

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

Кафедра тракторів, автомобілів та енергетичних засобів

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ ШЛЯХОМ
ЗНИЖЕННЯ КОЛИВАНЬ У ХОДОВИХ ЧАСТИНАХ»**

Виконав:

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

ПОВХ Дмитро Русланович

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. СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ З УРАХУВАННЯМ КОЛИВАНЬ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ.....	9
1.1 Аналіз досліджень в області динаміки систем тіл і вібронавантаженості конструкцій колісних машин	11
1.2 Аналіз джерел коливань елементів машинно-тракторного агрегату.....	12
1.3 Вплив профілю опорної поверхні на динаміку елементів агрегату	15
1.4 Способи зниження коливань машинно-тракторних агрегатів	19
Висновки до розділу та обґрунтування напрямку дослідження	21
РОЗДІЛ 2. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ДИНАМІКА МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРОФІЛЮ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ Й КОЛИВАНЬ В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ.....	23
2.1 Метод оцінки динаміки енергетичного засобу з урахуванням впливу профілю опорної поверхні.....	24
2.2 Динаміка просторового руху машинно-тракторного агрегату з урахуванням впливу профілю опорної поверхні.....	27
2.3 Оцінка впливу профілю опорної поверхні на динаміку машинно-тракторного агрегату	31
Висновки до розділу.....	32
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
3.1 Мета, об'єкт та задачі лабораторно-польових досліджень.....	35
3.2 Структура вимірювальної системи.....	37
3.3 Методика проведення експериментальних досліджень.....	39
3.4 Метод динамічного тарування датчику динаміки колеса.....	41

3.5 Градування електронного динамометру.....	46
Висновки до розділу.....	49
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ.....	51
4.1 Техніко-експлуатаційні показники посівного машинно-тракторного агрегату	51
4.2 Визначення спектральної щільності тягового опору сівалки.....	53
4.3 Дослідження впливу швидкості руху та тягового зусилля на коливання трактора.....	56
4.4 Експериментальна оцінка впливу типу рушіїв та баластування на тягові показники трактора.....	58
4.5 Перевірка адекватності математичної моделі динаміки.....	62
4.6 Впровадження результатів дослідження у виробництво.....	63
Висновки по розділу.....	65
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
РОБОТИ.....	68
5.1 Метод оцінки економічної ефективності застосування здвоєних шин та баластування.....	68
5.2 Результати оцінки економічної ефективності застосування здвоєних шин та баластування.....	70
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведеним узагальненням відомих досліджень встановлено, що залишається не вирішеною задача зниження коливань елементів багатоелементного МТА у тривимірному просторі застосуванням здвоєних колісних систем та баластуванням з урахуванням профілю опорної поверхні. Підвищення продуктивності МТА призводить до збільшення динамічної навантаженості елементів агрегату, підвищення рівня коливань та вібрацій.

Коливання елементів агрегатів, які виникають при виконанні технологічних операцій, призводять до порушення агротехнічних вимог, знижують тягово-зчіпні властивості ЕЗ.

2. Вирішено науково-прикладну задачу, спрямовану на підвищення ефективності експлуатації МТА в складі енергетичного засобу шарнірно-з'єднаної компоновки та напівпричіпної сівалки. За допомогою розробленої математичної моделі руху МТА обґрунтовано взаємозв'язок динаміки та форми профіля опорної поверхні з урахуванням коливань елементів в тривимірному просторі, що дозволила визначити проєкції швидкостей та кути орієнтації елементів агрегату. Закономірності відрізняються від відомих врахуванням типу колісних систем та баластування ЕЗ.

3. Рух елементів МТА супроводжується коливальними процесами. Розмах коливань кута повороту рами ЕЗ навколо осі x складає 0,07 рад, період – 0,63 с; коливання навколо осі y мають вигляд затухаючих, розмах яких складає 0,03 рад з періодом 0,66 с. Найбільша енергія амплітуди віброприскорень рами ЕЗ у вертикальному напрямі спостерігається на частоті 15,9 Гц зі значенням $2,188 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$; друга гармоніка $S_{az1}(23,44) = 0,386 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$; третя – $S_{az1}(35,3) = 0,144 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$ та четверта – $S_{az1}(42,87) = 0,24 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$. Найбільша енергія амплітуди віброприскорень рами сівалки у вертикальному напрямі спостерігається на частоті 15,9 Гц зі значенням 0,539; друга гармоніка $S_{az2}(23,44) = 0,107 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$; третя – $S_{az2}(35,3) = 0,031 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$ та четверта – $S_{az2}(42,87) = 0,059 \text{ (м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$.

