

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

01.08 – ДП. 438 “С” 2024.11.15. 001 ПЗ

МИХАЙЛЕНКА МИКОЛИ

НУБІП України

ВОЛОДИМИРОВИЧА

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет: механіко-технологічний

УДК 631.372

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного
факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
тракторів, автомобілів та
біоенергоресурсів

“ ” 2021 р.

В. Братішко
(підпис)

“ ” 2021 р.

Чуба В.В.
(назва кафедри)
(підпис) (П.І.Б.)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: Дослідження впливу параметрів навісного пристрою трактора
ХТЗ-17221 на умови агрегаткування з машинами та знаряддями.

Спеціальність 208 – «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, с.н.с.
(підпис)

В. Братішко
(П.І.Б.)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Кандидат технічних наук

(науковий ступінь та вчене звання)

Лавріненко О.Т.

(підпис)

(П.І.Б.)

Виконав

Михайленко Микола Володимирович
(підпис) (П.І.Б. студента)

КИЇВ – 2021
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
 І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
 Факультет *механіко-технологічний*
ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (П.І.Б.)
 « » 2021 року
ЗАВДАННЯ
 до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту
Михайленко Микола Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 -«Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Дослідження впливу параметрів
 начіпного пристрою трактора ХТЗ-17221 на умови агрегування з
 машинами та знаряддями.

затверджена наказом ректора НУБіП України від «10» 03.2020 р. № 438 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(число, місяць, рік)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи 1. Аналіз агрегування
 тракторів ХТЗ-17221 з технологічними машинами; 2. Вимоги до начіпних
 механізмів тракторів сільськогосподарського призначення; 3. Наукова і
 довідкова література, журнали: «Техніка АПК України»,
 «Сільськогосподарська техніка України», «Трактори і сільськогосподарські
 машини».

Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Дія сил і моментів на машинний
 агрегат в горизонтальній та вертикальній площині; 2. Вплив параметрів
 начіпного пристрою трактора ХТЗ-17221 на його тягово-швидкісні якості
 при роботі в складі агрегату; 3. Обґрунтування раціональних параметрів
 заднього начіпного пристрою трактора ХТЗ-17221 при роботі з начіпним
 плугом ПЛН-5-35.

Перелік графічних документів (за потреби) ілюстраційні матеріали до
 доповіді магістерської кваліфікаційної роботи (презентація Power Point).

Дата видачі завдання «01» жовтня 2020 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Лавриченко С.Т.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Михайленко М.В.

(підпис) (прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка магістерської роботи включає 67 сторінок машинного тексту, 4 розділи, 4 таблиці, 16 рисунків, опрацьовано 32 літературних джерел.

Об'єктом дослідження являється енергонасичений повнопривідний колісний трактор ХТЗ-17221.

Предмет дослідження – задній начіпний пристрій і його кінематичні параметри.

Методикою дослідження передбачено виявити вплив зміни конструктивних параметрів ЗНП на тягово-зчіпні якості трактора, стійкість прямолінійного руху орного агрегату та копіювання плугом рельєфу поля з метою підвищення продуктивності орного начіпного агрегату.

Методи дослідження – експериментальні із застосуванням програмного забезпечення корпорації Microsoft, пакету прикладних програм MathCad (MathSoft) та графічного редактора Компас – 3D 15.1 (АСКОН).

Ключові слова: задній начіпний пристрій (ЗНП), миттєвий центр обертання (МЦО), трактор ХТЗ-17221, енергонасичений, повнопривідний, дотична сила тяги, нормальне навантаження, радіус кочення колеса.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Аналіз основних параметрів технічної характеристики трактора	8
ХТЗ -17221	8
1.2 Вимоги до начіпних механізмів тракторів	16
1.3 Задачі дослідження	24
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Дослідження сил і моментів, що діють на трактор в поздовжньо-вертикальній площині	26
2.2 Дослідження сил і моментів, що діють на трактор в горизонтальній площині	43
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЧІПНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАКТОРА ХТЗ-17221	53
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	57
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В даний час трактори харківського заводу, зокрема сімейств Т-150К і К13-170 стали основними орними тракторами в Україні та інших країнах близького зарубіжжя.

У зв'язку з широким застосуванням колісних тракторів класу 3 в сільськогосподарському виробництві і особливостям їх конструкції багато дослідницьких організацій приділяють велику увагу покращенню їх тягово-зчіпних якостей та керованості.

Для покращення тягово-зчіпних якостей тракторів з метою можливості більш повної реалізації рівня енергонасиченості колісні трактори великої потужності виконують повнопривідними з блоковано-диференціальним приводом коліс ведучих мостів, які мають однакові номінальні розміри усіх коліс і шарнірно-з'єднану раму. Така конструктивна схема зумовлює певні особливості агрегування з цими тракторами технологічних машин. Як показують дослідження багатьох авторів тягові властивості тракторів даного типу значною мірою залежать від розподілу нормального навантаження по колесах переднього і заднього мостів, яке зумовлене особливостями силової дії на трактор начіпної технологічної машини.

Подальшим розвитком конструкції трактора Т-150К являються Трактори серії М70. Ці трактори мають двигуни більшої потужності, більшу масу, шини, які допускають підвищенні навантаження, що безумовно, викликає потребу їх дослідження для раціонального комплектування на їх базі машинних агрегатів з метою досягнення високих техніко-економічних показників роботи. Зокрема, для раціонального агрегування трактора КТЗ17221 із технологічною машиною є важливим обґрунтування параметрів начіпного механізму, який впродовж тривалого періоду застосування залишався незмінним для тракторів класу 3, хоча конструкція тракторів, як вказувалось вище, істотно змінюється.

Найбільш енергомісткою роботою для колісних тракторів типу ХТЗ-17221 є оранка. Враховуючи це, дану роботу присвячено дослідженню впливу зміни параметрів заднього навісного пристрою на тягово-зчіпні якості трактора.

Мета даної магістерської роботи полягає в дослідженні заднього навісного пристрою трактора і обґрунтування його параметрів для роботи трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ І СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз основних параметрів технічної характеристики трактора

ХТЗ-17221

Потужний повнопривідний колісний трактор ХТЗ-17221 відноситься до сільськогосподарських тракторів загального призначення тягового класу 3 (номінальне тягове зусилля - 30 кН). Характерна особливість трактора висока енергонасиченість. В ньому поєднуються якості сучасного швидкісного трактора загального призначення і транспортного тягача високої прохідності, що дозволяє широко використовувати трактор у сільськогосподарському виробництві протягом всього року, а також експлуатувати в інших галузях народного господарства [1, 12, 24, 33, 34].

Трактор ХТЗ-17221 призначений для роботи з начіпними, напівначіпними і причіпними машинами для виконання сільськогосподарських робіт на підвищених швидкостях (оранка, боронування, суцільна культивування, лущення, дискування, сіяння, внесення добрив), а також у поєднанні з серійними машинами і знаряддями, призначеними для тракторів класу 3, також для виконання транспортних робіт з причепами і напівпричепами, а також автопоїздом, який складається із причепа і напівпричепа, загальною вантажопідйомністю до 21 т.

Трактори колісної схеми 4К4 в порівнянні з тракторами, які мають привід на одну вісь, мають більш високі експлуатаційні якості, які дозволяють розширити область застосування цих тракторів, наприклад, використання їх і на ранніх весняних роботах. Однією з головних переваг трактора з усіма ведучими колесами є можливість підвищити тягове зчеплення при збереженні його конструктивної ваги. Внаслідок збільшення зчепної ваги трактора буксування його коліс буде меншим в порівнянні з трактором 4К2 і при однаковому тяговому зусиллі.

Коротка порівняльна характеристика тракторів ХТЗ-17221 і Т-150К І
приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Порівняльна технічна характеристика тракторів Т-150К і ХТЗ-17221

Показники	Трактори	
	Т-150К	ХТЗ-17221
Основні параметри і розміри		
Тип	Колісний, сільськогосподарський, загального призначення	
Тяговий клас	30 кН	30 кН
Кількість передач:		
1. основний ряд	8	8
2. додатковий ряд (з ходозменш.)	16	16
3. задній хід	4	4
Габаритні розміри, мм:		
1. Довжина	5795	6000
2. Ширина	2460	2460
3. Висота	2850	3360
4. База	2860	2860
Ширина колії, мм	1860 і 1680	1860
Дорожній провіт, мм	400	450
Мінімальний радіус повороту, мм	6700	6600
Маса трактора, кг:		
- конструктивна (суха)	7540	8280
- експлуатаційна	8020	8980

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
	Двигун	
Марка	СМД-62	ЯМЗ-236Д
Кінцева передача	Одноступінчастий планетарний редуктор	
Тип	Рама Швелерна, клепана, складається з двох піврам, які з'єднані вертикальним і горизонтальним шарнірами	
	Максимальні кути повороту піврам, град:	
- в горизонт. площині	30	30
- в вертикальній площині	15	15
	Підвіска:	
переднього моста	Еластична, на двох поздовжніх напівеластичних ресорах з гідро амортизаторами	
заднього моста	Жорстка, з бугельним кріпленням	
	Ходова система	
Колісна схема	4К4	4К4
Шини	Камерні, пневматичні, низького тиску	
Тип	530-61 OR (23.1 R24)	23.1 R26
	Тиск повітря в шинах, кгс/см ² :	
на с/г роботах	0,8, 1,2	0,8, 1,4
на транспорт. роботах	1,6, 1,8	1,5, 1,8
Статичний радіус колеса, мм	640±8	725±8

Вільний діаметр колеса, мм.	1400±15	1596±16
Електрообладнання		
Вид струму і напруга	Постійний, 12В	
Система електромережі	Однопровідна	
Джерела струму:		
1. генератор	Тип 15037 змінного струму з вмонтованим випрямлячем	
2. акумуляторна батарея	6СТ-50ЭМС	6СТ-182ЭМС
Гідравлічна напісна система		
Насос	НШ-50-Л-2 ,шестеренний, лівого обертання з незалежним і керованим приводом від двигуна	
Продуктивність насоса при номінальних обертах двигуна, л/хв	86	86
Розподільник	P-75-ВзА	P-80-3
Силовий циліндр	Ц-125, двосторонньої дії	
Хід поршня, мм	250	250
Діаметр циліндра, мм	125	125
Тиск рідини (при температурі +50° С), кгс/см ² :		
1. номінальний	100+10	160
2. максимальний	130+10	200-20

Продовження таблиці 1.1

Додаткове обладнання	
ВВП:	
1. тип	Незалежний
2. частота обертання хвостовика, об/хв	540 і 1030
3. передача ефективної потужності двигуна, %	540 і 1030
- при $n = 540$ об/хв	60
- при $n = 1030$ об/хв	100
Причіпний пристрій:	
1. тип	Причіпна скоба з упряжною сергою
2. висота точки приєднання над опорною поверхнею, мм	369
3. горизонтальне регулювання, мм	По 160 в обидві сторони через кожні 80 мм
4. вертикальне регулювання, мм	369 і 404
Гідрофікований тяговий гак:	
1. розміщення	Встановлюються на місце поздовжніх тяг начіпного механізму

Аналізуючи технічні характеристики тракторів (табл. 1.1) можна зробити висновок, що трактор ХТЗ-17221 є подальшим розвитком трактора Т-150К. Трактори серії 170 мають більшу масу, двигуни більшої потужності, шини, що допускають підвищене навантаження, нову ергономічну кабіну. Стосовно тракторів Т-150К виконано багато науково-дослідних робіт з тягово-швидкісних якостей і керованості цих тракторів. Зміна вагових і тягових властивостей тракторів ХТЗ-17221 у порівнянні з трактором Т-150К викликає потребу їх додаткового дослідження для раціонального комплектування на їх базі машинних агрегатів з метою досягнення високих техніко - економічних показників роботи.

Основні властивості повнопривідних колісних тракторів, які необхідно врахувати при дослідженні їх експлуатаційних тягових якостей [1, 12, 26, 27]:

- наявність комбінованого приводу коліс, особливістю якого є застосування блокованого зв'язку між мостами і диференціального між колесами кожної ведучої осі;
- характер розподілу зчпної ваги трактора по ведучих мостах в залежності від експлуатаційно - технологічних умов роботи машинного агрегату;
- зміну кінематичних параметрів кочення ведучих коліс трактора при силовому впливі на нього технологічної машини.

Потрібно відмітити, що при роботі трактора з начіпними і напівначіпними технологічними машинами внаслідок їх силової дії на трактор відбувається значне перерозподілення нормального навантаження між мостами, а також відбувається довантаження трактора від силової дії технологічної машини, також перерозподіл ваги трактора між колесами залежить від розміщення МЦО ЗНП.

Тому вважаємо за потрібне провести теоретичні дослідження впливу зміни параметрів ЗНП (зміни розташування МЦО ЗНП) на умови агрегування з начіпними технологічними машинами, в даному випадку орного агрегату, який складається з трактора ХТЗ-17221 і плуга ПЛН-5-35.

Кінематичну схему ЗНП трактора ХТЗ-17221 наведено на рис. 1.1, а його технічну характеристику подано у табл. 1.2.

Технічна характеристика ЗНП тракторів Т-150К і ХТЗ-17221

Показники	Трактори	
	Т-150К	ХТЗ-17221
Тип	Важільно-шарнірний	чотирьох ланкового типу
Схема приєднання до трактора	2-х і 3-х точкова	
Висота підйому осі підвісу начіпної системи, мм	1050	1090
Висота стійки приєднувального трикутника, мм	700-900	
Довжина центральної тяги, мм	753-936	
Довжина нижніх поздовжніх тяг, мм	925	

Довжина розкосів, мм	740 \pm 45	740 \pm 45
Вільне поперечне переміщення осі підвісу, яка розташована на висоті 400мм, не менше:		
-при двоточковій схемі,		± 25
-при трьохточковій схемі, мм		± 150
Вантажопідйомність начіпної системи на осі підвісу, кг	1500	3200

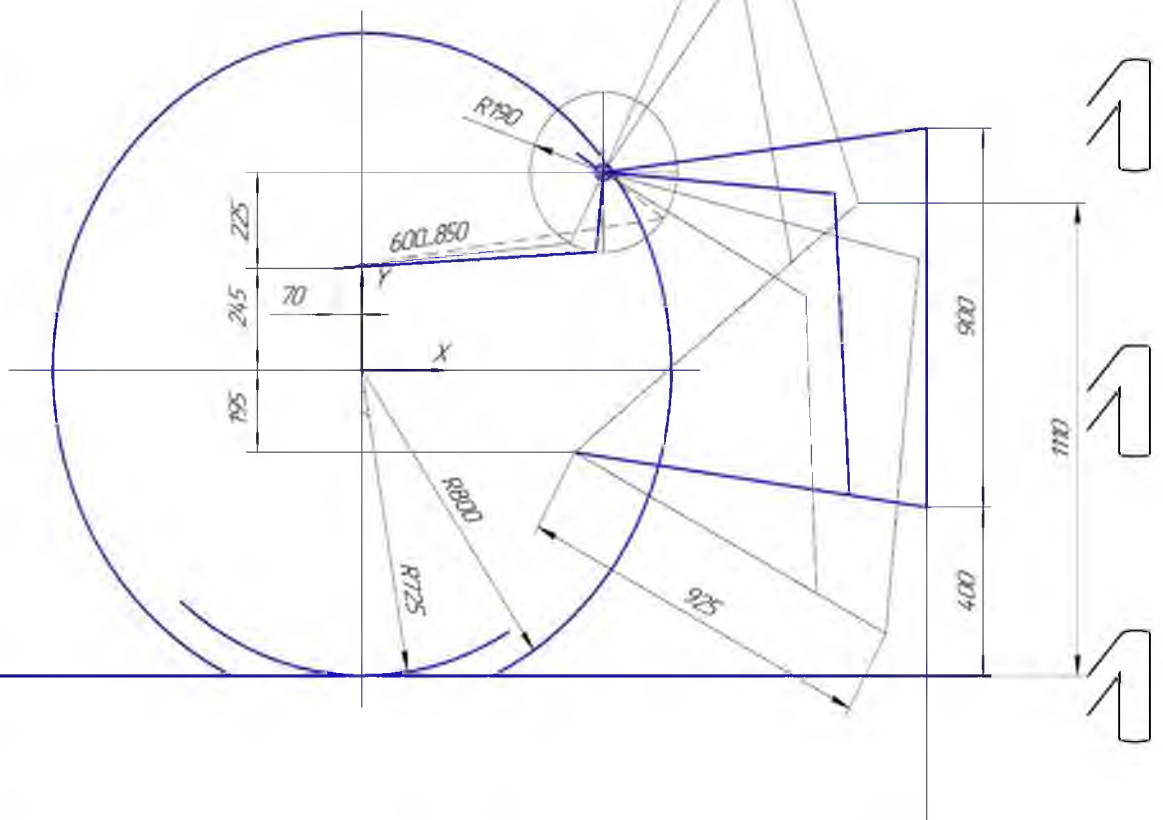


Рис. 1.1 Кінематична схема стандартного ЗНП трактора ХТЗ- 17221

1.2 Вимоги до начіпних механізмів тракторів

В нашій країні перші начіпні сільськогосподарські машини і знаряддя з'явилися на початку тридцятих років. Для піднімання технологічної машини (знаряддя) використовувався ручний механізм, який приводився в дію від ВВП трактора. Але такі начіпні машини не отримали широкого застосування. Поява на тракторах в 1951 році гідравлічних систем сприяла широкому розвитку начіпних пристроїв. Вони склалися з двох нижніх і однієї верхньої тяги, двох вертикальних розкосів і двох обмежувальних ланцюгів. Нижні і верхня тяги приєднувалися передніми кінцями до остова трактора, а задніми - до осі підвісу і стійки технологічної машини (знаряддя). Таким чином створювалася трьохточкова система кріплення начіпної машини до трактора. Невідповідність ширини захвату плуга колії трактора викликало необхідність створення начіпних пристроїв, які б дозволили зміщувати плуг відносно трактора. Начіпні пристрої тракторів Т-74, ДТ-75, Т-150, Т-150 К виконуються таким чином, щоб їх можна було налагоджувати за двох - і трьох точковою схемами, в залежності від місця приєднання передніх кінців нижніх тяг до трактора.

