

УДК 629.3+504

№ держреєстрації 0121U109610

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)
61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25;
тел. (057) 700 38 52;

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д-р екон. наук, проф.

Ілля ДІМІТРІЄВ



ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО МАШИННОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ
ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ ТА
НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ
(остаточний)

Науковий керівник НДР
докт. техн. наук, проф.

Михайло ПОДРИГАЛО

2022

Рукопис закінчено 10.12.2022

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою ХНАДУ
від 15 грудня 2022 р. № 3

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 757 с., 286 рис., 33 табл., 451 джерело, 4 додатка

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МАШИННИЙ КОМПЛЕКС, ТРАНСПОРТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ГІБРИДНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИВОД, МОДЕРНІЗАЦІЯ

Предмет дослідження (розробки) – теоретичні підстави і практичні засади для розробки енергоефективного машинного комплексу та його силових елементів для технічного обслуговування, доставки вантажів, заправки паливом та боєкомплектom з використанням модульних конструкцій на базі тракторів вітчизняного виробництва.

Об'єкт дослідження (розробки) – процеси створення нового енергоефективного машинного комплексу та модернізації транспортного парку Збройних Сил України (ЗСУ) та Національної Гвардії України (НГУ) з врахуванням потенціалу вітчизняного машинобудування та критичного імпорту агрегатів і вузлів.

Мета – підвищення боєздатності Збройних Сил та Національної Гвардії України шляхом покращення енергоефективності транспортних засобів (машинного комплексу) за рахунок розробки і впровадження синергетичних силових установок та удосконалення систем технічного обслуговування та ремонту.

Проблема, що вирішується – забезпечення боєздатності Повітряних Сил Збройних Сил України при обслуговуванні бойових літаків, створення зразків автомобільної техніки, яка має високі експлуатаційні властивості, високу енергоефективність та екологічність, покращені технічні характеристики вузлів і агрегатів, розробки енергоекономічної, високоефективної системи технічного обслуговування і ремонту, впровадження концепції нейромережевого та нейро-нечіткого управління з реалізацією метода навчання нейронної мережі.

Результати дослідження вирішують проблеми в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки України, які належать до сфери національної безпеки та оборони України, а саме підвищення боєздатності Збройних Сил та Національної Гвардії України шляхом впровадження нових енергоефективних транспортно-технологічних схем забезпечення боєздатності Повітряних Сил Збройних Сил України при обслуговуванні бойових літаків, створення зразків автомобільної техніки з врахуванням потенціалу вітчизняного машинобудування, яка має високі експлуатаційні властивості. Результати досліджень також мають подвійне призначення, вирішуючи аналогічну проблему покращення процесу наземного забезпечення польотів цивільної авіації, підвищення його енергоефективності та екологічності.

Наукова новизна результатів, що планується одержати в ході виконання проекту полягає в тому, що: запропоновані комплексні моделі нових транспортно-технологічних схем доставки вантажів для технічного обслуговування літаків, заправки паливом та боєкомплектom з використанням модульних конструкцій на базі тракторів вітчизняного виробництва, перевага яких над наявними враховують новий підхід до забезпечення боєздатності за рахунок використання модульних конструкцій. Наукову новизну також складає вперше запропонована концепція побудови силової установки синергетичного транспортного засобу, яка на відміну від існуючих аналогів реалізована на основі нейромережевого управління з функцією навчання нейронної мережі. Також новизна включає отримання динамічної моделі моторно-трансмісійної установки, що на відміну від відомої моделі враховує вплив роботи в до та за резонансних зонах частот, удосконалення методу структурного і параметричного синтезу моторно-трансмісійної установки в напрямку забезпечення вібростійкості та підвищення ККД, вперше визначені раціональні параметри демпфера крутильних коливань трансмісії.

ЗМІСТ

Вступ	12
1 Розробка теоретичних основ технології наземного транспортного забезпечення боєздатності на летовищах України.....	18
1.1 Аналіз сучасного стану теорії та практики транспортного обслуговування і транспортних процесів	19
1.2 Розробка нової технології виконання доставки засобів аеродромно-технічного обслуговування до повітряних суден	35
1.3 Розробка комплексних моделей нових транспортно-технологічних схем доставки вантажів	47
1.4 Побудова алгоритму визначення оптимальної кількості технологічних ресурсів функціональної підсистеми летовища	54
1.5 Розробка методики визначення оптимального розподілу транспортних ресурсів для підготовки повітряного судна до польотів	58
2 Розробка методів адаптації управління силовою установкою синергетичного транспортного засобу	70
2.1 Метод адаптації управління силовою установкою синергетичного транспортного засобу на підставі концепції нейромережевого та нейро-нечіткого управління з адаптивним критиком та моделі управління з реалізацією метода навчання нейронної мережі	70
2.2 Математична модель силової установки, яка відображає тягово-швидкісні характеристики синергетичного транспортного засобу на підставі використання апарата штучних нейронних мереж	93
2.3 Експериментальні дослідження при використанні розроблених математичних моделей і методів оптимізації	101
2.4 Науково-обґрунтовані рекомендації та математичне забезпечення для порівняльного аналізу різних конструктивних рішень силових установок синергетичних транспортних засобів	112

