колеса. Режим доступа <http://russianengineering.narod.ru/land/doppelrad.htm>
45. ТКШЗ. Культиватор КПС-4,0 (электронный ресурс). Режим доступа <http://pokovka.com.ua/ru/product/agriculture-03.html>
46. SpecialCar.ru Спецтехника. Борона зубовая средняя скоростная, БЗСС-1,0 (электронный ресурс). Режим доступа http://www.specialcar.ru/item_desc/173.html
47. Astart. Сельхозтехника Плуг ПЛН-5-35 (электронный ресурс). Режим доступа http://astart.com.ua/index.php?page=shop.product_details&category_id=218&flypage=flypage.tpl&product_id=1968&option=com_virtuemart&lang=ru

ДОДАТКИ