Дослідження Чудакова Д.А.[30, 31], показали, що начіпний машинний агрегат повинен досліджуватись як єдина система, яка характеризує поєднані між собою конструктивні параметри трактора, технологічної машини і начіпного пристрою, який їх з'єднує. Перенесення частини нормальних реакцій з опорних коліс плуга на трактор зменшує втрати енергії на переміщення агрегату і покращує тягово-зчіпні якості трактора. Одним із шляхів зменшення непродуктивних втраг енергії при роботі орного агрегату є визначення оптимального співвідношення нормальних, поздовжніх і бічних реакцій на рушії трактора і опори плуга.

Розглядаючи питання кінематики і динаміки начіпних агрегатів вчений встановив, що розміщення точок начіпки на тракторі і на технологічній машині, а також довжини ланок начіпного пристрою мають суттєвий вплив на

роботу начіпного агрегату. В зв'язку з цим ним і сформовано основні вимоги до начіпних пристроїв:

- забезпечення заглиблення робочих органів начіпної машини без примусової дії трактора та забезпечити необхідну прохідність начіпного агрегату при переїздах;

- створення необхідного навантаження на гідравлічний механізм або опорне колесо начіпної машини;

- отримання нормальної ширини захвату технологічної машини (знаряддя) і стійкого прямолінійного руху машино-тракторного агрегату.

Для нормального заглиблення робочих органів в ґрунт без примусового зовнішнього впливу він рекомендує розміщувати в поздовжньо-вертикальній площині МЦО начіпної машини попереду осі підвісу.

Він вважає, що положення МЦО технологічної машини необхідно розташовувати так, щоб кут нахилу опорної площини робочих органів до горизонту, коли технологічна машина знаходиться в транспортному положенні, був в межах 18...20 градусів при транспортному просвіті під робочими органами 250...300 мм.

Розглядаючи питання силового впливу начіпної машини на трактор Д. А. Чудаков [30, 31] отримав аналітичні залежності довантаження задніх коліс і розвантаження передніх коліс трактора при агрегуванні з ним начіпних машин з опорними і без опорних коліс.

Кальбус Г.Л. [8] розглядав комплексно основні питання експлуатації начіпної системи трактора. Він досліджував надійність, динамічні явища в механізмах начіпної системи, експлуатаційні характеристики агрегатів, вплив точок кріплення тяг начіпного механізму до трактора на динаміку підйому начіпної машини і на тягово-зчіпні властивості трактора.

Вважає, що причиною поломки деталей начіпної машини і механізму начіпки, а також нерівномірність глибини обробки ґрунту є відсутність пристосованості агрегату до рельєфу поля, яка залежить від розміщення

миттєвого центру обертання технологічної машини в поздовжньо-вертикальній площині. Особливо суттєвий вплив положення МЦО навісної машини має на перерозподіл нормального навантаження між колесами переднього і заднього мостами трактора, що в свою чергу впливає на тягово-швидкісні показники МТА.

Розглядаючи силову дію навісної машини на трактор отримано формули [3], які визначають довантаження коліс заднього моста і розвантаження коліс переднього моста трактора. Аналізуючи ці формули, автор прийшов до висновку, що пониження точки кріплення переднього шарніра верхньої тяги до трактора в усіх випадках сприяє збільшенню зчіпної ваги трактора.

З даної роботи випливає висновок, що для збільшення зчіпної ваги трактора необхідно понижувати точку кріплення переднього шарніра верхньої тяги до трактора, а опорне колесо плуга необхідно розміщувати за центром тяжіння плуга, якщо одночасно наближати МЦО до вісі підвісу.

На основі результатів дослідження науковець сформулював вимоги до навісних механізмів тракторів:

- задовільне копіювання рельєфу поля робочими органами навісної машини;
- можливість самозаглиблення робочих органів при нормальних ґрунтових умовах;
- можливість примусового заглиблення;
- усунення впливу коливання трактора на навісну машину;
- стійкість руху машинного агрегату в горизонтальній площині;
- можливість силового впливу навісної машини на ведучі колеса трактора;
- задовільний підйом навісної машини з робочого положення;
- підйом технологічної машини на безпечну висоту.

Він вважає, що із-за відсутності комплексного підходу до вирішення поставлених задач при комплектуванні орних МТА не повністю задовольняються експлуатаційні вимоги. Він також розкрив суперечливий

характер вказаних вище вимог і довів, що покращення одного із показників роботи начіпної машини шляхом конструктивних змін може призвести до погіршення інших.

Вивчаючи вплив поздовжніх кутових коливань трактора на глибину ходу плуга за допомогою наближеної залежності, в якій не враховувались параметри начіпного пристрою трактора. Вивчаючи вплив конструктивних параметрів начіпного агрегату на сталість глибини обробітку ґрунту графічним методом. Сталість глибини обробітку ґрунту забезпечується зміною місця розташування опорного колеса на плузі і з'єднанням плуга з трактором.

Шквиря А.С. [32] досліджував орні агрегати з начіпними і напівначіпними технологічними машинами. Намагався підвищити продуктивність агрегату за рахунок більш повного завантаження коліс заднього мосту завдяки переносу частини ваги з переднього мосту і начіпного плуга. Зміну перерозподілу зчіпної ваги трактора забезпечував зміною кінематики начіпного механізму. Запропонував ЗНП в якого МЦО розташовувався в точці кріплення переднього шарніра нижніх поздовжніх тяг до трактора. Обґрунтував, що пониження точки кріплення переднього шарніра

верхньої тяги довантажувє колеса заднього мосту і при цьому добре копіюється рельєф поля робочими органами плуга. Але при цьому незадовільна кінематика підйому (в 2 рази збільшується навантаження на гідроциліндр).

Займаючись [17,19] обґрунтуванням стійкого руху колісного орного агрегату, досліджуючи дисперсію глибини ходу корпусів, вплив поворотів трактора на раму плуга і тягові показники тракторів Т-150 і Т-150К. Теоретично знайшов значення при яких відбувається виконання поставлених задач і щоб забезпечити дані умови роботи орного агрегату змінив кінематику начіпного механізму за допомогою переміщення передніх шарнірів кріплення центральної та нижніх поздовжніх тяг.

Для стабілізації процесу оранки повинні бути виконані такі умови агрегування, при яких силовий вплив дії плуга на трактор не призводить до

появи моменту, який відхиляє його від прямолінійного руху [7]. В протилежному випадку в залежності від напрямку відхиляючого моменту трактор зтягує в борозну передніми або задніми колесами. Дослідники дійшли висновку, що тиск на польові дошки плуга, який обумовлює непродуктивні втрати тягового зусилля не залежить від схеми приєднання плуга до трактора (двох- чи трьох точкова), якщо однаковий кут відхилення лінії тяги від напрямку руху агрегата.

Графоаналітичним методом теоретичного аналізу плоских важільних механізмів і по цей час визначають параметри чотирьох ланкового начіпного пристрою трактора.

Вважається, [5] що прямолінійність руху колісного МТА в багатьох випадках ускладнюється наявністю бічного відхилення, яке обумовлене певним характером силової дії начіпних машин на трактор або наявністю інших зовнішніх факторів. Викликати бічне відхилення шин можуть наступні фактори:

- наявність поперечного нахилу (рельєф);
- неспівпадання рівнодіючої сил опору робочої машини з поздовжньою площиною симетрії трактора;
- нерівномірність розподілу ведучого моменту по колесах трактора;
- різне навантаження на праві і ліві колеса.

Напрямок відхиляючого моменту залежить від схеми розміщення робочої машини по відношенню до трактора.

Нерівномірне розподілення навантаження між лівими і правими колесами викликає різний опір перекочуванню, а відповідно і різні штовхаючі реакції на ведучих колесах трактора. Неоднакові штовхаючі реакції на ведучих колесах обумовлюють появу відхиляючого моменту, який в свою чергу викликає рух трактора з бічним відхиленням. Кількісна характеристика бічного відхилення коліс трактора залежить від діючих на нього бічних сил, бічної еластичності шин і фізико-механічних властивостей ґрунту по якому рухається трактор.

Рух трактора з бічним відхиленням його коліс збільшує не лише силу опору перекочуванню коліс але і зменшує дотичну силу тяги можливою за зчепленням. У своїх дослідженнях Чудаков Д.А. дані обставини пояснює наступним чином. При дії на колесо бічної і дотичної сили тяги елемент опорної площадки знаходиться під дією двох елементарних сил dP_{δ} і dP_{θ} (рис. 1.2 і 1.3). Поки їх результуюча залишається менше сил зчеплення даного елемента з опорною поверхнею спостерігається звичайне явище відхилення, яке характеризується нахилом прямолінійної ділянки кривої $\delta = \theta$ (P_{δ}). Якщо ж бічна сила досягає значення, яке викликає часткове проковзування, починаючи від задніх елементів опорної площадки, тоді збільшення тягового зусилля елемента опорної поверхні буде сприяти проковзуванню останнього, тобто нахил кривої з'явиться при меншому значенні бічної сили.

Повне ковзання колеса настане тоді, коли результуюча сила досягне дотичної сили тяги можливою за зчепленням колеса з опорною поверхнею, тобто:

$$G \cdot \theta = \sqrt{P_g^2 + P_{\delta}^2} \quad (1.1)$$

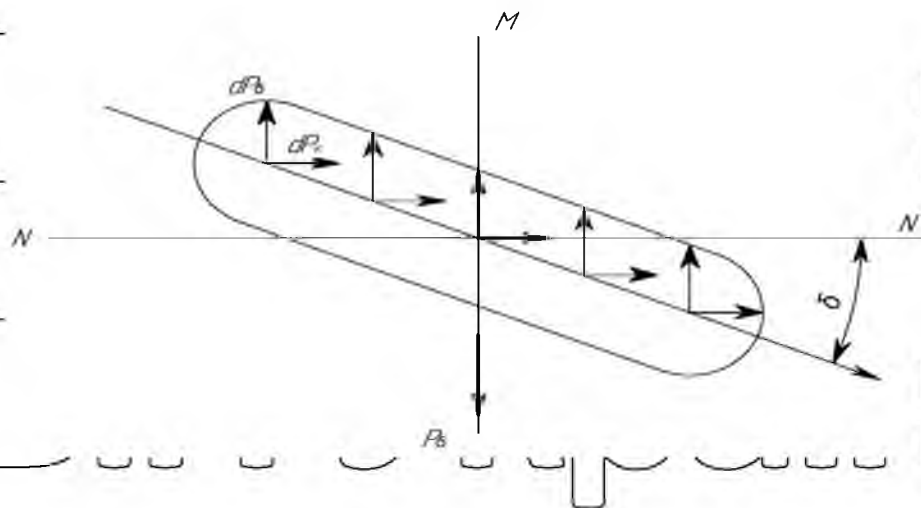


Рис. 1.2 Схема дії на колесо P_{δ} і дотичної P_{θ} сили тяги.

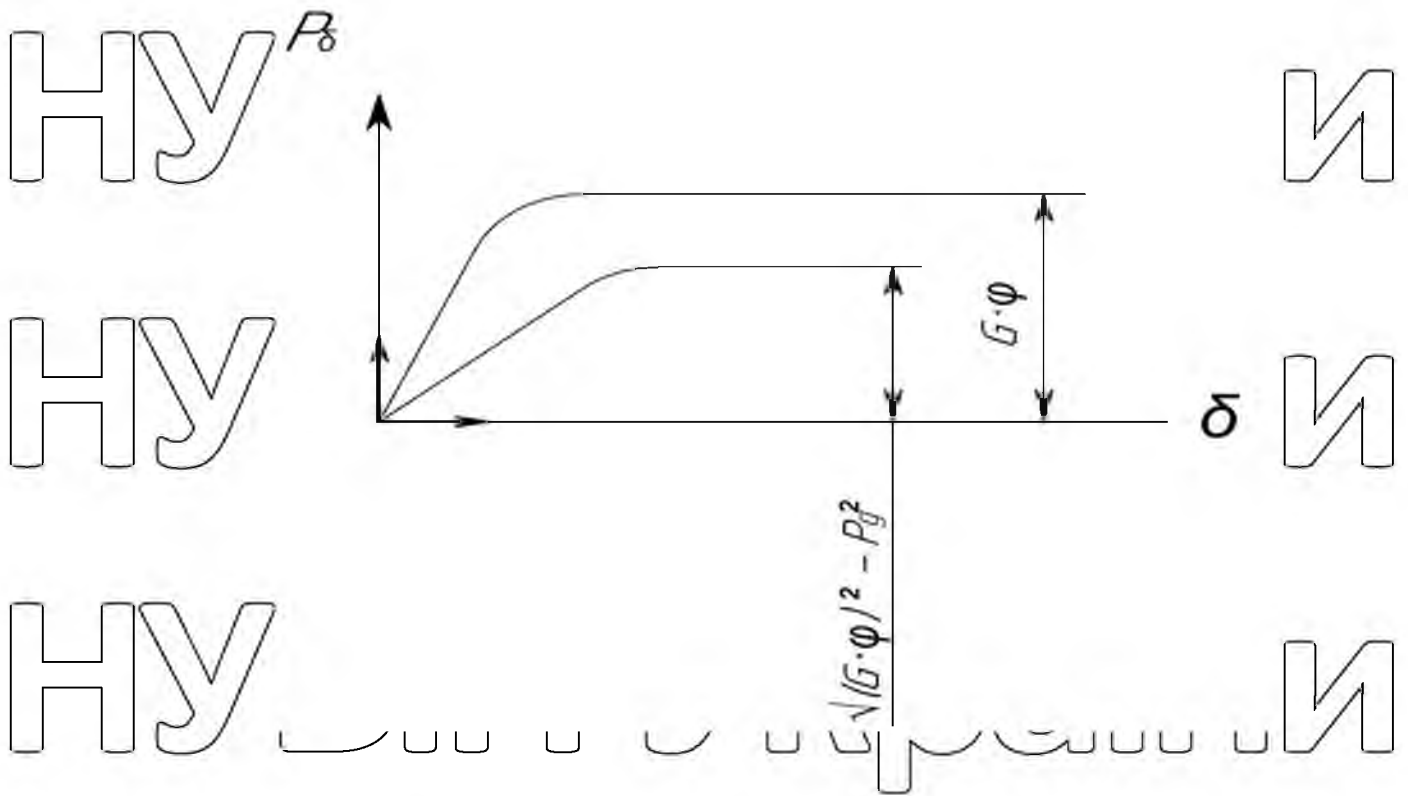


Рис. 1.3 Залежність кута відхилення δ від бічної P_δ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Чим більше тягове зусилля, що передається ведучими колесами, тим при меншому значенні бічної сили розпочнеться ковзання колеса (рис. 1.3). Верхня крива виражає залежність кута відхилення δ від бічної сили P_{δ} при відсутності тягового зусилля на колесі, нижня - при наявності тягового зусилля.

Відповідно, при відсутності відхилення дотична сила тяги, яка можлива за зчепленням дорівнює:

$$P_{\delta} = G \cdot \phi \quad (1.2)$$

При наявності бічного відхилення дотична сила тяги за зчепленням приймає вигляд:

$$P_{\delta} = \sqrt{(G \cdot \phi)^2 + P^2} \quad (1.3)$$

Відхилюючий момент викликає появу бічних сил, які діють в поперечній площині на колеса переднього і заднього мостів трактора. Від величини бічної сили і характеристики шин буде залежати їх бічне відхилення. В свою чергу бічне відхилення впливає на зміну тягово-зчіпних властивостей трактора.

Під час виконання технологічних операцій колеса трактора можуть рухатись в різних умовах:

- задні колеса рухаються по ґрунту, ущільненому чи зруйнованому передніми колесами;
- праві колеса можуть рухатись по дну борозни, в той час як ліві - по поверхні поля.

Це обумовлює різні умови кочення і зчеплення окремих коліс, що разом з деякою невідповідністю і нерівномірністю розподілом поздовжніх реакцій по них формує певний розподіл поздовжніх реакцій між колесами і мостами. Тривалий час вважалося, що розподіл нормальних реакцій по мостах трактора повинен бути однаковим і повинен сформуватись в залежності від зчіпних властивостей і розподілу поздовжніх реакцій між колесами.

Проте дослідження проведені на кафедрі тракторів і автомобілів УСГА [25] трактора Т-150К, що при дослідженні тягових якостей колісного трактора радіуси кочення його коліс є основними параметрами, які дозволяють визначити їх буксування і відповідно, обумовлені ним енергетичні втрати.