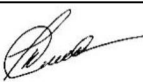
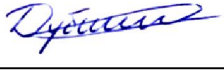
3 Розробка та дослідження методів підвищення енергоефективності механічних силових установок транспортних засобів	118
3.1 Методи оцінки коефіцієнта корисної дії і вібростійкості машинних агрегатів з ДВЗ	118
3.2 Удосконалення методів оцінки вібростійкості трансмісій автомобілів і тракторів	134
3.3 Динаміка моторно-трансмісійної установки з пружно-дисипативним демпфером крутих коливань	146
3.4 Оцінка стійкості роботи автомобільного двигуна за умови постійної кутової швидкості колінчастого вала	150
3.5 Забезпечення енергоефективності трансмісій автомобілів і тракторів при модернізації зі зміною кількості циліндрів ДВЗ	166
3.6 Структурний і параметричний синтез моторно-трансмісійних установок з багатоступінчастою трансмісією з трьома проміжними валами	175
3.7 Інерційний стенд для випробувань трансмісії автомобілів	189
3.8 Експериментальні дослідження динамічних властивостей вантажних колісних машин військового призначення	197
4 Системи автоматичного керування трансмісією та закони керування	217
4.1 Огляд існуючих законів керування зчепленням та коробкою передач у автоматичному режимі	217
4.2 Закони керування зчепленням	227
4.3 Оцінювання якості роботи системи керування зчепленням	240
4.4 Огляд і аналіз математичних моделей та теоретичних досліджень складових системи керування зчепленням	241
4.5 Огляд та аналіз моделей електромагнітних клапанів в математичних моделях систем керування електропневматичними апаратами	244
4.6 Огляд та аналіз серійних зразків автоматичних систем керування зчепленням	246

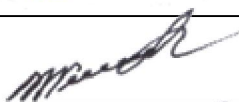
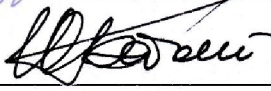
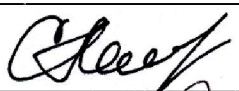
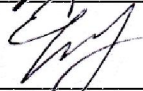
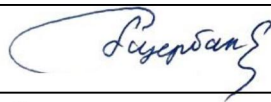
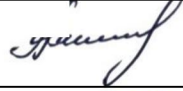
4.7 Реалізація компенсації зношування фрикційних накладок веденого диску зчеплення	255
4.8 Блок-схема математичної моделі двигуна та елементів трансмісії.....	258
4.9 Моделювання двигуна внутрішнього згоряння	259
4.10 Моделювання зчеплення	265
4.11 Моделювання інших елементів трансмісії	282
4.12 Моделювання опору коченню при початку руху	290
4.13 Моделювання кузова автотранспортного засобу	294
4.14 Математична модель виконавчого пристрою керування зчепленням ..	295
4.15 Математична модель електронного блоку керування	302
4.16 Моделювання водія	311
4.17 Концепція закону керування зчепленням під час його вмикання	317
4.18 Концепція керування зчепленням на різних режимах руху	334
4.19 Вплив реальних властивостей виконавчого пристрою керування зчепленням на робочий процес рушання АТЗ	337
4.20 Адаптація закону керування до різних режимів рушання	339
4.21 Забезпечення плавного торкання поверхонь тертя дисків зчеплення ...	347
4.22 Забезпечення плавного переходу від точки торкання дисків до положення штоку виконавчого пристрою	353
4.23 Визначення значення функції параметричної кривої Безьє за її аргументом.....	355
4.24 Фільтрація сигналів в системі керування зчепленням	356
4.25 Порівняння ручного та автоматичного керування	366
4.26 Використання режиму мікропроковзування	370
4.27 Експериментальні дослідження системи керування зчепленням	371
4.28 Методика визначення раціонального під'єднання апаратів керування гальмами для контурів гальмової системи машинного комплексу	378
5 Вибір та обґрунтування базової моделі вітчизняного дизеля, яка забезпечить формування потужнісного ряду в діапазоні 25-150 кВт. Розробка концепції	

