

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра тракторів, автомобілів та енергетичних засобів

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДИНАМІЧНОЇ
НАВАНТАЖЕНОСТІ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН»**

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

**СВАРИЧЕВСЬКИЙ Олексій
Анатолійович**

Керівник:

д.пед.н., професор

ДУГАНЕЦЬ Віктор Іванович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«_____» _____ 2024р.

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія», к.т.н., доцент

_____ **ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

м. Кам'янець-Подільський, 2024

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	4
АНОТАЦІЯ.....	5
РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВИХ ПЕРЕДАЧ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАДІЙНІСТЬ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН	10
1.1 Сучасні силові передачі гусеничних машин і вимоги до них при агрегативанні	10
1.2 Огляд відомих методів моделювання роботи силових передач гусеничних машин	19
1.3 Відомі методи і засоби зниження динамічних навантажень гусеничних машин	22
Висновки по розділу	25
РОЗДІЛ 2 ДИНАМІКА ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА ПРИ НЕРІВНО- МІРНОМУ РОЗПОДІЛІ НАВАНТАЖЕННЯ ПО БОРТАХ	27
2.1 Розподіл навантажень по бортах при симетричному і асиметричному тяговому навантаженні	27
2.2 Прозорість силової передачі з низькочастотних коливань тягового навантаження	33
2.3 Динамічна навантаженість силової передачі при рушанні трактора з місця	36
2.4 Динамічна навантаженість силової передачі при переключенні передач.....	40
2.5 Особливості динаміки силової передачі при поворотах і підворотах трактора	43
Висновки до розділу	47

РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНИЙ І ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ТРАКТОРА ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ	48
3.1 Визначення вертикальних реакцій на опорних ковзанках гусеничних рушіїв імовірнісним методом	48
3.2 Засоби захисту силової передачі від динамічних перевантажень.	49
Висновки по розділу.....	52
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНО НАВАНТАЖЕНИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН	53
4.1 Програма-методика експериментальних досліджень	53
4.2 Вимірювально-реєстраційний комплекс.....	58
4.3 Градування датчиків прискорення	62
Висновки до розділу	73
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇХ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	74
5.1 Динамічна навантаженість трансмісії в режимі усталеного руху МТА. Визначення структури завантаженості	74
5.2 Визначення пікових навантажень при плавному рушанні МТА з місця	85
5.3 Оцінка динамічної навантаженості трансмісії гусеничного трактора при перемиканні передач	87
5.4 Визначення навантаження трансмісії гусеничного трактора при заглибленні в ґрунт і підйомі плугів під час руху МТА	90
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дипломній роботі вирішене актуальне наукове завдання підвищення надійності гусеничних машин шляхом обмеження пікових навантажень в елементах ходової частини трансмісії трактора при різних режимах руху. В ході виконання роботи отримані наукові й практичні результати, що дозволило сформулювати наступні висновки:

1. Проведений аналіз результатів відомих науково-дослідних робіт й огляд літератури показали відсутність рекомендацій з оцінки динамічної навантаженості елементів трансмісії й ходової частини гусеничних машин, що не дозволяє визначити її вплив на показники надійності цих машин і розробити ефективні методи забезпечення цих показників надійності.

2. Дослідження навантаженості трансмісії при плавному рушанні гусеничного трактора дозволило визначити наступне:

- при рушанні трактора без тягового навантаження відзначена резонансна зона крутильних коливань на валу муфти зчеплення ДВС в проміжку часу 1 ... 1,2 с.

- при рушанні трактора із плугом елементи силової передачі перевантажені в середньому в 1,5-2,35 рази.

3. При агрегуванні гусеничного трактора із плугом силова передача як динамічна система не має фільтруючих властивостей й «прозора» до низькочастотних коливань у смузі частот $f \leq 5$ Гц.

4. При перемиканні з нижчої на вищу передачу гусеничної машини з тяговим навантаженням у проміжку часу 0-2,4 с відзначений коливальний перехідний процес, при якому всі елементи трансмісії перевантажені в 1,4-2,3 рази. При перемиканні з вищої на нижчу передачу відзначені короткочасні негативні крутні моменти, що не перевищують за своєю величиною середнього моменту при усталеному русі машини.