Встановлено, що при однакових радіальних навантаженнях на колеса радіуси кочення їх різні. Оптимального значення радіусів кочення коліс можна досягти лише зміною тиску або забезпеченням відповідного Нормального навантаження на колесах.

Обґрунтував основні задачі, які необхідно виконати при дослідження тягово-зчіпних властивостей колісного трактора:

- визначення можливості підвищення тягового коефіцієнта корисної дії шляхом зменшення втрат потужності на опір перекочуванню трактора і буксуванню рушіїв;
- покращення зчіпних властивостей трактора;
- визначення впливу силової дії технологічної машини на тягові показники трактора;
- визначення впливу на тягові властивості трактора його енергонасиченості.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

➤ дослідити залежність впливу кінематичних параметрів начипного механізму на умови роботи орного агрегату і їх вплив на перерозподіл нормального навантаження між мостами трактора;

➤ визначити залежність кінематичних параметрів кочення коліс трактора від радіального навантаження на них;

➤ обґрунтувати оптимальний перерозподіл зчипної ваги трактора між колесами переднього і заднього мостів;

➤ встановити залежність реакцій ґрунту на колеса переднього і заднього мостів від поздовжньої координати МЦО в горизонтальній площині.

Вирішення цих задач дозволить отримати дані, які необхідні для визначення ступеня реалізації потенційно можливих тягово-зчипних якостей трактора ХТЗ-17221 при виконанні основної роботи - оранки і встановлення раціональних параметрів заднього начипного даного пристрою трактора.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження сил і моментів, що діють на трактор в поздовжньо-вертикальній площині

Схема сил і моментів, які діють на начіпний орний агрегат (ХТ317221+ПЛН-5-35) приведена на рис. 2.1. Точкою С показано центр опору плуга - точка перетину рівнодіючої R_x всіх горизонтальних складових (без врахування опору перекочування опорних коліс) з рівнодіючою всіх вертикальних сил R_z .

Ступінь силової дії начіпної машини на трактор залежить від місця розташування МЦО технологічної машини у поздовжньо-вертикальній площині, а також від розмірів кінематичних елементів начіпного пристрою. Рівняння рівноваги агрегату під дією прикладених до нього сил і моментів мають вигляд:

$$\sum M_{O2} = Z_2 \times L - G \times l_2 + Z_3 \times (L + 1_H + l_3) + R_x \times (h - h_c) - R_z \times (L + 1_H + l_c) - M_{f2} = 0$$

$$\sum M_{O1} = G l_1 - Z_1 \times L + Z_3 \times (1_H + l_3) + R_x \times (h - h_c) - R_z \times (1_H + l_c) - M_{f1} = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 - G - R_z = 0.$$

Де Z_1, Z_2 - вертикальне навантаження на передній та задній мости, Н;

R_x, R_y, R_z - складові тягово опору плуга, Н;

Z_3 - реакція ґрунту на опорному колесі, Н;

G - вага трактора в статиці, Н;

M_{f2}, M_{f1} - момент опору перекочування коліс переднього і заднього мостів;

НУБІГ У КРАЇНИ

НІ
КРАЇНИ

НІ
КРАЇНИ

НІ
ІНИ

НІ
ІНИ

НІ
ІНИ

НІ
КРАЇНИ

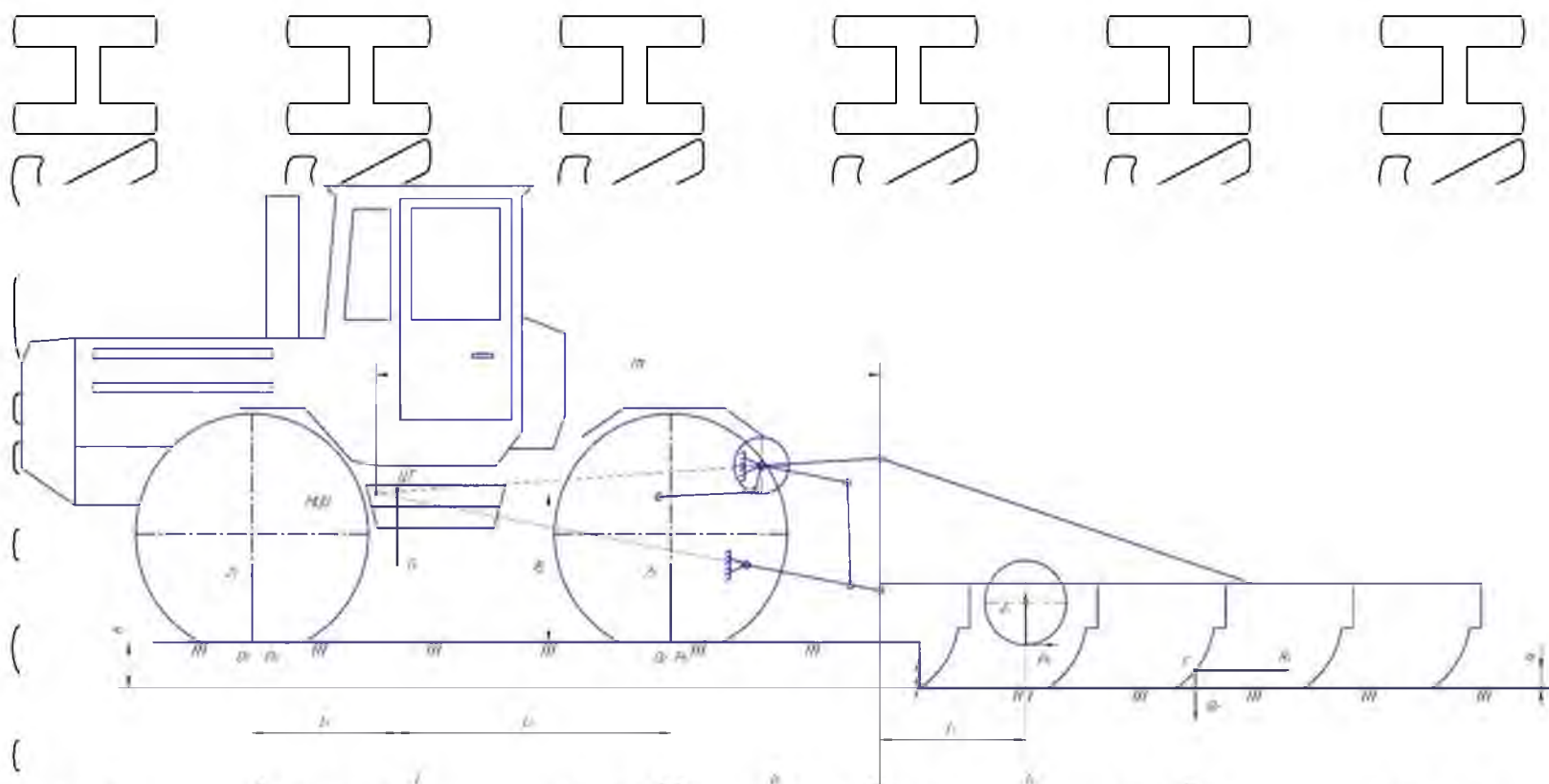


Рис. 2.1 Схема сил і моментів, що діють на трактор ХТЗ-17221 в поздовжньо-вертикальній площині

Нормальні реакції опорної поверхні на колеса трактора визначаються із перших двох рівнянь рівноваги:

$$Z_1 = \frac{G \times 1_2}{L} + Z_3 \times \frac{L_H + 1_3}{L} + R_{xc} \times \frac{h - h_c}{L} - R_{zc} \times \frac{1_H + 1_c}{L} - \frac{M_{f1}}{L} \quad (2.2)$$

$$Z_2 = \frac{G \times 1_1}{L} - Z_3 \times \frac{L + 1_H + 1_3}{L} - R_{xc} \times \frac{h - h_c}{L} + R_{zc} \times \frac{L + 1_H + 1_c}{L} + \frac{M_{f2}}{L}$$

Як наслідок:

$$Z_{3ч} = G + R_{zc} - Z_3 \quad (2.3)$$

Це значить, що сумарна нормальна реакція на колеса трактора ($Z_{3ч}$) може бути збільшена у порівнянні із статичним значенням при умові, що рівнодіюча всіх вертикальних сил опору плуга (R_z) більша реакції ґрунту, яка діє на опорне колесо плуга (Z_3).

Для визначення нормальної реакції ґрунту, що діє на опорне колесо навісного плуга розглянемо рівняння моментів всіх сил, що діють в поздовжньо-вертикальній площині відносно точки я (МЦО плуга):

$$\Sigma M_{\pi} = R_{xc} \times (h_{\pi} + h - h_c) - R_{zc} \times (1_{\pi} + 1_c) + Z_3 \times (1_{\pi} + 1_3 + h_{\pi} \times f_3) \quad (2.4)$$

Звідки:

$$Z_3 = \frac{R_{zc}(1_{\pi} + 1_c) - R_{xc}(h_{\pi} + h - h_c)}{1_c + 1 + h_{\pi} \times f} \quad (2.5)$$

Із формул 2.2 ми отримали, що довантаження коліс заднього мосту трактора залежить від величини вертикальної складової, яка діє на плуг

($Z_3 = G_{\pi} + Z$), реакції на опорному колесі плуга (Z_3) і збільшується із

збільшенням тягового опору плуга (R_x). Головною складовою довантаження

буде тяговий опір робочих органів технологічної машини (плуга). Як доказали

результати ряду досліджень [13, 20, 28, 29] суттєвий вплив на перерозподіл

нормального навантаження між переднім і заднім мостами трактора мають

кінематичні характеристики начінного механізму, такі як горизонтальна (l_{π}) і вертикальна (h_{π}) координати МЦО. Так, при наближенні МЦО до осі підвісу при $h_{\pi} = \text{const}$ довантаження коліс заднього мосту відбувається за рахунок зменшення навантаження на опорне колесо плуга (Z_3) і більш інтенсивного впливу вертикальної складової опору плуга (R_Z).

Що стосується поздовжньої координати МЦО ЗНП, то при $h_{\pi} = 0.425\text{ м}$, вона не впливає на значення нормальної реакції ґрунту на опорне колесо плуга (рис. 2.2, 2.3). При $h_{\pi} < 0.425\text{ м}$ в прямій функціональній залежності від значення поздовжньої координати МЦО ЗНП. Особливо інтенсивно впливає на значення нормальної реакції (Z_3) поздовжня координата МЦО в межах $l_{\pi} = 0 \dots 4\text{ м}$ (рис. 2.2 і 2.5). Для серійного орного агрегату, який складається з трактора ХТЗ-17221 і плуга ПЛН-5-35 координати МЦО ЗНП становлять: $l_{\pi} = 3.05 \dots 3.5\text{ м}$, $h_{\pi} = 0.62 \dots 1.18\text{ м}$ (рис. 1.1).

В статичних умовах вага трактора розподіляється між мостами таким чином: при $G = 88094\text{ Н}$ (8980 кгс) на передній міст припадає 55966 Н (5705 кгс) - 63,53 %, а на задній - 32127 Н (3275 кгс) - 36,47 %.

В перших дослідженнях тягово-зчіпних властивостей повнопривідних тракторів з пневматичними шинами однакового розміру ряд авторів, [26,27] стверджували, що рівність теоретичних радіусів кочення коліс переднього і заднього ведучих мостів трактора буде при рівності нормальних навантажень на його передній і задній мости. Це дійсно мало б місце, при умові що колеса переднього і заднього ведучих мостів працюють в ідентичних умовах. Насправді ж передні ведучі колеса перекочуються по не ущільненій поверхні, а задні - взаємодіють з поверхнею, ущільненою передніми колесами.

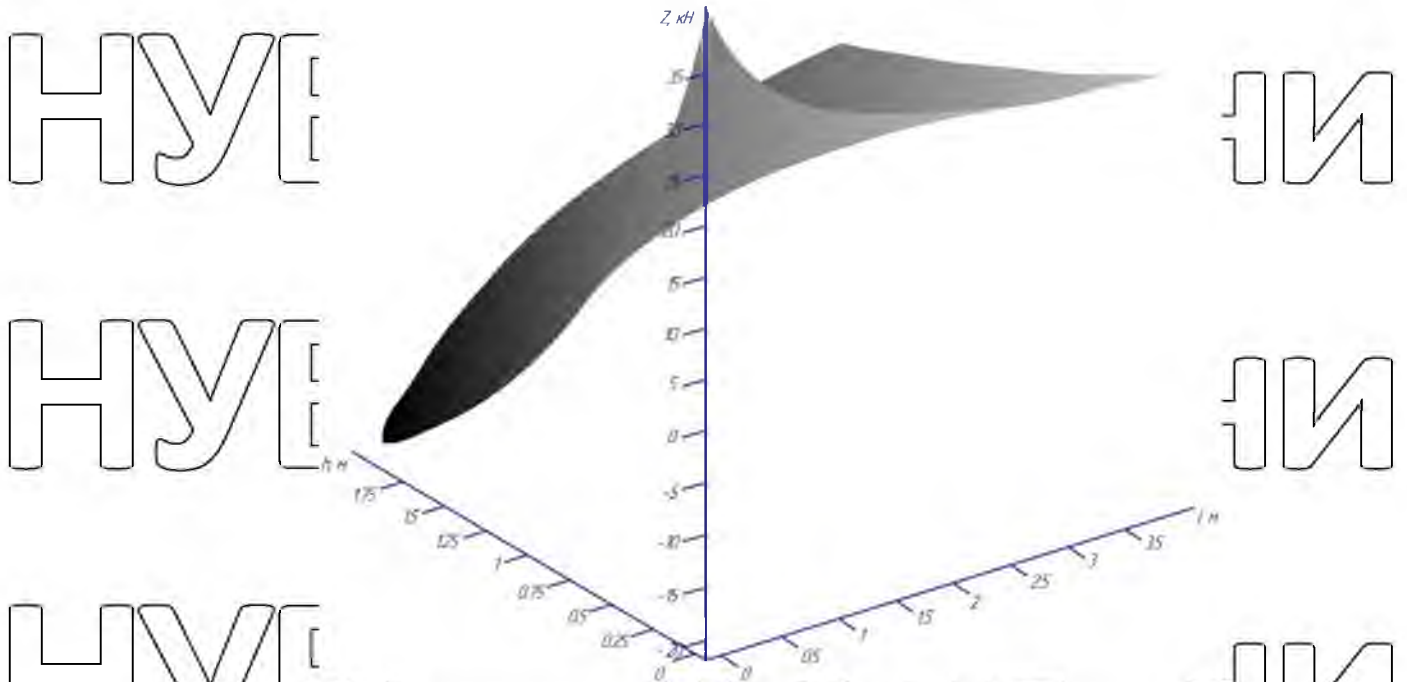


Рис. 2.2 Залежність реакції ґрунту на опорному колесі плуга

(Z_3) від горизонтальної (1_π) і вертикальної (H_π) координат МЦО ЗНП

(загальний вигляд).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

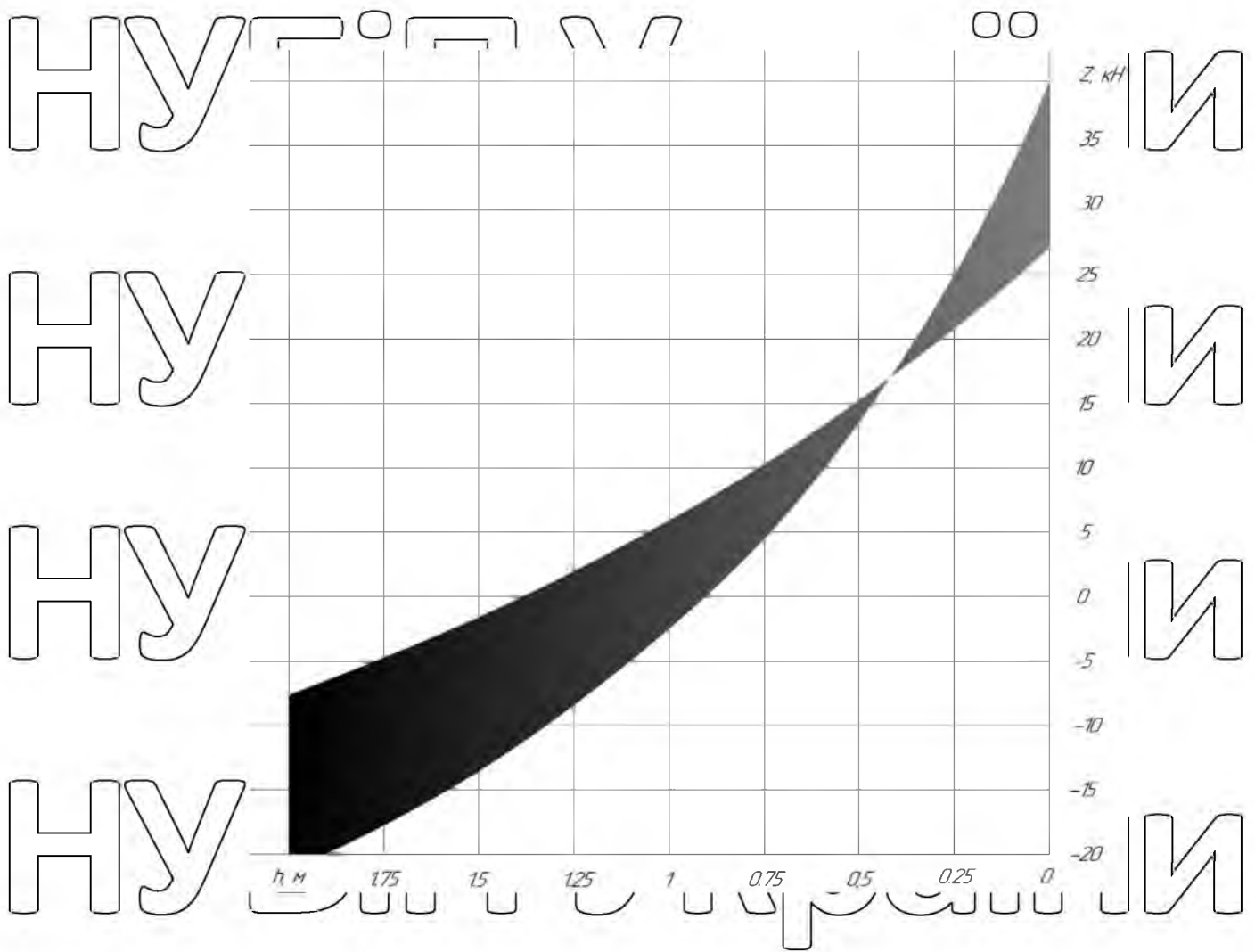


Рис. 2.3 Залежність реакції ґрунту на опорному колесі (Z_3) від

горизонтальної (l_π) і вертикальної (h_π) координат МЦО ЗЧТ (в площині $Z_3 - h_\pi$).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