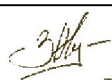
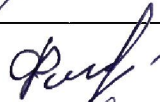
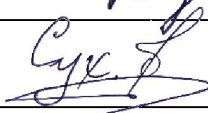
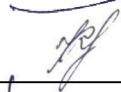
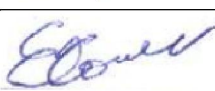
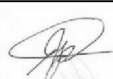
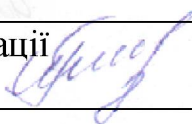
модульного підходу до формування уніфікованого потужнісного ряду транспортних дизелів	405
5.1 Обґрунтування вибору основних параметрів конструктивної бази для формування уніфікованого потужнісного ряду	407
5.2 Пропозиція основних технічних характеристик дизелів уніфікованого потужнісного ряду для військових транспортних засобів	422
5.3 Вибір параметрів та розробка принципів схем основних систем транспортного дизеля	431
5.4 Розробка принципового підходу до створення об'єктів фізичного моделювання дизелів потужнісного ряду та уніфікація інформаційно-вимірювальних систем	461
5.5 Методи експериментального дослідження робочого процесу в циліндрі дизеля потужнісного ряду	467
5.6 Формування науково-технічного підходу до процесу дослідження новітніх систем пуску та передпускової підготовки дизелів	478
6 Розробка електромагнітних резонансних конверторів у енергозберігаючих системах живлення транспортних засобів	491
6.1 Аналіз та чисельні оцінки резонансного перетворення реактивної потужності на активну	491
6.2 Стороннє джерело напруги у схемі резонансного перетворювача потужності	497
6.3 Розрахункові співвідношення характеристик резонансного підсилювача реактивної електричної потужності	505
6.4 Чисельні оцінки вихідних характеристик резонансного підсилювача реактивної електричної потужності	511
6.5 Розробка сучасних пристроїв технічного обслуговування та ремонту пошкодженого кузовного покриття транспортних засобів	519
6.6 Чисельні оцінки, аналіз низьких частот діючих полів, інтенсивні процеси проникнення	523

6.7 Експериментальна апробація поділу металевих листів (імітація реальної виробничої операції)	527
7 Розробка концепції формування типорозмірного ряду транспортно-технологічних гідрофікованих модульних засобів для обслуговування літаків та аеродромів	531
7.1 Загальна характеристика транспортно-технологічних засобів для аеродромно-технічного забезпечення.....	531
7.2 Типорозмірні ряди аксіальнопоршневих насосів та гідромоторів.....	533
7.3 Типорозмірні ряди шесб4теренних гідромашин.....	549
7.4 Героторні гідромотори.....	564
7.5 Аналіз застосування об'ємних гідроприводів в тракторах ХТЗ.....	567
7.6 Класифікація способів енергозбереження в об'ємних гідроприводах....	590
7.7 Гідроапаратура з засобами енергозбереження.....	595
7.8 Конструктивні засоби енергозбереження в сучасних гідро пристроях...	625
7.9 Енергозбереження за допомогою насосів з регульованим робочим об'ємом в технологічному обладнанні мобільних машин	649
7.10 Вплив динамічних навантажень на енергозбереження в об'ємних гідроприводах.....	654
Висновки	669
Перелік джерел посилання	674
Додаток А. Акти впровадження	726
Додаток Б. Експериментальні дорожні випробування	732
Додаток В. Елементи розрахункової моделі вітчизняного дизеля у програмному комплексі	735
Додаток Д. Вихідні дані для розрахунку робочого процесу в додатку WP	742
Додаток Е. Технічний акт проведення експериментальних досліджень на тягову динамічність автомобілів КраЗ	743