5. Отримані залежності дозволяють визначити середнє значення вертикального навантаження на кожний опорний коток гусеничного рушія і її розсіювання залежно від величини зсуву лінії дії сумарної вертикальної реакції щодо проекції центра мас трактора на опорну площину.

6. Елементи силової передачі правого борта трактора Т-150 при агрегуванні із плугами навантажені в 1,3-1,5 рази вище, ніж лівого при підвищенні динамічного складового навантаження на 6-8%. Співвідношення динамічної й статичної складових навантаження елементів силової передачі лівого борта вище в порівнянні із правим бортом на 4-10%.

7. При підворотах гусеничного трактора з тяговим навантаженням елементи силової передачі борта, що забігає, у проміжку часу 0-2,5 с перевантажені в 1,5-2,3 рази в порівнянні зі значеннями крутного моменту при усталеному русі. На відстаючому борті відзначені короточасні негативні крутні моменти, що не перевищують по своїй величині середнього моменту при усталеному русі трактора. При поворотах гусеничного трактора з тяговим навантаженням зі збільшенням радіуса повороту на один метр навантаження напівосі борта, що забігає, зменшується на 60 Н·м.

8. Результати проведених досліджень дозволили запропонувати спосіб і пристрій, реалізовані в конструкції й прийняті до впровадження. Очікуваний економічний ефект від підвищення довговічності елементів підвіски складе близько 65 тисяч грн. на одну машину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кожевников С.И. Динамика машин с упругими звеньями / С.И. Кожевников - Киев: Изд-во АН УССР, 1991 - 160 с.
2. Голубенцев А.Н. Об одной задаче оптимизации переходных процессов для некоторых механических систем / Голубенцев А.Н., Лиховид П.И. (Динамика и прочность машин) - Харьков: Вища школа - 1991.-90-96с. Вып. 12.
3. Гринев В.Б. Оптимальное проектирование конструкций, имеющих заданные собственные частоты / Гринев В.Б., Филиппов А.П. (Прикладная механика) — 1981.—68-75с. т. VII.— Вып. 10.
4. Симеон Э.А. Использование конечноэлементных моделей для

оптимизации конструкций при динамических воздействиях. Анализ чувствительности. Условия оптимальности / Э.А. Симеон (Динамика и прочность машин) — Харьков: Вища школа — 1986.- 66-76с. Вып. 43.

5. Штейнвольф Л.И. Оптимальный синтез конструктивных параметров упругих соединений / Л.И. Штейнвольф (Теория машин и механизмов) — Харьков: Высшая школа — 1984.- 102-107с. Вып. 17.

6. Болдовский В.Н. Разработка системы контроля ускорений тягово-транспортных средств / В.Н. Болдовский, Д. М. Клец // Вісник КІПУ. — 2009. — 42-44с. Вип. 18.

7. Харитончик Е.М. О методах определения оптимальных параметров и номинальных тяговых усилий трактора / Харитончик Е.М., Васильев В.К. // Тракторы и сельхозмашины. — 1989.- 15-17с; №2.

8. Шаров М.А. К вопросу об оптимальных параметрах гусеничного трактора класса 3т / Шаров М.А., Григорьев Е.А. // Тракторы и сельхозмашины. 1987.- 9-11с. № II.

9. Косонь И.М. К вопросу приближенного определения величины оптимальной силы тяги гусеничного трактора / И.М. Косонь. // Тракторы и сельхозмашины. — 1998. - С. 11-13. - № 8.

10. Мининзон В.И. О номинальном тяговом усилии сельскохозяйственного трактора / В.И. Мининзон // Механизация и электрификация соц. с.- х. - 1995.- 17-20с. №5.

11. Велев Н.Н. О методах определения оптимального тягового режима трактора / Н.Н. Велев. // Тракторы и сельхозмашины.-1986.- 13-19с; № I.

12. Анилович В.Я. Элементы теории защиты при обеспечении надежности машин / Анилович В.Я., Лупандина А.П. Респ. межвед. сб. науч. тр.- Киев, Наук. думка, 1988. - № 13.