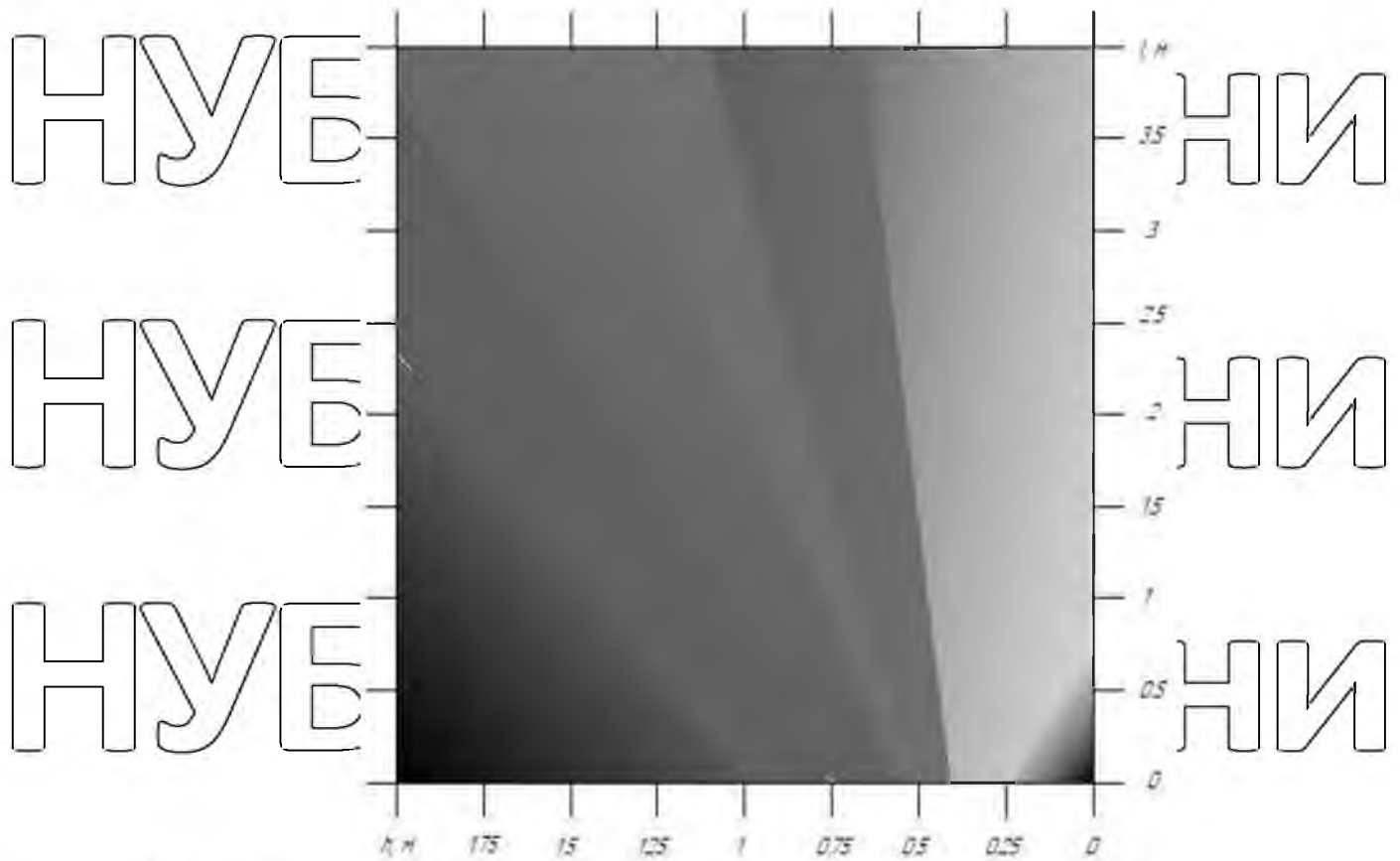


Рис. 2.4 Залежність реакції ґрунту на опорному колесі плуга (Z_3) від горизонтальної (l_π) і вертикальної (h_π) координат МЦО ЗНП

(в площині $l_\pi - h_\pi$).

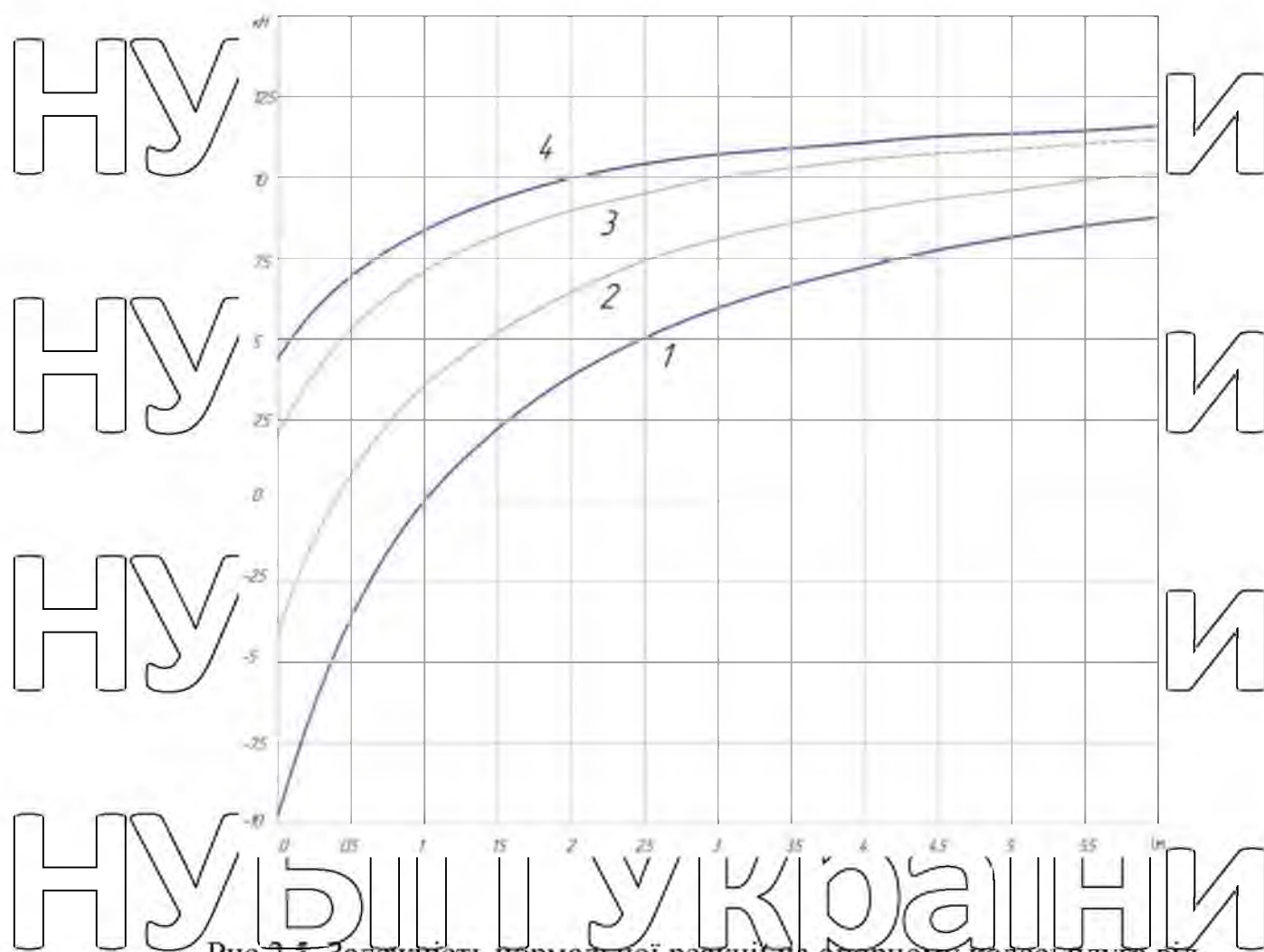


Рис 2.5. Залежність нормальної реакції на опорному колесі плуга від горизонтальної (1_{π}) і вертикальної (h_{π}) координат МЦО ЗНП :

- 1) Z_3 при $1_{\pi} = 0 \dots 6\text{м}$, $h_{\pi} = 1.03\text{м}$;
- 2) Z_3 при $1_{\pi} = 0 \dots 6\text{м}$, $h_{\pi} = 0.8\text{м}$;
- 3) Z_3 при $1_{\pi} = 0 \dots 6\text{м}$, $h_{\pi} = 0.6\text{м}$;
- 4) Z_3 при $1_{\pi} = 0 \dots 6\text{м}$, $h_{\pi} = 0.53\text{м}$.

На кафедрі тракторів і автомобілів УСГА [21] рис. 2.6, що при однакових і навантаженнях на передні і задні колеса буде мати місце кінематична невідповідність, тобто $V_{T1} \neq V_{T2}$, тому що $V_{T1} = \omega_1 \times r_{T1}$, а $V_{T2} = \omega_2 \times r_{T2}$ за умови блокованого приводу переднього і заднього мостів $\omega_1 = \omega_2$. Отже, причиною виникнення кінематичної невідповідності являється різниця між теоретичними радіусами кочення r_{T1} і r_{T2} . Як показали ряд досліджень [22, 24] радіус кочення коліс залежить від внутрішнього тиску, нормального навантаження і підведених крутних моментів. Приймаючи певний тиск [12, 15] необхідний при виконанні певних технологічних операцій необхідного радіусу кочення коліс можна досягти зміною навантаження на шину, що легко досягти при роботі з начіпною технологічною машиною. Це покладено в основу наступних розрахунків. Радіус кочення коліс визначаємо за формулою:

$$r = r_B \times \frac{r_B + Y_1 \times [1 + (3300 - Z) \times \beta] \times Z}{r_B \times P_w + Y_2 \times [1 + (3300 - Z) \times \beta] \times Z} \quad (2.6)$$

де r_B – вільний радіус колеса, мм;

P_w – тиск в шині, $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$;

Z – вертикальне навантаження на шину, Н;

Y_1, Y_2, β – параметри функції, значення яких залежать від конструкції і типу шин.

$$r_B = 802.2 \text{ мм} \quad \text{при } P_w = 1.2 \text{ кгс/см}^2;$$

$$r_B = 802.2 \text{ мм} \quad \text{при } P_w = 1.0 \text{ кгс/см}^2;$$

$$Y_1 = 0,03865;$$

$$Y_2 = 0,04297;$$

$$\beta = 0,831172 \times 10^{-4}.$$

При більш детальному дослідженні взаємозв'язку між трактором і начіпним плугом були отримані наступні результати: при стандартному задньому начіпному пристрої $1_{\pi} = 3400$ мм (рис. 2.7) довантаження коліс заднього мосту збільшується у порівнянні з статикою на 14395 Н,

навантаження на колеса переднього мосту зменшується на 12023 Н, а реакція на опорному колесі плуга складає 6653 Н.

Під час роботи трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35 поза межами борозни навантаження на передній міст складає 43943 Н (48,6 %) з одночасним збільшенням на колеса заднього мосту до 46523 Н (51,4 % від мигальної ваги трактора). При цьому експлуатаційна вага трактора збільшується до 90466 Н, що на 2372 Н більше його ваги у статичі 88094 Н.

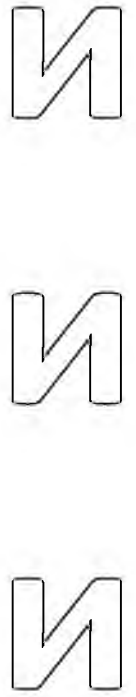
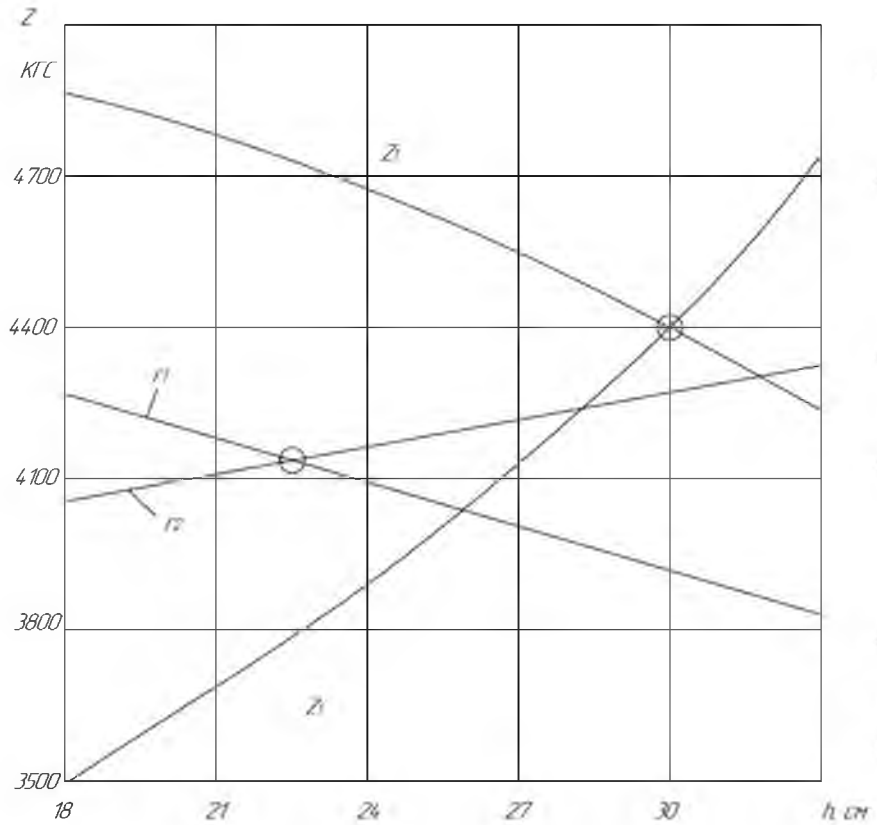
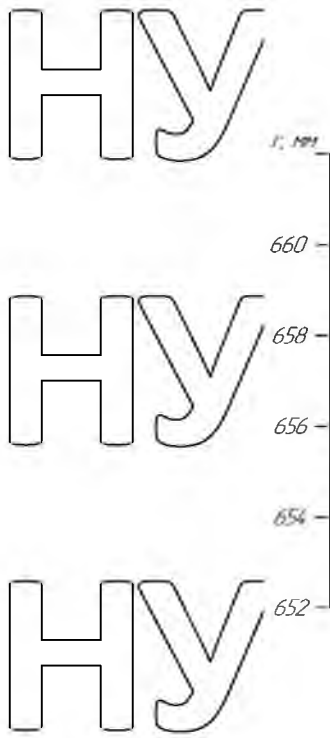
При зменшенні горизонтальної координати (1_{π}) з 3400 до 1400 мм, що відповідає розміщенню МЦО на вертикалі, яка проходить через вісь задніх коліс трактора, навантаження коліс заднього моста складає 56614 Н, розвантаження коліс переднього моста 38289 Н. Загальна зчипна вага трактора збільшується до 94903 Н, а реакція на опорному колесі плуга (Z_3) зменшується до 1978 Н.

Подальше зменшення 1_{π} недоцільно так, як при $1_{\pi}=1000$ мм вертикальна реакція на опорному колесі плуга приймає нульове значення (рис.2.5), що призводить до порушення стійкості руху робочих органів по глибині за рахунок виглиблення плуга із ґрунту.

Стійкість глибини ходу робочих органів плуга можна отримати при умові, якщо вертикальна реакція на опорному колесі знаходиться в межах 0,8.. 1 кН. Це можливо при умові, що горизонтальна координата МЦО $1_{\pi}=1480$ мм. В даному випадку $Z_2=57296$ Н, $Z_1=38529$ Н, $G_{3ч}=95826$ Н.