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР провідн. наук. співроб. д-р техн. наук		М.А. Подригало (редакція)
Виконавці провідн. наук. співроб. д-р техн. наук		О.П. Смирнов (вступ, висновки, підрозд. 2)
провідн. наук. співроб. д-р техн. наук		Є.В. Нагорний (редакція підрозд. 1, висновки)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		О.П. Калініченко (підрозд. 1.4, 1.5)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		О.В. Павленко (підрозд. 1.2, 1.3)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		Н.В. Потаман (підрозд. 1.1)
провідн. співроб. д-р техн. наук		О.В. Бажинов (підрозд. 2, висновки)
наук. співроб. канд. техн. наук		Т.О. Бажинова (підрозд. 2.1, 2.3, 2.4)
наук. співроб. канд. техн. наук		М.М. Кравцов (підрозд. 2.2)
наук. співроб. канд. техн. наук		Г.С. Серіков (підрозд. 2.2)
наук. співроб. канд. техн. наук		А.О. Борисенко (підрозд. 2.4)
провідн. наук. співроб. д-р техн. наук		Д.В. Абрамов (підрозд. 3.3)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		А.І. Коробко (підрозд. 3.4.1)
наук. співроб. канд. техн. наук		М.М. Потапов (підрозд. 3.1)
наук. співроб. канд. техн. наук		О.О. Коряк (підрозд. 3.5)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		А.О. Молодан (підрозд. 3.2.1)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		Ю.В. Тарасов (підрозд. 3.2)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		О.С. Полянський (підрозд. 3.1)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		Є.О. Дубінін (підрозд. 3.4.1)
д-р техн. наук		Д.М. Клец (підрозд. 3.8)

д-р техн. наук		Р.О. Кайдалов (підрозд. 3.6)
д-р техн. наук		О.А. Бобошко (підрозд. 3.6)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		М.В. Байцур (підрозд. 3.5)
канд. техн. наук		М.П. Холодов (підрозд. 3.7)
головний наук. співроб. д-р техн. наук		В.О. Богомолів (розд. 4.2)
провідний наук. співроб. д-р техн. наук		В.І. Клименко (розд. 4.1)
ст. наук. співроб. д-р. техн. наук		М.Г. Михалевич (розд. 4)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		Д.М. Леонтьєв (підрозд. 4.4, 4.5, 4.28)
наук. співроб. канд. техн. наук		О.О. Ярита (підрозд. 4.6, 4.7)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		О.В. Грицюк (підрозд. 5.1, 5.4, 5.6)
ст. наук. співроб. д-р техн. наук		А.О. Прохоренко (розд. 5)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		А.П. Кузьменко (підрозд. 5.3.1, 5.5)
провідн. наук. співроб. д-р. техн. наук		Ю. В. Батигін (підрозд. 6.1)
ст. наук. співроб. канд. техн. наук		Є.О. Чаплигін (підрозд. 6.2)
наук. співроб. канд. техн. наук		С.О. Шиндерук (підрозд. 6.3)
наук. співроб. канд. техн. наук		О.Ф. Єрьоміна (підрозд. 6.4)
старш. наук. співроб. канд. техн. наук		Г. А. Аврунін (розд. 7, підрозд. 7.1, 7.7 висновки)
старш. наук. співроб. канд. техн. наук		В. О. Шевченко (підрозд. 7.2, 7.6)
наук. співроб. канд. техн. наук		О. В. Щербак (підрозд. 7.3, 7.8)
наук. співроб. канд. техн. наук		І. Г. Пімонов (підрозд. 7.4, 7.9)
наук. співроб. канд. техн. наук		О.М. Олейнікова (підрозд. 7.5, 7.10)
інженер		В.В. Трубілко (підрозд. 1.1.2)

інженер		В.В. Севідова (підрозд. 1.1.1)
інженер		Н.О. Броннікова (підрозд. 3.4.2)
інженер		В.М. Биша (підрозд. 3.4.2)
інженер		Л.О. Сотнікова (підрозд. 3.2.2)
інженер		А.С. Федоряко (підрозд. 3.2.1)
інженер		<u>Ю.В. Зінченко</u> (підрозд. 4.27)
інженер		Ю.С. Богданов (підрозд. 5.3.2)
інженер		С.П. Волкова (підрозд. 5.2)
аспірант		Заверуха Р.Р. (підрозд. 2.2)
аспірант		Марченко А.В. (підрозд. 2.3)
аспірант		В.П. Гармаш (підрозд. 3.8)
аспірант		О.І. Закапко (підрозд. 3.6)
аспірант		О.В. Курипка (підрозд. 4. 24, 4.27)
аспірант		А.А. Фролов, (підрозд. 4.28)
аспірант		О.В. Сухомлін (підрозд. 4.28)
аспірант		Р.О. Караван (підрозд. 7.6)
аспірант		П.О. Єфименко (підрозд. 7.10)
інженер аспірант		Д.В. Левченко (підрозд. 5.3.4)
інженер аспірант		Є.І. Солодкий (підрозд. 5.3.3)
студент		В.А. Синянський (5.5.1)
технік		Є.С. Яровой (підрозд. 3.2.2)
Відділ акредитації, стандартизації та якості навчання		І.Ю. Шипілова