4. Встановлення на задню півраму ЕЗ баласту масою 1500 кг приводить до зниження спектральної щільності амплітуд віброприскорень центра мас трактора у вертикальному напрямі на 0,12, 0,04, 0,16, 0,021 $\text{(м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$ для частот 15,9, 23,4, 35,3, 42,8 Гц. Спектральна щільність амплітуд віброприскорень центра мас сівалки знижується на 0,051, 0,01, 0,0045, 0,0058 $\text{(м/с}^2\text{)}^2/\text{Гц}$.

5. Підвищення маси ЕЗ на 1500 кг приводить до зниження буксування коліс з 5,9 до 1,8 % при $R_{кр} = 13000 \text{ Н}$, з 33,5 до 10,3 % при $R_{кр} = 32000 \text{ Н}$ та з 41,8 до 15,9 % при $R_{кр} = 35300 \text{ Н}$. Максимальна тягова потужність ЕЗ на одинарних колесах без баласту 121 кВт досягається при швидкості 12 км/год; тягова потужність ЕЗ на одинарних колесах з баластом 122 кВт – при швидкості 15 км/год; ЕЗ на здвоєних колесах без баласту розвиває максимальну тягову потужність 121 кВт при 14,5 км/год.

6. Точність визначення буксування коліс ЕЗ розробленим датчика динаміки колеса складає 1%. Датчик обладнано трьохосьовими магнітометром, акселерометром та гіроскопом. Розроблено метод динамічного тарування

датчику динаміки колеса який полягає в обертанні його навколо трьох осей з трьома кутовими швидкостями.

7. За результатами експлуатаційно-технологічних досліджень МТА у складі ХТЗ-242К.20 + Vega-8 Profi встановлено, що застосування здвоєних коліс на тракторі приводить до підвищення швидкості руху на 4,1 %, зниження витрати палива на 0,5 кг/га. Баластування – приводить до підвищення швидкості на 5,2 %, зниження витрати палива на 0,6 кг/га. Визначено, що розбіжність між експериментальними значеннями спектральних щільностей амплітуд віброприскорень центру мас трактора у вертикальному напрямі та теоретичними не перевищує 11 %.

8. Застосування здвоєних колісних систем забезпечує річний економічний ефект на сівбі – 50730 грн з терміном окупності додаткових капіталовкладень 0,68 р. Баластування трактора вагою 1500 кг забезпечує річний економічний ефект – 64260 грн. з окупністю додаткових капіталовкладень – 0,23 р. Результати дослідження впроваджено на ТОВ «Оболонь-Агро» з економічним ефектом 932 тис. грн. Впроваджено у навчальний процес Закладу вищої освіти» Подільський державний університет».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галич І. В., Антощенко Р. В. До аналізу впливу коливань елементів машинно-тракторного агрегату на динамічні та експлуатаційні показники. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, №9. 2017. С 103-107.
2. Шаповалов Ю. К., Мельник В. І., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Кісь В. М., Циганенко М. О., Качанов В. В., Галич І. В. Результати експериментальних досліджень тягової динаміки трактора ХТЗ-242К. *Інженерія природо-користування*. Харків: ХНТУСГ. 2018. №1(9). С. 6-15.
3. Шаповалов Ю. К., Мельник В. І., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Кісь В. М., Галич І. В., Никифоров А. О., Богданович С. А., Лук'яненко О. В. Результати експериментальних досліджень тягової динаміки чотирьох гусеничного трактора ХТЗ-280Т. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2018. Вип. 190. С. 243-

4. Галич І. В., Антощенко Р. В., Антощенко В. М. До дослідження динаміки трактора з шарнірно-з'єднаною рамою і урахуванням нерівності опорної поверхні. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНТУСГ. 2019. № 2 (12). С. 28-37.

5. Мельник В. І., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Кісь В. М., Галич І. В. Результати експериментальних досліджень тягової динаміки трактора ХТЗ-243К. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2019. Вип. 198. 2019. С. 181-187.

6. Галич І. В. Аналіз джерел вібрацій та коливань елементів машинно-тракторного агрегату. *Подільський вісник*. Кам'янець-Подільський, 2019, Вип. 30. С. 72-79.