При зменшенні 1_{π} до 1180 мм при $h_{\pi}=1030$ мм ми отримали навантаження на задній міст 57296 Н, що недопустимо. Згідно з технічною характеристикою шин типу 23,1R26 допустиме радіальне навантаження на одну шину повинно становити не більше 27000 Н [10], а в даному випадку воно становить 28648 Н.

Для досягнення рівності теоретичних радіусів кочення коліс переднього і заднього мостів, розглянемо в якій функціональній залежності знаходяться радіуси кочення і навантаження на колеса переднього і заднього



НУБІП України

Рис. 2.6 Залежність навантаження і радіусу кочення передніх r_1 r_2 коліс трактора Т-152К при оранці від глибини (за даними Охмата П.К.).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

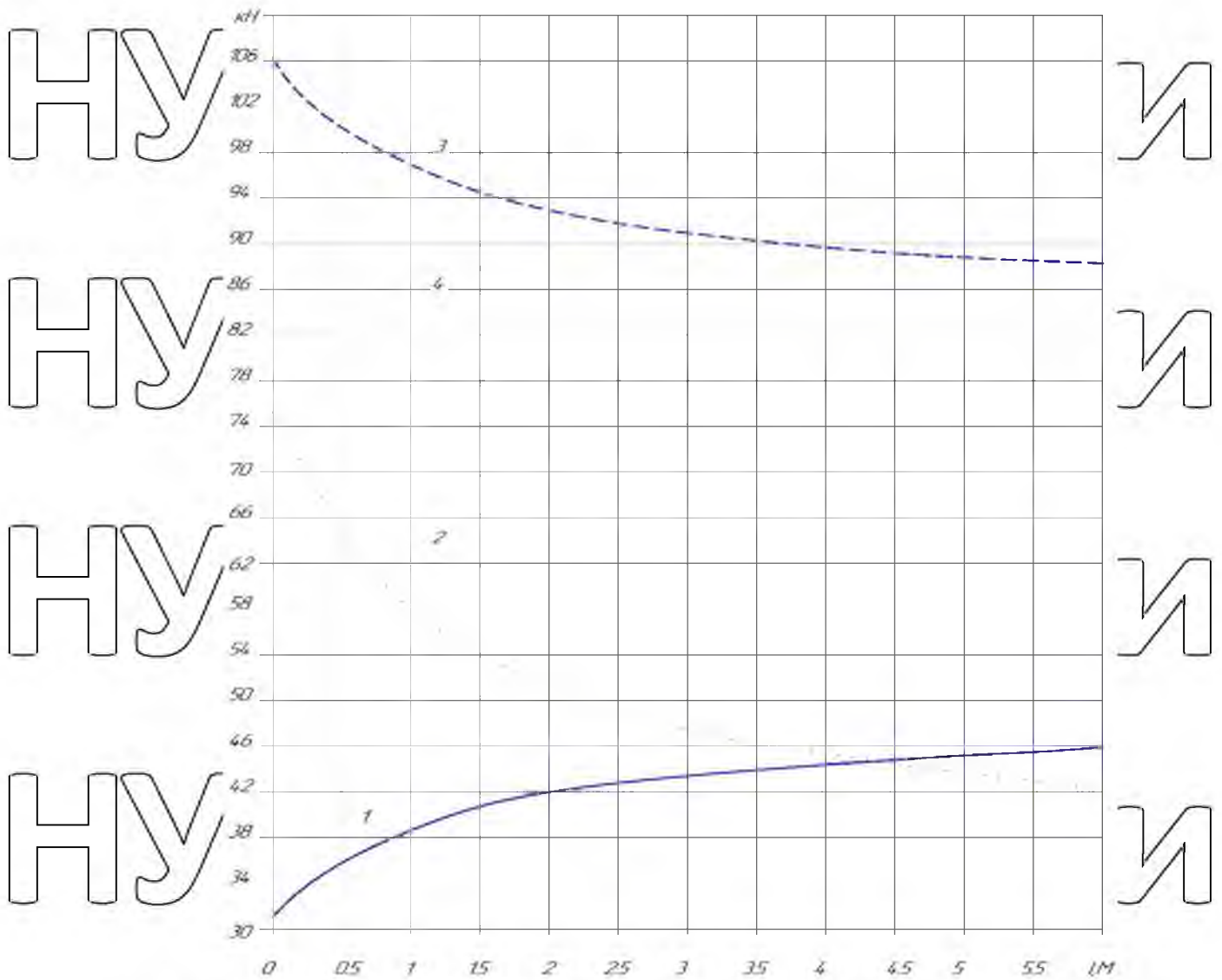


Рис. 2.7 Залежність нормального навантаження на колеса переднього і заднього мостів та зчипної ваги трактора від горизонтальної (l_{π}) координати МЦО ЗНГ при $l_{\pi} = 1030$ мм.

- 1) Z_1 – нормальне навантаження на передній міст, кН;
- 2) Z_2 – нормальне навантаження на задній міст, кН;
- 3) $Z_1 + Z_2$ – зчипна вага трактора, кН;
- 4) G – вага трактора, кН.

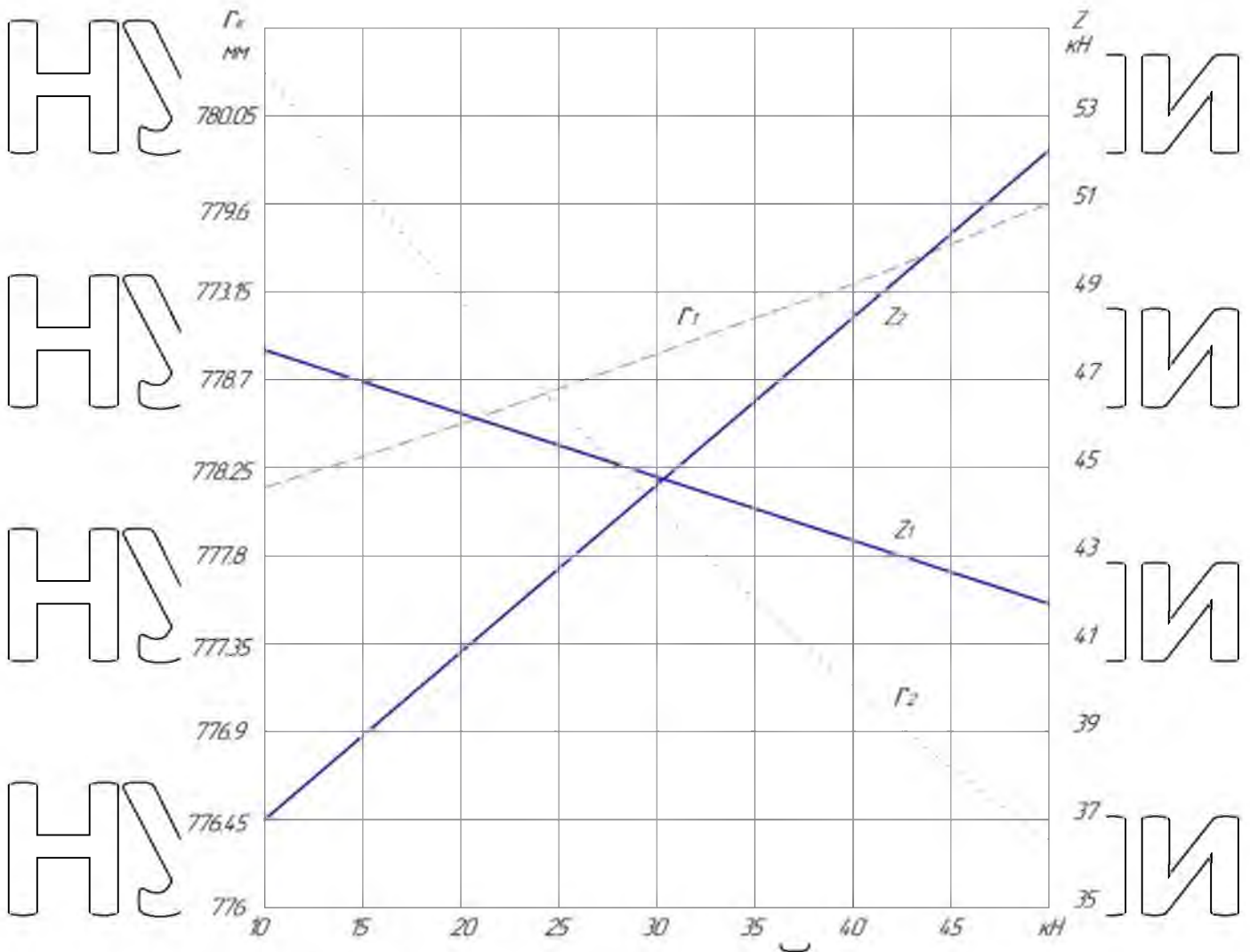


Рис. 2.8 Залежність радіусів кочення і нормального навантаження на колеса переднього і заднього мостів трактора від поєздовиньної складової тягового опору плуга (R_x) при $l_{\pi} \cong 0 \dots 6$ м, $h_{\pi} \cong 1,03$ м:

r_1, r_2 – радіуси кочення коліс відповідно переднього і заднього мостів, мм;

Z_1, Z_2 – нормальні навантаження на колеса переднього і заднього мостів, мм. Мостів від тягового опору робочих органів технологічної машини (R_x).

Розрахунки виконувались по формулах (2.2) і (2.6). Розглядаючи робоче положення коліс $d_{\pi} = 3400$ мм $h_{\pi} = 1030$ мм при стандартному начіпному механізмі були отримані наступні залежності із збільшенням тягового опору технологічної машини (збільшення глибини обробки або ширини захвату)

завантаження на колеса заднього мосту зростає, а переднього – знижується; (теоретичний радіус кочення коліс заднього мосту зменшується, переднього збільшується).

Аналізуючи отримані графіки рис.2.8 виявлено, що при рівномірному розподілі зчипної ваги трактора по мостах $Z_{\pi}=Z_2$ при $R_x=30,1$ кН, тобто рівності коефіцієнтів навантаження $\lambda_1=\lambda_2$, теоретичні радіуси кочення коліс не однакові $r_1=778.6$ мм $r_2=778$ мм.

Необхідної умови $r_1=r_2=778.65$ мм при $R_x=24$ кН не досягається. Це можливо лише при розподілі навантаження між мостами $Z_1=45$ кН і $Z_2=44,2$ кН. Стандартний начипний механізм може забезпечити потрібні значення Z_1 і Z_2 при умові, що $l_{\pi}=4700$ мм і $h_{\pi}=1030$ мм. Із проведених Ляшенко П.Г. досліджень трактора Т-150К [16, 18] можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити копіювання поверхні поля технологічною машиною потрібно щоб МЦО ЗНП розташовувався в межах бази трактора $l_{\pi}=1400, 4200$ мм.

Проаналізувавши отримані результати теоретичного дослідження дії сил і моментів в поздовжньо - вертикальній площині зроблено висновок, що стандартний ЗНП не може забезпечити необхідні умови ($r_1=r_2$) роботи орного агрегату ХТЗ-17221+ПЛН-5-35.

Розглядаючи поздовжньо-вертикальну площину можна зробити висновок, що суттєвий вплив на перерозподіл нормального навантаження між переднім і заднім мостами має вертикальна координата МЦО начипного механізму (h_{π}). Кінематика ЗНП така, що при зміні поздовжньої координати МЦО змінюється також і його вертикальна координата.

Розглянемо випадок коли МЦО розташований в точці кріплення Переднього шарніра нижньої поздовжньої тяги до трактора при $l_{\pi}=850$ мм і $h_{\pi}=530$ мм (зображення 2.9).

В даному положенні рівність теоретичних радіусів кочення коліс Переднього і заднього мостів настає при $R_x=33,2$ кН, рівновага $Z_1=Z_2$ при $R_x=36,8$ кН (рис. 2.11).

Умову ($r_1=r_2$) можна забезпечити при зміні горизонтальної координати МЦО до $l_{\pi}=1200$ мм при $h_{\pi}=530$ мм (рис. 2.10).

Аналізуючи дане положення (рис. 2.9) ми отримали, що довантаження коліс заднього мосту збільшується у порівнянні з статикою на 11704 Н, навантаження на колеса переднього мосту зменшується на 10228 Н, а реакція на опорному колесі плуга складає 8949 Н. Порівнюючи стандартний ЗНП в робочому положенні $l_{\pi}=3400$ мм і $h_{\pi}=1030$ мм з експериментальним $l_{\pi}=1200$ мм і $h_{\pi}=530$ мм видно, що навантаження на колеса заднього мосту знизилось на 2692 Н. Це дає змогу збільшити навантаження заднього мосту за рахунок збільшення тягового опору (збільшення ширини захвату плуга або глибини [обробітку]).

Проаналізувавши отримані графіки можна зробити висновок, що в кожному конкретному випадку значенню R_x буде відповідати певна кінематична схема начіпного механізму. В даному випадку при $R_x=35$ кН рівність теоретичних радіусів кочення коліс переднього і заднього мостів можна забезпечити заднім начіпним пристроєм, кінематичні параметри якого забезпечили б положення МЦО $l_{\pi}=1200$ мм і $h_{\pi}=530$ мм. З іншого боку умову рівності $r_1=r_2$ можна виконати зменшивши величину тягового опору і (R_x), що недоцільно.

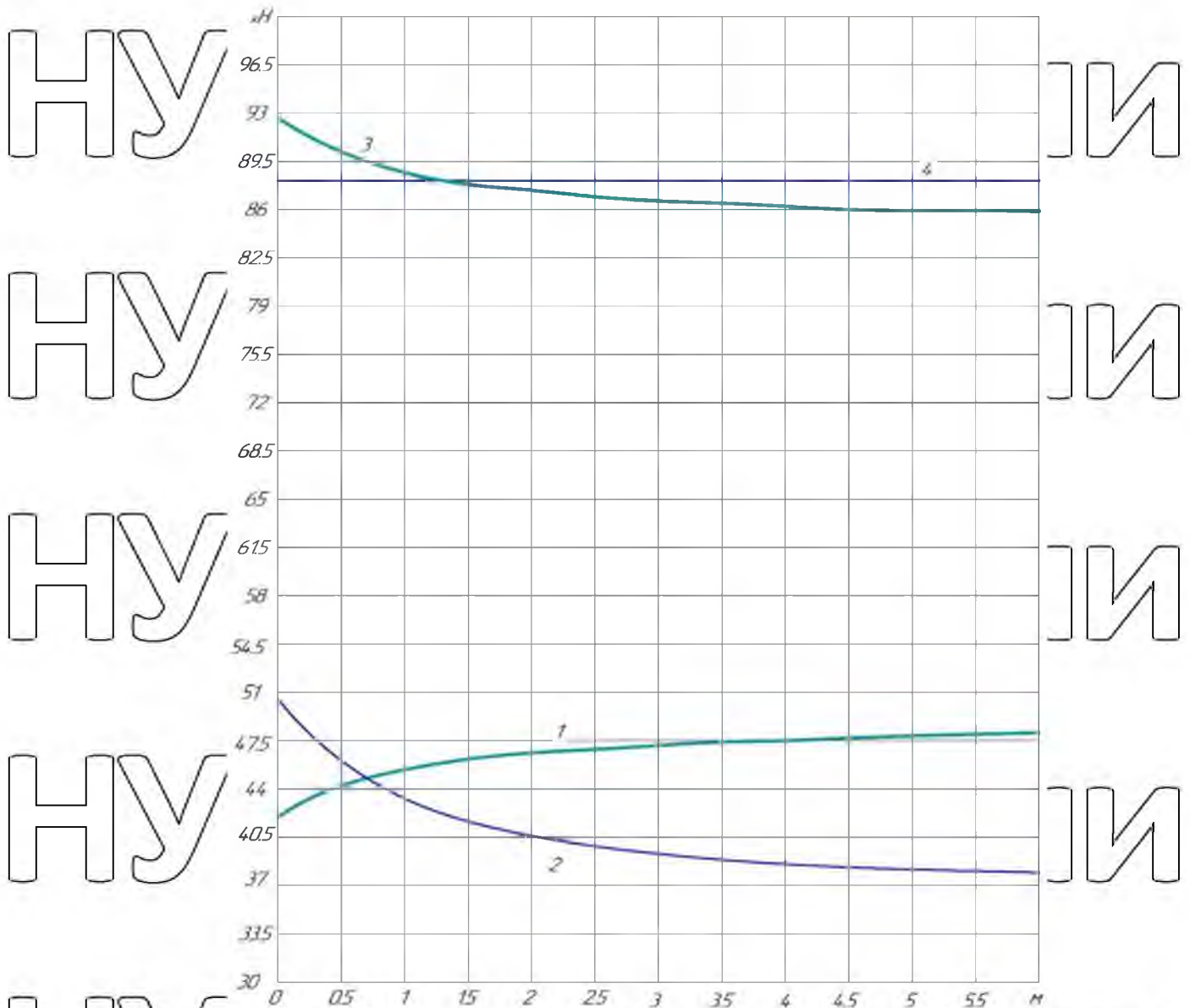


Рис. 2.10 Залежність нормального навантаження на колеса переднього і заднього мостів та зчипної ваги трактора від горизонтальної (1_{π}) координати

МЦО ЗНП при $h_{\pi}=530$ мм:

- 1) Z_1 - нормальне навантаження на міст, кН;
- 2) Z_2 - нормальне навантаження на задній міст, кН;
- 3) $Z_1 + Z_2$ - зчипна вага трактора, кН;
- 4) G - вага трактора в статиці, кН.