13. Ильченко В.Е. Прибор для контроля режима работы двигателя / В.Е. Ильченко // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. — 1982.- 15-17с.- №5.

14. Каменецкий В.А., Соловейчик А.А., Хохлин В.Я. Комбинированная система автоматического регулирования загрузки двигателя с.-х. трактора

с бесступенчатой трансмиссией // Тракторы и сельхозмашины. - 1986.-№ 4. - С. 11-13.

15. Подригало М.А. Вероятностная оценка распределения вертикальных реакций между колесами одной оси автомобиля / Подригало М.А., Карпенко В.А. // Тракторная энергетика в растениеводстве. Серия Тракторостроение. Сборник научных трудов ХГТУСХ, 1999. –229-234 с.

16. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А., Гецович Е.М., Бобошко А.А., Ефимчук В.М., Матырин А.Н. / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 614 с.

17. Коденко М.Н. Динамика управления движением гусеничных тракторов / М.Н. Коденко – Х.: Вища школа, 1983. – 128 с.

18. Иванцов В.Э. Резервы повышения эффективности гусеничного МТА / Иванцов В.Э., Долгов И.А. // Тракторы и сельхозмашины. – 2005.- 15-17с. - №4.

19. ГОСТ 23604-99. Надежность в технике. Статистическая оценка машин и механизмов. Методы обработки данных о нагружении.

20. Шеховцов В.В. Исследование резонансных режимов силовой передачи трактора ВТ-100 / Шеховцов В.В., Шевчук В.П., Зленко С.В. // Тракторы и сельхозмашины. – 2002. - №7. – с.11-13.

21. Коденко М.Н. Динамика управления движением гусеничных тракторов / М.Н. Коденко – Х.: Вища школа, 1983. – 128с.

22. Трактор Т150. Инструкция по эксплуатации. –Х.: Прапор,1981 – 276с

23. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.А. Карпенко, А.Т. Лебедев, В.А. Перегон, В.П. Самородов, А.Н. Туренко. – Х.: ХГАТУ, 2001. – 642 с.

24. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.А. Карпенко, А.Т. Лебедев, В.А. Перегон, В.П. Самородов, А.Н. Туренко. – Х.: ХГАТУ, 2001. – 642 с.

25. Коденко М.Н. Динамика управления движением гусеничных

тракторів / М.Н. Коденко – Х.: Вища школа, 1983. – 128с.

26. Иванцов В.Д. Резервы повышения эффективности гусеничного пахотного МТА / Иванцов В.Д., Долгов И.А. // Тракторы и сельхозмашины. – 2005.– 15-17с. - №4.

27. Шипилевский Б.Б. Особенности динамики неустановившегося поворота гусеничного трактора с разностно-скоростным механизмом / Б.Б. Шипилевский // Тракторы и сельхозмашины, - 1985. – 10-12с. - №5.

28. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А., Гецович Е.М., Бобошко А.А., Ефимчук В.М., Матырин А.Н. / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 614 с.

29. Динамика автомобиля / [Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В.] – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.

30. Косонь И.М. К вопросу приближенного определения величины оптимальной силы тяги гусеничного трактора / И.М. Косонь // Тракторы и сельхозмашины. – 1968.– 11-13с. – №8.

31. Мининзон В.И. О номинальном тяговом усилии сельскохозяйственного трактора / В.И. Мининзон // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1985.– 17-20с. – №5.

32. Моха мед Хасан Разработка методов и средств защиты агрегатов шасси трактора от перегрузок с использованием человека – оператора: дисс. канд. техн. наук. – Харьков, 1988.

33. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00 25.06.2010. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М. А., Коробко А.И., Клец Д. М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. - № u 2010 01136; заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

34. Исследование динамики тягово-транспортного средства при движении на уклоне / [М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец, В.В. Задорожная, А.В. Кот] / Праці ТДАТУ. — Мелітополь. – 85–91с. Вип. 10 - Т.5

35. ГОСТ 23 604-99. Надежность техники. Критическая оценка надежности машин и механизмов методы обработки данными с нагруженности.

36. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. - 51 с.