7. Галич І. В., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Дюндик С. М., Жарко Ю. Г. Динаміка одинарних та здвоєних колісних систем трактора у вертикальному напрямку. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНТУСГ. 2020. №4(18). С. 14-23.

8. Галич І. В. Підвищення ефективності експлуатації сільськогосподарських агрегатів зниженням коливань його елементів. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали ХХІ міжнар. наук. конф.* (м. Харків, 17-18 жовтня 2020 року). Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 231-232.

9. Галич І. В. Аналіз джерел коливань машинно-тракторних агрегатів. *Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції: збірник наукових праць міжнар. наук.-практ. конф.* Ч.2. (20-21 березня 2019 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль: Крок, 2019. С. 16-17.

10. Корсун А.О., Тюпа Д.В., Колодязний І.О., Антощенко Р.В., Галич І.В. Вимірjuвальна система динаміки та енергетики мобільних машин. *Сучасні проблеми взаємозамінності та стандартизації у машинобудуванні: матеріали VII всеукраїнської наук.-практ. конф.*

молодих учених і здобувачів вищої освіти. м. Миколаїв, 24-26 квітня 2019 року. Миколаїв: МНАУ. 2019. С 46-57.

11. Пат. 128467 Україна, МПК G01P 3/44 (2006.01) G01P 15/14 (2013.01) G01V 7/00. Спосіб для визначення динаміки колеса мобільної машини / Мельник В. І., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Галич І. В., Кашин Д. В.; заявник Антощенко Р. В., Антощенко В. М. – № у 2017 12480; заяв. 15.12.2017; надрук. 25.09.2018, Бюл. № 18.

12. Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Галич І. В., Антощенкова В. В., Козлов О. С.. Україна: ринок сільськогосподарської техніки. Аналіз та перспективи. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків: ХНТУСГ, 2019. Вип. 198. С. 194-200.

13. Антощенко В. Н., Антощенко Р. В., Галич І. В., Кулик О. Ю. Мехатронное мотор-колесо. *Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація: матер. всеукр. наук.-практ. конф.* Харків: ХНТУСГ. 2018. С. 56-57.

14. Дюндик С. М., Кісь В. М., Галич І. В., Обґрунтування методу дослідження динаміки автомобіля спеціального призначення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2019. Вип. 198. С. 292–300.

15. Лебедев А. Т. Научно-инновационные аспекты теории трактора. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 156. С. 272-281.

16. Нефедов А. М. Мониторинг технического уровня перспективных отечественных тракторов для аграриев. *Основные средства*. 2012. №10.

17. Нефедов А. М. Парад новинок зарубежных сельхозтракторов средней и высокой мощности. *Основные средства*. 2013. №5.

18. Мельник В. І. Наукові основи екологічно ощадних технологій і технічних засобів для внесення рідких добрив та хімзахисту рослин: дис....докт. техн. наук: 05.05.11 / Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2010. 516 с.

19. Надикто В. Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації. *Техніка і технології АПК*. 2011. №9. С. 8-11.

20. Надикто В. Т. Агрегативання як розділ землеробської механіки. *Техніка і технології АПК*. 2015. № 4. С. 11-14.

21. Коваль С., Погорілий В., Шейченко В., Гусар В., Любченко С. Оцінка рівня технічного забезпечення систем обробітку ґрунту та посіву. *Техніка АПК*. 2007. №10. С. 10-11.

22. Адамчук В. В. Булгаков В. М., Надикто В. Т., Кюрчев В. М. Теоретичне обґрунтування типу колісних сільськогосподарських тракторів для України. *Вісник аграрної науки*. 2017. №1. С. 43-47.

23. Андреев Ю. М. Аналитическое компьютерное построение первых интегралов уравнений движения дискретных механических систем. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях*, Харків, 2017. № 30. С. 5-11.

24. Артьомов М. П. Динамічна стабільність мобільних сільсько-господарських агрегатів: дис....докт. техн. наук: 05.05.11. Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2014. 317 с.

25. Козаченко О. В. Ресурсозбереження в сільськогосподарських агрегатах при виконанні технологічних операцій у рослинництві: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11. Харківський

національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2006. 317 с.

26. Кюрчев В. М. Механіко-технологічні основи агрегування орно-просапних тракторів: дис....д-ра техн. наук: 05.05.11, Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". Глеваха, 2015. 440 с.

27. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: дис....докт. техн. наук: 05.05.11. Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2006. 374 с.