НУБІП України

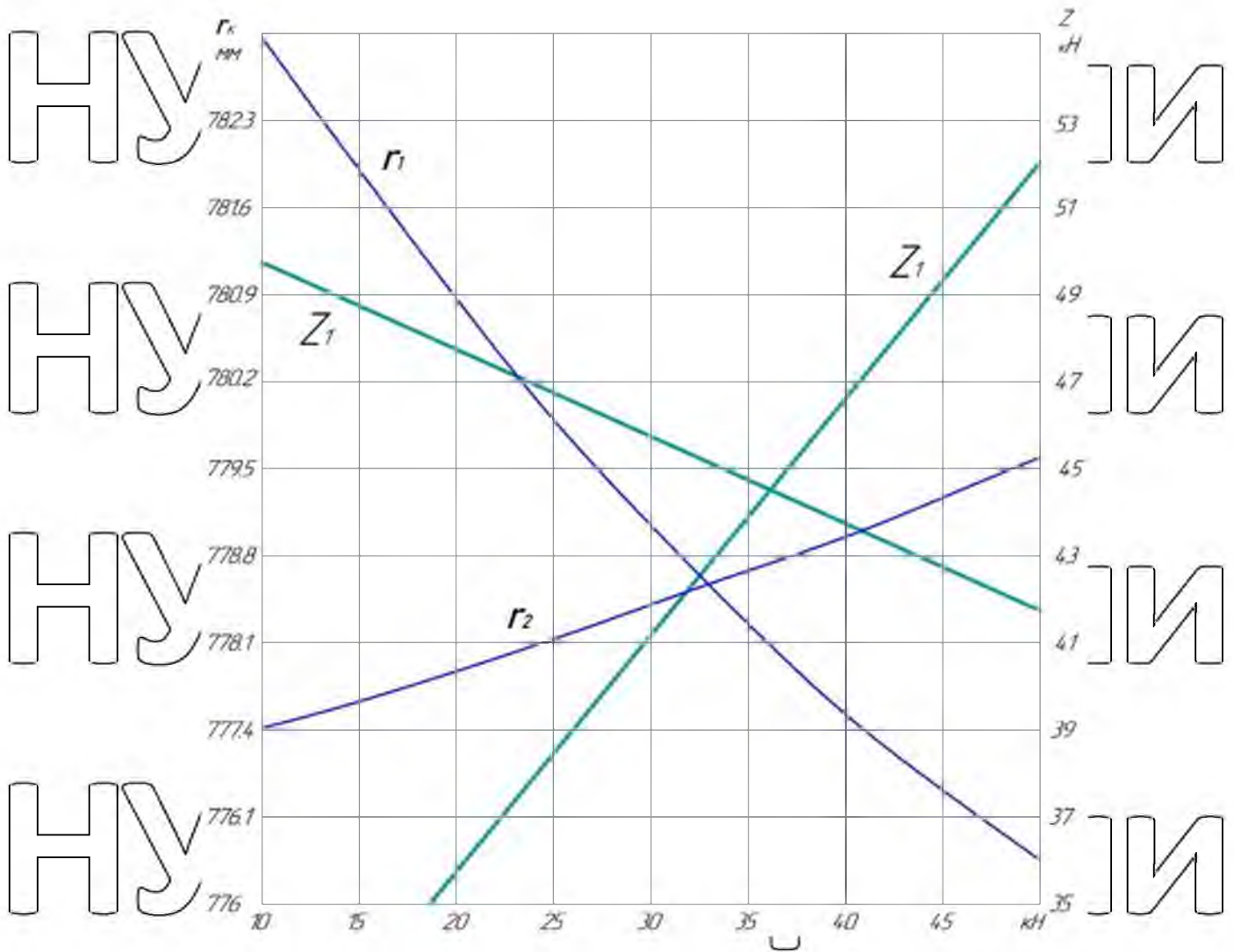


Рис. 2.11 Залежність радіусів кочення і нормального навантаження на колеса переднього і заднього мостів трактора від поздовжньої складової тягової спору плуга (R_x) при $l_T = 0,6$ м, $h_T = 0,53$ м:

r_1, r_2 - радіуси кочення коліс відповідно переднього і заднього мостів, мм;

Z_1, Z_2 - нормальні навантаження на колеса переднього і заднього мостів,

мм

2.2 Дослідження сил і моментів, що діють на трактор в горизонтальній площині

Схема сил, які діють на машинний агрегат в горизонтальній площині приведена на рис. 2.12. Рівнодіюча всіх сил опору ґрунту, яка прикладена до робочих органів плуга представлена поздовжньою складовою реакції R_x і бічною R_y .

Рівняння рівноваги агрегату під дією прикладених до нього сил і моментів мають вигляд:

$$\begin{aligned}\Sigma X &= P_{ГК} + R_x - T_{\partial} \times f_{\partial} - Z_3 \times f_3 \\ \Sigma Y &= R_y - T_1 + T_2 - T_{\partial}\end{aligned}\quad (2.7)$$

$$\Sigma M = T_{\partial}(1_{\partial} + 1_0 + L) - T_2 \times L - T_{\partial} \times f_{\partial}(B_{\partial} - B) - Z_3 \times f_3(B_3 - B) - R_y(1_c + 1_0 + L) - R_x(B - B_c)$$

Звідки:

$$T_1 = T_2 - T_{\partial} + R_y,$$

$$T_2 = \frac{-Z_3 \times f(B_3 - B) + T_{\partial}[1_{\partial} + 1_0 + L + f_{\partial}(B_{\partial} - B)] - R_y(1_c + 1_0 + L) - R_x(B - B_c)}{L}\quad (2.8)$$

де $B = \frac{B_T + B_K}{2} + C$ - відстань від поздовжньої осі трактора до стінки борозни;

$P_{ГК}$ - тягове зусилля на гаку, Н;

R_x, R_y - складові тягового опору плуга, Н;

Z_3 - реакція ґрунту на опорному колесі, Н;

T_1, T_2 - реакції ґрунту на колеса переднього і заднього мостів, Н;

T_{∂} - реакція ґрунту на польову дошку плуга, Н;

B_T - база трактора, мм;

B_K - ширина колеса трактора, мм;

C - відстань від стінки борозни до колеса, мм;

f_{∂} - коефіцієнт тертя польових дошок об стінку борозни;

f_3 - коефіцієнт кочення опорного колеса плуга.

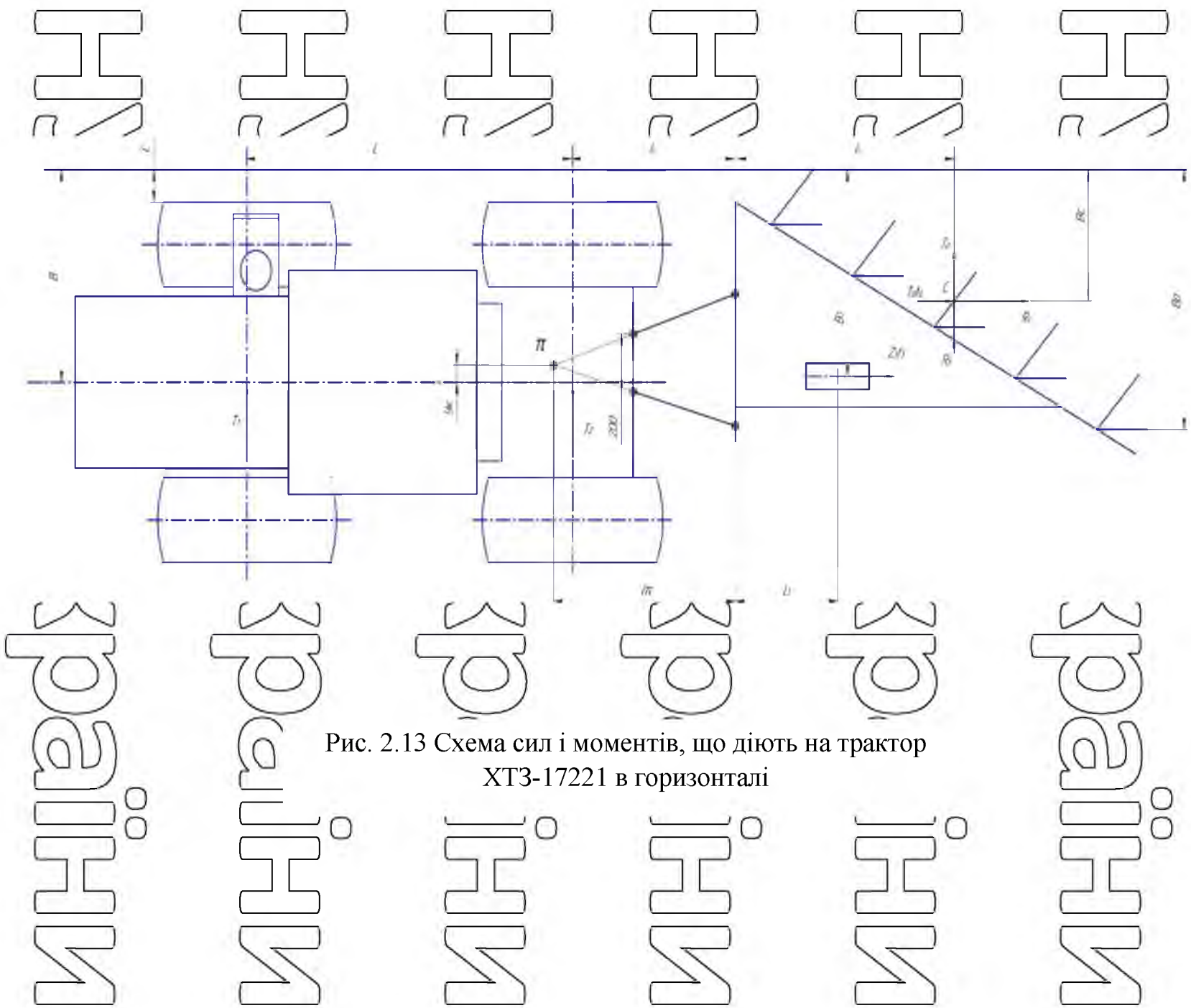


Рис. 2.13 Схема сил і моментів, що діють на трактор ХТЗ-17221 в горизонталі

Z_3 - реакція ґрунту на опорному колесі, Н;

T_1, T_2 - реакція ґрунту на колеса переднього і заднього мостів, Н;

T_θ - реакція ґрунту на польову дошку плуга, Н;

B_T - база трактора, мм;

B_K - ширина колеса трактора, мм;

C - відстань, від стінки борозни до колеса;

f_θ - коефіцієнт тертя польових дошок об стінку борозни;

f_3 - коефіцієнт кочення опорного колеса плуга.

Приймаємо: $1_c = 1_\theta = 2190$ мм; $1_o = 1_\pi + 540$ мм; $L = 2860$ мм;

$B_c = B_\theta = 875$ мм; $B_3 = 1250$ мм; $C = 200$ мм;

$f_\theta = 0,5$; $f_3 = 0,1$.

Значення нормальної реакції, яка діє на опорне колесо плуга, визначаємо із рівняння 2.5.

Із рівняння моментів всіх сил, які діють на плуг відносно точки МЦО, можна визначити значення бічної реакції T_θ на стінку борозни на польову дошку:

$$T_\theta = \frac{R_y(1_c + 1_\pi) - R_x(D - B_c) - R_{z3} \times f_3(B_3 + D)C}{1_\pi + 1_\theta + f_\theta \times (B_\theta + D)} \quad (2.9)$$

де 1_π - поздовжня координата МЦО в горизонтальній площині, мм;

D - відстань від стінки борозни до МЦО в горизонтальній площині, $D = 1280$ мм.

Зрозуміло, що реакція T_θ повинна бути якомога меншою оскільки із збільшенням, зростає тяговий опір плуга.

Вираз 2.9 відносно горизонтальної координати МЦО (1_π) показує, що реакція T_θ тим менша, чим більше значення 1_π . Збільшення 1_π досягається за рахунок розведення передніх шарнірів кріплення поздовжніх тяг.

Вихідні дані для розрахунків:

1. Координати центру опору плуга т. С, мм:

• поздовжня - 2190

• поперечна - 875

2. Координати точки прикладання бічної реакції, мм:

• поздовжня - 3300

• поперечна - 1750

3. Відстань від стінки борозни до осі симетрії трактора, мм - 1430

Зміщення - 150 мм.

Результати розрахунків залежності реакції ґрунту на польові дошки T_{θ} і на колеса трактора T_1 і T_2 від значення горизонтальної координати МЦО 1_{π} в агрегаті з плугом ПЛН-5-35 при $R_x = 35$ кН, $R_y = 12.738$ кН $f_{\theta} = 0.5$ показані на рис. 2.13, 2.14.

Із приведених графіків видно, що при двох-точковій схемі кріплення ($1_{\pi} = 850$ мм) реакція T_{θ} , яка діє на польові дошки плуга, і реакції T_1 і T_2 , які діють на колеса трактора, більші чим при триточковій схемі.

Значно більше зниження реакції T_{θ} , T_1 і T_2 досягається при встановленні однієї польової дошки на останньому корпусі [20]. Реакція ґрунту на передній міст (T_1) збільшується на 1,1 кН, а на задній міст (T_2) зменшується на 1,6 кН при цьому T_2 змінює свій напрямок. Відповідно, при застосуванні плуга із п'ятьма польовими дошками трактор буде затягувати в борозну, а при одній польовій дошці - в борозну буде затягувати передній міст трактора.

Для подальшого дослідження ми зупинимось на стандартному плузі ПЛН-5-35, так як для використання плуга з однією польовою дошкою потрібно конструювати нову польову дошку, що можна рекомендувати заводам-виробникам.

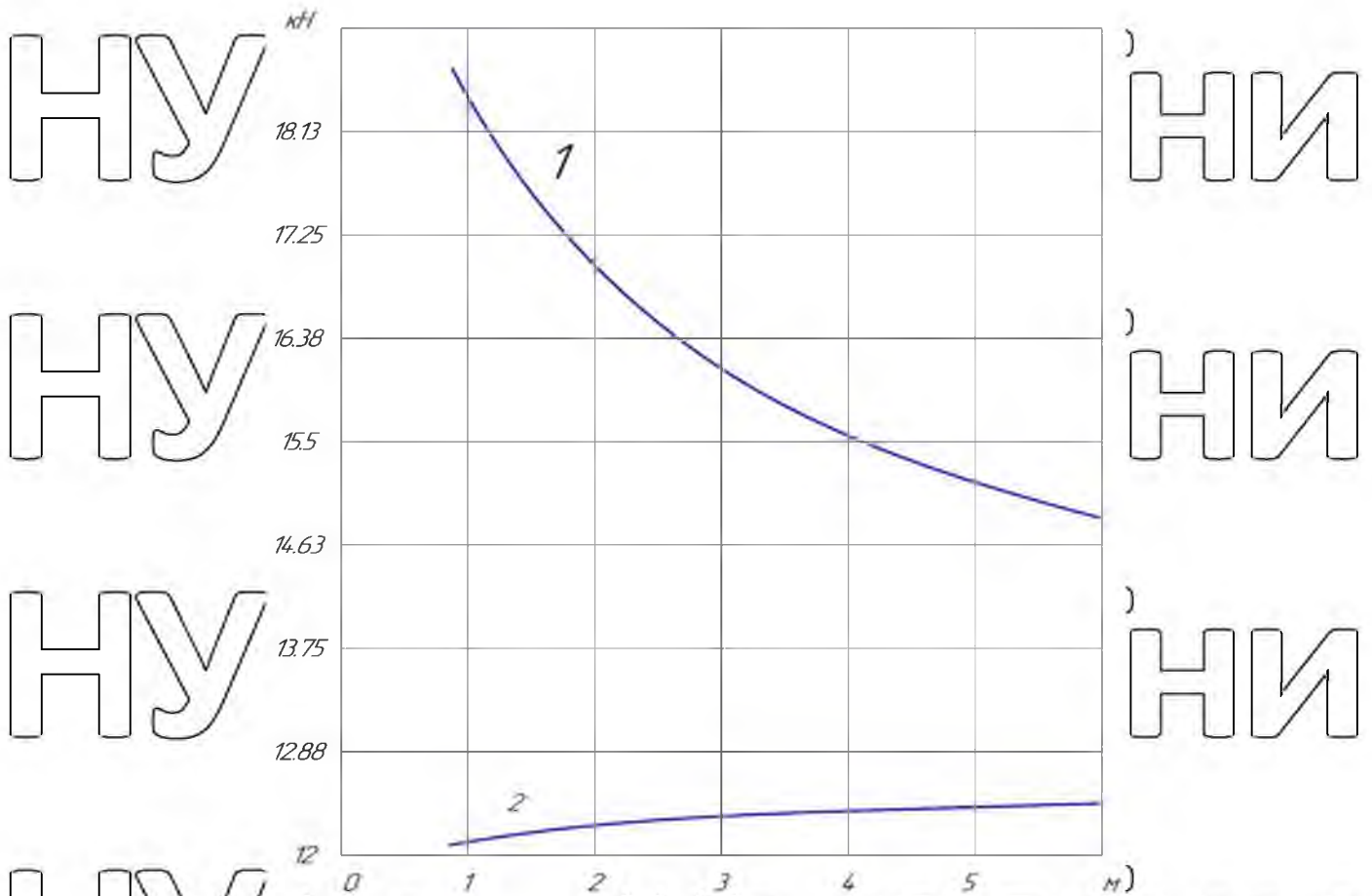


Рис. 2.13 Залежність реакції ґрунту на польову дошку від поздовжньої координати МЦО ЗНП в горизонтальній площині:

1) T_a при п'яти польових дошках, кН;

2) T_a при одній польовій дошці.

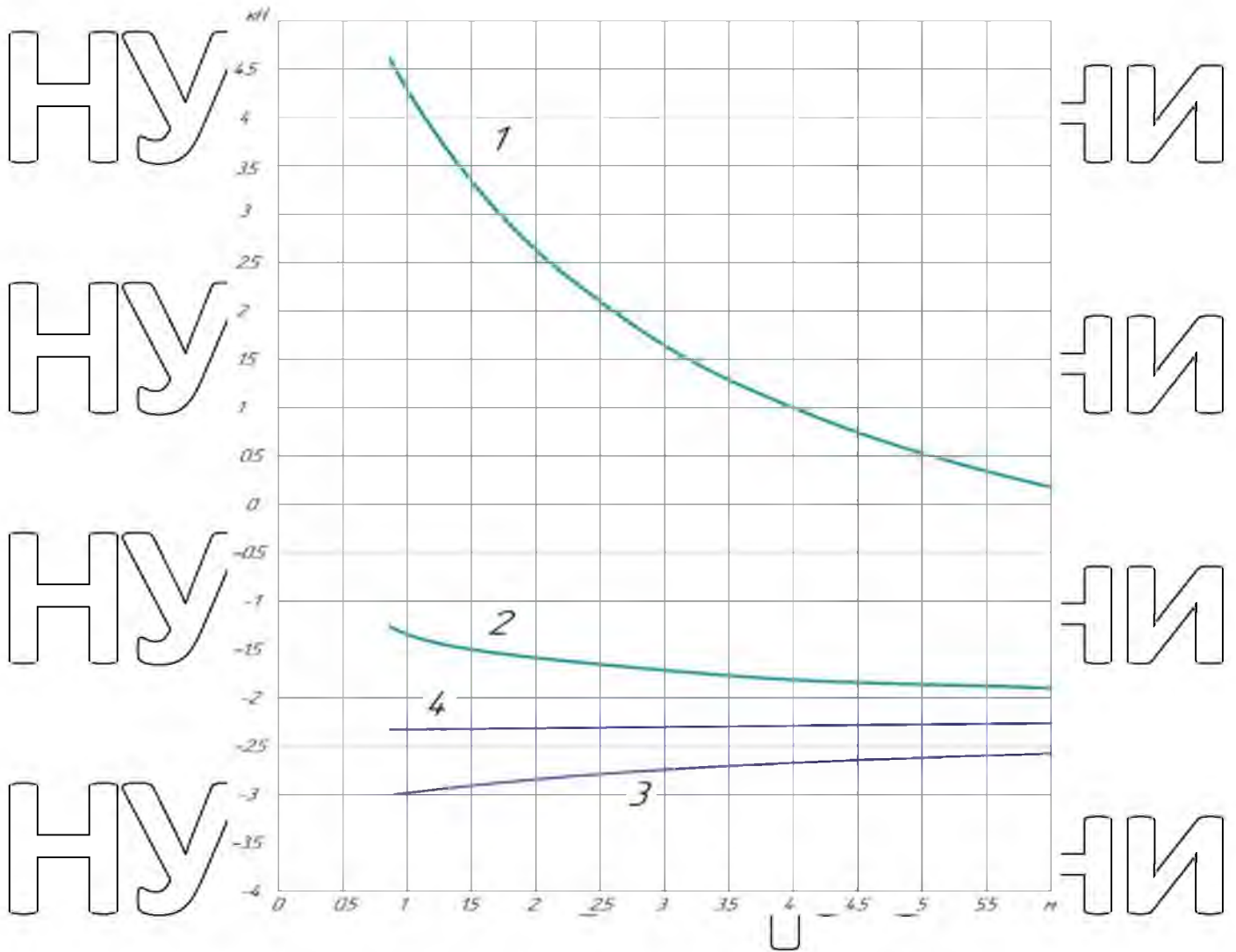


Рис. 2.14 Залежність реакції ґрунту на колеса переднього (T_1) і заднього (T_2) мостів від поздовжньої координати МЦО ЗНП в горизонтальній площині.

1,3- реакція ґрунту на колеса заднього мосту (T_2) відповідно при п'яти і одній польових дошках;

2,4 - реакція ґрунту на колеса переднього мосту відповідно при п'яти і одній польових дошках.

НУБІП України

Із залежності T_{σ} , T_1 і T_2 від горизонтальної координати (1_{π}) МЦО видно, що при збільшенні 1_{π} , тобто застосуванні трьохточкової схеми приєднання ЗНП в горизонтальній площині [30], зменшуються значення реакції ґрунту на польову дошку (T_{π}) і колеса заднього мосту (T_2) і на незначну величину збільшується реакція ґрунту на колеса переднього мосту (T_2). Досліджуючи вплив параметрів начіпного механізму в горизонтальній площині було вирішено застосувати трьох-точкову схему начіпки, при максимально-можливному розміщенні передніх шарнірів кріплення поздовжніх тяг і зміщенні МЦО в горизонтальній площині від осі симетрії фактору на 150 мм.

Внаслідок застосування три-точкової схеми приєднання $1_{\pi} \approx 1600$ мм були отримані наступні результати: зниження реакції ґрунту на польові дошки (T_{σ}) і на колеса заднього мосту трактора (T_2), відповідно на 1200 Н і 1400 Н, та зростання T_1 - 200 Н.

Наявність відхиляючого моменту, що обумовлений неспівпаданням лінії дії тягового опору технологічної машини з поздовжньою віссю симетрії викликає бічне відхилення шин, а як наслідок, і відхилення трактора від заданого напрямку руху [11,18,22]. Збереження прямолінійності руху колісного трактора супроводжується додатковими затратами потужності на перекочування, що призводить до погіршення тягових властивостей трактора.

Реакції ґрунту, що діють на колеса переднього (T_1) і заднього (T_2) мостів виникають в результаті неспівпадання лінії дії тягового опору технологічної машини.

Від величини бічних сил залежить максимальна дотична сила тяги можлива за зчепленням з опорною поверхнею [12]. Для стійкого руху трактора потрібно, щоб виконувались необхідна і достатня умови руху:

$$P_{q,qv} \geq P_{q,п} \leq P_{q,\phi} \quad (2.10)$$

де $P_{q,qv}$ – дотична сила тяги за двигуном необхідна для руху, Н;

$P_{q,п}$ – сума сил опору, Н;

$P_{q,\phi}$ – дотична сила тяги можлива за зчепленням, Н.

$$P_{q,qv} = (M \times i_{тр} \times \eta_{тр}) / r_k \quad (2.11)$$

$$P_{q,п} = P_{гк} + P_f \quad (2.12)$$

$$P_{q,\varphi} = \varphi \times G_{зч} \quad (2.13)$$

$$P_{q,\varphi} = \sqrt{(\varphi \times G_{зч})^2 - T^2} \quad (2.14)$$

де φ - коефіцієнт зчеплення, $\varphi = 0,6$;

$P_{гк}$ - тягове зусилля на гаку, з рівняння 2.7;

P_f - сума сил опору перекочуванню коліс переднього і заднього мостів, Н;

T - реакція ґрунту на колеса трактора, з рис. 2.14.

Максимальну дотичну силу тяги можливо за зчепленням з опорною поверхнею ($P_{q,\varphi}$) при наявності бічних сил визначають з рівняння 2.14, а при відсутності - 2.13. Результати розрахунків занесено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Результати досліджень у горизонтальній площині

Розташування МЦО ЗНП	Тяговий опір плуга R_x , кН	Сума сил опору $\Sigma R_{оп}$, кН	$P_{q,\varphi}$ з наявністю бічних сил, кН	$P_{q,\varphi}$ без бічних сил, кН
$l_{\pi} = 3400$ мм $h_{\pi} = 1030$ мм	35	52,165	53,834	54,263
$l_{\pi} = 3400$ мм $h_{\pi} = 1030$ мм	40	56,541	54,492	54,998
$l_{\pi} = 1200$ мм $h_{\pi} = 530$ мм	35	51,276	52,549	52,971
$l_{\pi} = 1200$ мм $h_{\pi} = 530$ мм	40	55,59	55,289	55,632

З табл. 2.1 видно, що при наявності бічних сил на колеса переднього і заднього мостів трактора можлива дотична сила тяги можлива за зчепленням зменшується на 300...400 Н.

Розглядаючи робоче положення стандартного ЗНП ($l_{\pi} = 3400$ мм, $h_{\pi} = 1030$ мм) при $R_x = 35$ кН достатня умова руху (2.10) виконується, але при збільшенні R_x до 40 кН умова 2.10 не виконується.

Аналізуючи експериментальний ЗНП ($l_{\pi} = 1200$ мм, $h_{\pi} = 530$ мм) видно, що при відсутності реакцій ґрунту на колеса переднього і заднього мостів умова 2.13 виконується в обох випадках. Це дає змогу використовувати трактор ХТЗ-1722 з технологічними машинами тяговий опір робочих органів в яких до 40 кН. Але при наявності бічних сил, тобто несиметричного розміщення технологічної машини відносно поздовжньої осі симетрії трактора, умова 2.14 не виконується.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЧІПНОГО МЕХАНІЗМУ ТРАКТОРА ХТЗ-17221

Щоб забезпечити високі тягово-швидкісні якості трактора ХТЗ-17221 при його роботі в складі орного агрегату, необхідно збільшити дотичну силу тяги, можливу за зчепленням ведучих коліс з опорною поверхнею, забезпечити рівність кінематичних радіусів кочення коліс переднього і заднього ведучих мостів, стійкість прямолінійного руху агрегату і задовільне кошування плугом рельєфу поверхні поля.

На основі виконаних досліджень і наших розрахунків для розв'язання цих задач необхідно підібрати певні кінематичні параметри заднього начіпного пристрою трактора ХТЗ-17221. Так, застосування дослідного ЗНП дало змогу забезпечити рівність приведених радіусів кочення ведучих коліс, тобто ліквідувати кінематичну невідповідність, що в свою чергу призводить до виникнення паразитної циркуляції потужності.

Для забезпечення потрібних кінематичних параметрів дослідного ЗНП потрібно змінити горизонтальну і вертикальну координати МЦО ЗНП за рахунок пониження переднього шарніру кріплення центральної тяги до трактора. Наближення горизонтальної координати (1_{π}) дало змогу довантажити колеса заднього мосту до 43830 Н; забезпечити оптимальний перерозподіл нормального навантаження між колесами переднього і заднього мостів для досягнення рівності приведених радіусів кочення ведучих коліс обох мостів.

Теоретичні розрахунки показують, що застосування дослідного ЗНП дає можливість агрегувати трактор ХТЗ-17221 з технологічними начіпними машинами тяговий опір яких може досягати 45 кН.

Для визначення ефективності застосування на тракторі ХТЗ-17221 дослідного ЗНП, порівняємо окремі параметри роботи трактора при стандартному і дослідному задньому націпному пристрою.

Розглянемо наскільки впливає положення МЦО ЗНП на величину буксування ведучих коліс трактора. Буксування ведучих коліс трактора визначаємо через коефіцієнт корисного використання зчеплення ($\varphi_{ГК}$):

$$\delta = \frac{0,156 \times \varphi_{ГК}}{1 - 2,96 \times \varphi_{ГК}^2} \quad (3.1)$$

$$\varphi_{ГК} = \frac{P_{ГК}}{G_{Зч}}, \quad (3.2)$$

де δ - коефіцієнт буксування;

$\varphi_{ГК}$ - коефіцієнт корисного використання зчеплення;

$P_{ГК}$ - сила тяги на гаку, визначаємо в п. 2.2, Н;

$G_{Зч}$ - зчїпна вага трактора (з врахуванням довантаження), Н.

Результати досліджень представлені у вигляді графіків залежності величини буксування від поздовжньої складової тягового опору плуга (R_x)

рис. 2.15, 2.16.

З графіку рис. (2.16) видно, що буксування рушіїв трактора ХТЗ-17221 з дослідним ЗНП знизилось до 9,2 %, що дало можливість підвищити робочу швидкість виконання оранки і досягти підвищення продуктивності, так як:

$$W_{Год.} = 0,1 \times B_p \times V_p \times \tau, \quad (3.3)$$

де $W_{Год.}$ - годинна продуктивність агрегату, га/год;

B_p - ширина захвату технологічної машини, м;

V_p - робоча швидкість руху, км/год;

τ - коефіцієнт використання робочого часу зміни.

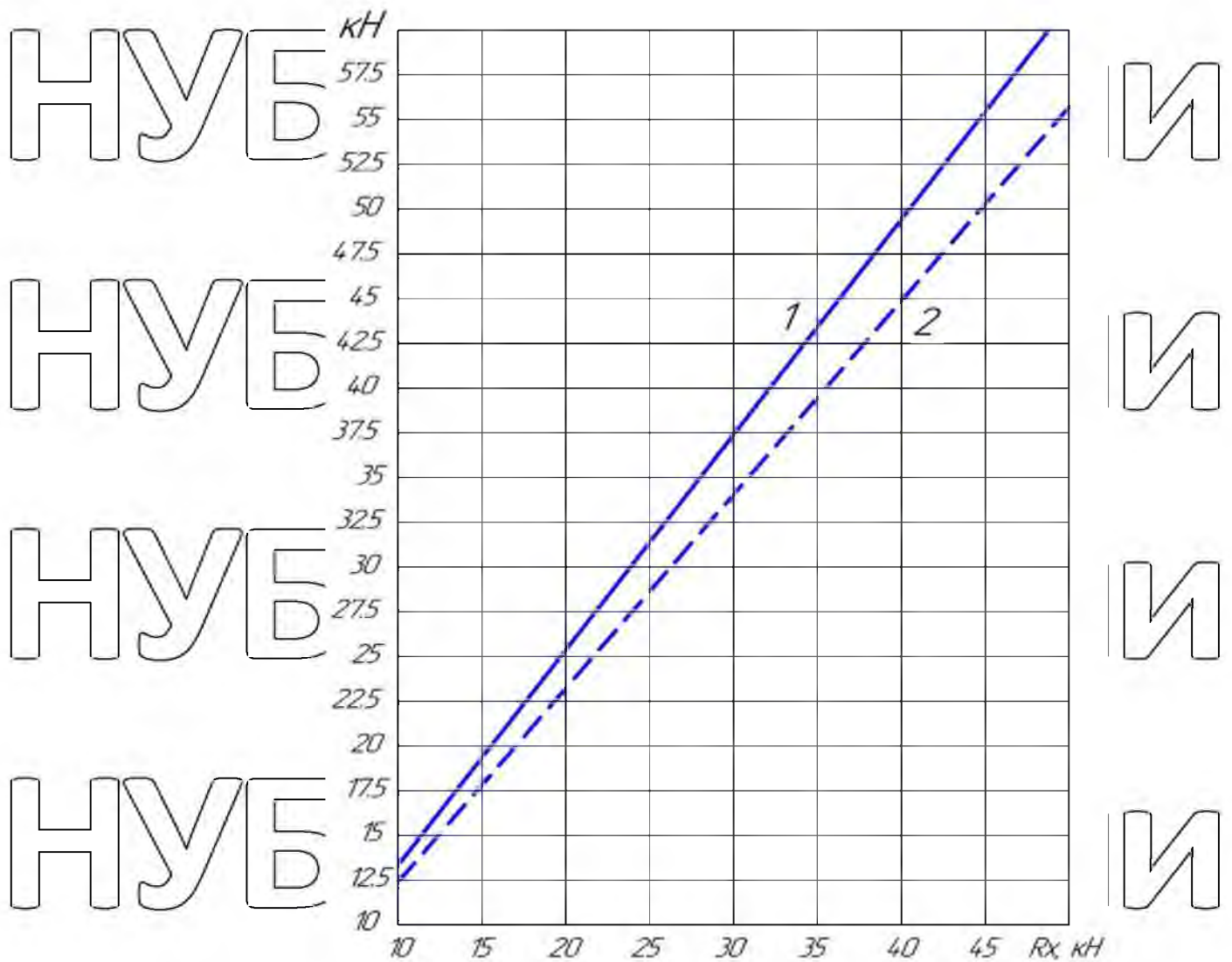


Рис. 2.15 Залежність тягової сили на гаку трактора ХТЗ-17221 від тягового опору плуга R_x :

- 1) $P_{тк}$ - стандартний варіант;
- 2) $P_{тк}$ - дослідний варіант.