28. Самородов В. Б. Краснокутский В. М., Гриненко Г. Г. Оптимізація параметрів конструкцій колісних тракторів при агрегуванні змінним навісним обладнанням і в транспортному режимі для середнього фермерського господарства. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2018. Вип. 192. С. 118-123.

29. Андрєєв Ю. М. Розробка аналітичних комп'ютерних методів аналізу та синтезу динаміки машин. Харків: «ХПІ», 2009. 40 с.

30. Подригало М., Назарько О. Динаміка одиночного колеса автомобіля в момент початку повного буксування. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів*. 2010. С. 61.

31. Золотаревская Д. И. Анализ влияния основных факторов на характеристики упругих свойств эластичных колес тракторов. *Тракторы и сельхозмашины*, 2018, №4. С. 71-78.

32. Лебедев А. Т., Антощенко Р. В. Математична модель руху комбінованого посівного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09 та сівалки прямої сівби АПП-6 при впливі оператора на рульове керування. *Системи обробки інформації*. Харків: ХУПС, 2009. Вип. 3 (77). С. 135-138.

33. Мазоренко Д. І., Антощенко Р. В. Результати моделювання

впливу оператора на рульове керування трактора ХТЗ-150К-09 в складі комбінованого посівного агрегату. *Системи управління, навігації та зв'язку*. К: ЦНДІ НУ, 2009. Вип. 2 (10). С. 93-96.

34. Чигарев Ю. В., Романюк Н. Н. Математическое моделирование определения вертикальных колебаний колесных тракторов при движении по неровностям. 2006. С. 154-161.

35. Артёмов Н. П. Повышение устойчивости движения пахотного агрегата при изменении технических параметров системы управления: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.05.11. Харьков: Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, 2006. 22 с.

36. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Харків: ХНТУСГ, 2017. 244 с.

37. Антощенко Р. В., Тищенко Л. Н., Андреев Ю. М. К построению уравнений динамики многоэлементного машинно-тракторного агрегата. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2015. № 3 (79). С. 69-79.

38. Антощенко Р. В., Лебедєв А. Т. Визначення ефективної структури посівного машинно-тракторного агрегату. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К.: НУБіП, 2015. Вип. 226. С. 146-151.

39. Артьомов М. П. Навантаження на колеса від зміни вертикальних прискорень в процесі руху сільськогосподарського агрегату. *Інженерія природокористування*, 3(17), С. 23-28.

40. Кожушко А. П., Григор'єв О. Л. Моделювання пов'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямому шляху зі складним рельєфом. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях*. 2018. №27. С. 34-61.

41. Камбулов С. И., Рыков В. Б., Божко И. В., Колесник В. В. Характеристика внешних воздействий на работу машинно-тракторных агрегатов. *Тракторы и сельхозмашины*, 2017. №9, С. 45-51.

42. Партко С. А., Грошев Л. М., Сиротенко А. Н., Войнаш С. А. Особенности спектров нагрузок на агрегаты мобильных машин АПК в полевых условиях при запаздывании внешних воздействий. *Тракторы и сельхозмашины*, 2019. №2, С. 56-60.

43. Калінін Є.І. Частотний аналіз коливань гусеничних тракторів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2018. №22(36). С. 86-91.

44. Артьомов М. П., Шуляк М. Л., Колеснік І. В., Козлов Ю. Ю. Вплив коливання швидкості руху СГА на надійність технологічної операції. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип.163. С. 84-89.

45. Заборський В. П., Чуба В. В., Соларьов О. О. Кінематика руху та ущільнення ґрунту машинно–тракторними агрегатами: монографія. Київ: Прінтеко, 2020. 284 с.

46. 111. Лебедєв А. Т., Калінін Є. І. Оцінка можливості підвищення тягово-енергетичних властивостей машинно-тракторного агрегату при виконанні орних робіт на агрофоні підвищеної вологості шляхом встановлення здвоєних шин. *Тракторна енергетика в рослинництві. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків: ХНТУСГ, 2009. Вип. 89. С.37-45.

47. Калінін Є. І. Вплив обертання елементів трансмісії як пружної системи на власні коливання. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНТУСГ, 2016. №1(5). С. 24-28.

48. Надикто В. Т. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт. *Техніка і*

технології АПК, 2014. №7. С. 34-38.

49. Микитин Г. В. Основи метрології: навч. посіб. Львів: СПОЛОМ, 2008. 296 с.

50. Коваленко І. О. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти. Житомир, 2001. 651 с.

51. 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.