НУБІП України

НУБІП України

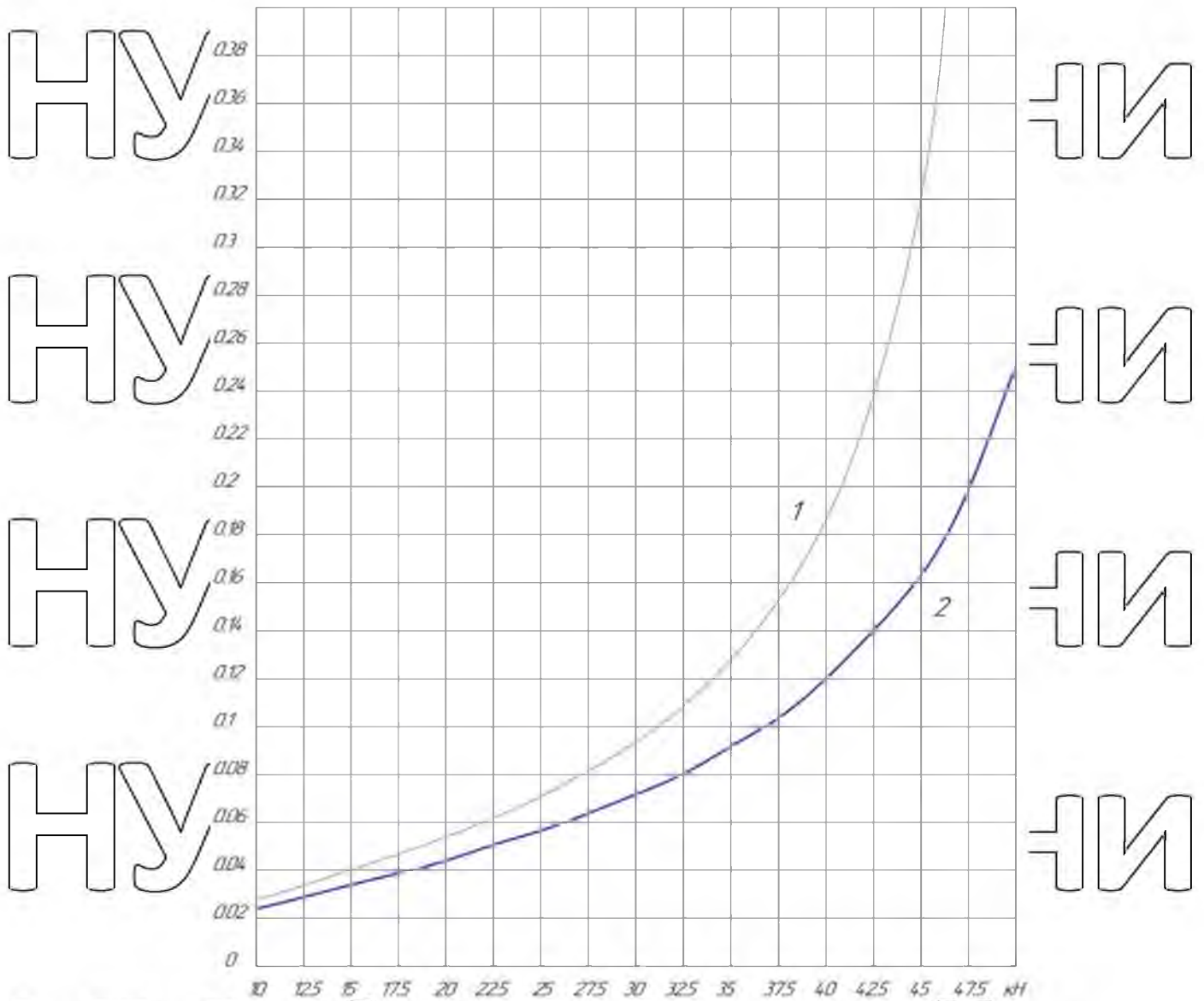


Рис. 2. б Залежність буксування від тягового опору плуга R_x :

1) δ стандартний варіант;

2) δ дослідний варіант.

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Основними показниками функціонування тракторів при виконанні механізованих польових робіт являються наступні: технологічні, енергетичні, технічні, економічні і ергономічні показники.

При визначенні економічної доцільності модернізації ЗНП трактора при виконанні енергомістких робіт, будемо порівнювати економічні показники тракторів ХТЗ-17221: з стандартним ЗНП і вдосконаленим.

До економічних показників відносять: змінну, денну або годинну продуктивність; питому витрату робочого часу; трудоемкість: питому витрату палива на одиницю виробітку; питомі енерговитрати і витрати грошових коштів на одиницю виробітку; питомі приведені експлуатаційні витрати та інші.

Проведемо розрахунки по визначенню економічних показників для даних тракторів і порівняємо їх між собою. Розрахунки будемо проводити для тракторів при виконанні ними певної технологічної операції оранки на глибину 30 см нащипним плугом ПЛН-5-35.

1. визначаємо продуктивність агрегату за зміну, га:

$$W_3 = 0.1 \times B \times V_p \times T_p \times \tau, \quad (4.1)$$

де B - ширина захвату плуга, м;

V_p - робоча швидкість руху (з врахуванням буксування), км/год;

T_p - тривалість зміни, год;

τ - коефіцієнт використання часу зміни.

$$V_T = V_T \times (1 - \delta), \quad (4.2)$$

де V - теоретична швидкість руху, км/год;

δ - коефіцієнт буксування, %.

НУБІП УКРАЇНИ

$$W'_{\text{год}} = 0.1 \times 1.75 \times 7.78(1 - 0.135) \times 7 \times 0.95 = 7.83 \text{ га},$$

$$W''_{\text{год}} = 0.1 \times 1.75 \times 7.78(1 - 0.092) \times 7 \times 0.95 = 8.27 \text{ га},$$

2. Визначаємо годинну продуктивність, га:

НУБІП УКРАЇНИ

$$W_{\text{год}} = \frac{W_z}{T_p} \quad (4.3)$$

$$W'_{\text{год}} = \frac{7.83}{7} = 1.11 \text{ га/год},$$

$$W''_{\text{год}} = \frac{8.27}{7} = 1.18 \text{ га/год}.$$

НУБІП УКРАЇНИ

3. Визначимо ступінь підвищення продуктивності, %:

$$ПП = \frac{W_{\text{год.м.}} - W_{\text{год.б.}}}{W_{\text{год.б.}}} \times 100\%, \quad (4.4)$$

$$ПП = \frac{1.18 - 1.11}{1.11} \times 100\% = 6.3.$$

НУБІП УКРАЇНИ

4. Визначимо річний об'єм робіт, га:

$$Q = W \times P_z, \quad (4.5)$$

НУБІП УКРАЇНИ

де P_z - річне завантаження, год.

$$Q = 1.11 \times 300 = 333 \text{ га},$$

$$Q = 1.18 \times 300 = 364 \text{ га}.$$

НУБІП УКРАЇНИ

5. Визначимо прямі експлуатаційні витрати на 1 га, грн:

$$C = C_a + C_{\text{зп}} + C_{\text{топр}} + C_{\text{пмм}}, \quad (4.6)$$

$$C' = 21,00 + 20,0 + 40,32 + 9,97 + 30,92 + 460,37 = 582,58 \text{ грн/га},$$

$$C'' = 9,20 + 10,90 + 40,09 + 9,92 + 30,70 + 430,8 = 531,61 \text{ грн/га}.$$

НУБІП УКРАЇНИ

6. Визначимо витрати на заробітну плату тракториста-машиніста, грн:

$$C_{зп} = \frac{H_p}{W_{год} \times T_p} \quad (4.7)$$

$C'_{зп} = \frac{28,59}{1,11 \cdot 7} = 3,67$ грн/га,
 $C''_{зп} = \frac{28,59}{1,18 \cdot 7} = 3,46$ грн/га.

7. Визначаємо амортизаційні відрахування, грн/га:

$C_a = \frac{B \times B_a}{100 \times W_{год} \times H_p} \quad (4.8)$

де H_a - норма відрахувань на амортизацію, %.

Трактора:

$C'_a = \frac{128400 \times 16,5}{100 \times 1,11 \times 1400} = 13,63$ грн/га,
 $C''_a = \frac{128400 \times 16,5}{100 \times 1,18 \times 1400} = 12,82$ грн/га.

Плуга:

$C'_a = \frac{60000 \times 13,8}{100 \times 1,11 \times 300} = 24,86$ грн/га,
 $C''_a = \frac{6236 \times 15}{100 \times 1,18 \times 300} = 23,38$ грн/га.

8. Обчислюємо витрати на ПР і ТО, грн/га:

$C_{прто} = \frac{B \times H_{прто}}{100 \times W_{год} \times H_3} \quad (4.9)$

де $H_{прто}$ - норма відрахувань на ПР і ТО, %.

НУБІП УКРАЇНИ

Трактора:

$$C'_{\text{прто}} = \frac{128400 \cdot 8}{100 \cdot 1,11 \cdot 1400} = 6,61 \text{ грн/га,}$$

$$C''_{\text{прто}} = \frac{12500 \cdot 8}{100 \cdot 1,18 \cdot 1400} = 6,05 \text{ грн/га,}$$

Плуга:

$$C'_{\text{прто}} = \frac{60000 \cdot 12,5}{100 \cdot 1,11 \cdot 300} = 22,52 \text{ грн/га,}$$

$$C''_{\text{прто}} = \frac{60000 \cdot 12,5}{100 \cdot 1,18 \cdot 300} = 21,18 \text{ грн/га,}$$

9. Визначаємо витрати на ПММ, грн/га:

$$C_{\text{ПММ}} = \frac{g_e \times N_e \times \eta}{W_{\text{год}} \times 1000} \times C, \quad (4.10)$$

де g_e - питома витрата палива, г /кВт-год; N_e - номінальна потужність двигуна, кВт; η - ККД використання потужності двигуна;

C - ціна 1 кг палива, грн.

$$C'_{\text{ПММ}} = \frac{250 \cdot 121,3 \cdot 0,9}{1,11 \cdot 1000} \times 28,45 = 699,52 \text{ грн/га,}$$

$$C''_{\text{ПММ}} = \frac{250 \cdot 121,3 \cdot 0,9}{1,18 \cdot 1000} \times 28,45 = 658,02 \text{ грн/га,}$$

10. Визначаємо затрати праці на 1 га, люд-тод/га:

$$P_z = \frac{1}{W_{\text{год}}}, \quad (4.11)$$

$$P'_z = \frac{1}{1,11} = 0,90,$$

$$P''_z = \frac{1}{1,18} = 0,84.$$

Дані розрахунків заносимо у табл. 4.1

Як показують розрахунки, використання трактора ХТЗ-17221 обладнаного дослідним варіантом ЗНП з навісним плугом ПЛН-5-35 дає можливість отримати кращі техніко-економічні показники: підвищення продуктивності, зменшення затрат праці і прямих експлуатаційних витрат на одиницю виконаної роботи.

НУБІП України

Техніко-економічні показники

Таблиця 4.1

Показники	Розмірність	Варіанти	
		Стандартні	Дослідний
Години продуктивність	га/год	1,11	1,18
Прямі експлуатаційні витрати	грн/га	582,52	531,61
Затрати праці	люд·тод/га	0,90	0,84
Підвищення продуктивності	%	-	6,3

ВИСНОВКИ

Отримано аналітичні залежності перерозподілу навантаження на колеса переднього і заднього ведучих мостів трактора ХТЗ-17221 при роботі з начіпним плугом ПЛН-5-35.

Виявлено вплив положення МЦО ЗНП на перерозподіл нормального навантаження на колеса переднього і заднього мостів та опорне колесо плуга.

Підтверджено, що однакові приведені радіуси кочення ведучих коліс переднього і заднього мостів досягається при різних нормальних навантаженнях на передній задній ведучі мости.

Виявлено, що бічні сили на ведучі колеса трактора призводять до зниження максимальної дотичної сили тяги можливої за зчепленням з опорною поверхнею.

Обґрунтовано раціональні параметри ЗНП при роботі трактора ХТЗ17221 з начіпним плугом ПЛН-5-35.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. - М.: Агрпромиздат, 1991.-с. 284.
2. В. Т. Томашевський, В. М. Пашин, В. Л. Александров., Конструювання і розрахунок сільськогосподарських тракторів. - Машинобудування 2014. - 888 с.
3. Яременко В. "Теорія механізмів і машин" / В. Яременко, О. Черниш, М. Березовий., 2018. - 464 с.
4. Кухаренко П.М. Сучасні підходи ефективної експлуатації та енергозбереження широкозахватних сільськогосподарських агрегатів / П.М. Кухаренко. - Вид. 181. - С.
5. Адамчук В. Сучасний стан та перспективи кадрового та наукового забезпечення галузі механізації сільського господарства / В. Адамчук, В. Булгаков // - Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. - 2011. - Вип. 15(29). - С. 20-29.
6. Гячев Л. В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов.- М.: Машиностроение, 1981.-с. 206.
7. Думай Л.Б., Мигаль А. Н. Агрегатування плуга © Трактором в горизонтальній площині, Трактора і сільськогосподарські машини, 1990. №1- с. 21-23.
8. Кальбус Г.Л. Гідропривід і навісні пристрої тракторів.- К.: Урожай, 1990.- с. 264.
9. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навч. Посібник (НП) / В.Т. Надикто [и др.]. - Мелітополь, 2005. - 337 с.
10. Ребров А. Ю. Анализ аналитических зависимостей для определения коэффициента буксования тракторных шин / А.Ю. Ребров, В.В. Кучков // Вісник Національного технічного університету «ХНУ». Сер. Автомобіле- та тракторобудування. - Харків. НТУ «ХНУ». - 2012. - №64. - с. 22-25.

11. Корсун Н.А. Агрегативання тракторів Т-150, Т-150К с сільськогосподарськими машинами. - М. Машинобудівництво 1975. 276 с.

12. Колчин С. Н. Задні навісні системи сучасних сільськогосподарських тракторів, Трактори і сільськогосподарські машини. 1991. №4- с. 47.

13. Керівництво по експлуатації «John Deere».

14. Кутьков Г.Н. Вибір раціональної схеми агрегативання мобільного енергетичного засобу с плугом, Трактори и сільськогосподарські машини. 1990. № 3.-с. 16.

15. Підвищення стійкості руху орного агрегату при зміні технічних параметрів системи керування. – Харків, 2006. – 46 - с.

16. Ляшенко П.Г. Тягові показники тракторів Т-150, Т-150К в умовах Лісостепу України. -В кн. Механізація і електрифікація сільського господарства.- К.: Урожай, 1973. Вид. 24- с. 26-30.

17. Потапов Н.Н. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2014. № 99. С. 58–68.

18. Ляшенко П.Г., Пожидаєв С. П. Вплив конструктивних параметрів заднього навісного пристрою (ЗНУ) трактора на кінематику машинно-тракторного агрегату з навісними знаряддями.- В кн.: Механізація і електрифікація сільського господарств.- К.: Урожай, 1982) вид. 55.- с. 48-54.

19. Нові моделі тракторів виробництва ХТЗ для аграрного комплексу, ред. С. П. Гудзя. Харків, ОАО ХТЗ 1998.

20. Панов И.М., Сакун В.А. Шляхи підвищення продуктивності орних агрегатів, Трактора і сільгоспмашини. - 1985. № 7- с. 21

21. Ребров А.Ю. Расчет тяговых характеристик МТА на базе колесного трактора с учетом нагрузочно-скоростных режимов работы двигателя / А.Ю. Ребров // Механіка та машинобудування.- Харків: НТУ «ХП». –

2010 – № 1. – С. 133-141.

22. Пожидаєв С.П. Тракторні властивості просапного агрегату з трактором Т-150К, 1983. № 1.

23. Пришкер П.Я. Регулирование силового воздействия навесных машин на трактор. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1997. № 6.- с. 16-19.

24. Рекомендации по технологии переналадки и агрегатирования тракторов Т 150, Т 150К.- К.: Урожай, 1977.- 42 с.

25. Adamchuk Valerii. Study of plane-parallel motion of machine combination / Valerii Adamchuk, Ievgenii Petrychenko, Jüri Olt, Alexander Lyvaruu // Proceedings of the 3rd International Conference "Optimization and Analysis of Structures" III. Tartu, Estonia, August 23-25, 2015. Editors: J. Lellep, E.

Rumaa. – p.p. 10-16

26. Таларчик В. Вплив схеми руху трактора з плугом на ущільнення ґрунту і стабільної роботи агрегату. Трактори і сільськогосподарські машини. 2001. № 8.

27. Трактор Т-151К. Інструкція з експлуатації по технічному обслуговуванню Т51К. 00.000-08 ИЭ Под ред. С.Л. Абдули, А.Н. Діденко. -Х.: 2001.

28. Трактор Т-150К. Інструкція з експлуатації по технічному обслуговуванню. 151 00.000. ТО: Под ред.. С.Л. Абдули, А.И. Коваля - 11-е вид., Х.: Трактор. 1983. - 310 с.

29. Beloev Hristo Theory of movement of the combined seeding unit / Hristo Beloev, Boris Borisov, Valerii Ivgenii Petrychenko // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – Volume 7 (2015) Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, (Gembloux, Belgium). – p.p. 21-26.

30. Чудаков Д.А. Основы теории сельскохозяйственных навесных агрегатов.- М.: Машгиз., 1998. -с 176.

31. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Чудаков Д.А. — Санкт-Петербург: Квадро, 2021. — 384 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL:

<https://www.iprbookshop.ru/103118.html> (дата обращения: 14.11.2021). —

Режим доступа: для авторизир. Пользователей

32. Шквиря А.С. Обоснование основных параметров поднавесного плуга и

механизма навески трактора Т-150К: диссертация на соискание ученой

степени канд. техн. наук. -Глеваха, 1984.- 175 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України