

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА**

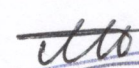
АНАЛІЗ ВИБОРУ СХЕМИ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ
КОЛІСНИХ РУХОМИХ ЗАСОБІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Завідувач, кафедри д-р. техн. наук, проф.



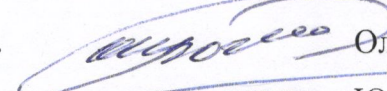
Валерій КЛИМЕНКО

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



Михайло ХОЛОДОВ

Консультант, канд. техн. наук, доц.



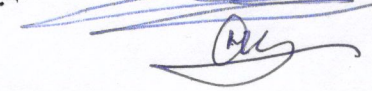
Олег БОГАТОВ

Керівник, канд. техн. наук, доц.



Юрій ОВЧАРЕНКО

Здобувач, гр. АА-61-24



Микола СКВОРЦОВ

Харків – 2025

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет автомобільний
Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула
Освітній рівень магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автомобілів
ім. А.Б. Гредескула
проф. Клименко В.І.
" 20 " 10 2025 року

З А В Д А Н Н Я

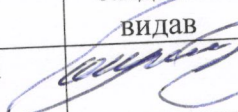
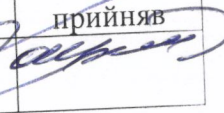
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Скворцову Миколі Миколайовичу

1. Тема роботи: Аналіз вибору схеми перспективної енергоустановки для колісних рухомих засобів озброєння та військової техніки
керівник проекту Овчаренко Юрій Євгенович, канд. техн. наук, доцент
затверджені наказом ректора ХНАДУ від "08" жовтня 2025 року № 155
2. Строк подання студентом проекту 10 грудня 2025 року.
3. Вихідні дані до проекту: Повна маса автомобіля $m_a = 2890$ кг;
Споряджена маса автомобіля $m_0 = 1920$ кг;
Максимальна швидкість $V_{\max} = 185$ км/год;
Кількість пасажирів $n = 7$ чоловік;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Аналіз літературних та інших інформаційних джерел за темою досліджень. 2 Розробка моделі функціонування системи "гібридний автомобіль з перспективною енергоустановкою". 3 Вибір критеріїв оцінки ефективності конструктивної схеми автомобіля з перспективною енергоустановкою в експлуатаційних умовах. 4 Моделювання руху автомобіля з перспективною енергоустановкою. Безпека життєдіяльності. Висновки. Список літератури. Додатки.
5. Перелік графічного матеріалу: порівняння схем перспективних енергоустановок; розробка компоновочної схеми автомобіля; моделювання процесів ДВЗ гібридної енергоустановки; перспективна трансмісія гібридного автомобіля та взаємодії його з середовищем;

процесів ДВЗ гібридної енергоустановки; перспективна трансмісія гібридного автомобіля та взаємодії його з середовищем

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності	Богатов О.І. доц. каф. Метрології та безпеки життєдіяльності		


7. Дата видачі завдання: 14.10.2025 року

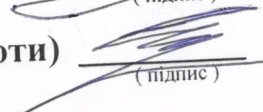
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Стан питання та завдання досліджень	14.10.2025-25.10.2025	
2	Побудова структури моделі системи військовий автомобіль підвищеної прохідності	26.10.2025-30.10.2025	
3	Удосконалення методики оцінки ефективності конструктивної схеми гібридного автомобіля оборонного призначення	01.11.2025-10.11.2025	
4	Моделювання руху військового гібридного автомобіля підвищеної прохідності	11.11.2025-15.11.2025	
5	Безпека життєдіяльності людини при експлуатації військового гібридного автомобіля	17.11.2025-21.11.2025	
6	Висновки	24.11.2025-28.11.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	26.11.2025-04.12.2025	
8	Підготовка матеріалів до захисту	04.12.2025-12.12.2025	

Студент

Керівник проекту (роботи)


(підпис)


(підпис)

Микола СКВОРЦОВ
(прізвище та ім'я)

Юрій ОВЧАРЕНКО
(прізвище та ім'я)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 72с., рис.13, 3 табл., 17 джерел.

ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ, ГІБРИДНА ЕНЕРГОУСТАНОВКА, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ШКІДЛИВІ РЕЧОВИНИ, ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ

Об'єктом дослідження є робочий процес колісних рухомих засобів озброєння та військової техніки різних конструктивних схем в експлуатаційних умовах.

Предметом дослідження є вплив конструктивних параметрів агрегатів та систем колісних рухомих засобів озброєння та військової техніки на показники тягово-швидкісних властивостей, екологічності та витрати палива з урахуванням експлуатаційних факторів.

Мета роботи - поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей, екологічності та паливної економічності колісних рухомих засобів озброєння та військової техніки шляхом раціонального вибору конструктивної схеми з врахуванням експлуатаційних факторів. Задачі дослідження: провести синтез конструктивних схем системи “військовий автомобіль підвищеної прохідності”; розробити універсальну функціональну модель гібридного автомобіля підвищеної прохідності; створити загальну методику вибору конструктивної схеми військового автомобіля підвищеної прохідності з урахуванням експлуатаційних факторів. Практична значимість отриманих результатів полягає: в отриманні конструктивних схеми системи “військовий автомобіль підвищеної прохідності” за морфологічними ознаками силової установки та трансмісії. Уточнено математичну модель для визначення параметрів руху, паливної економічності та екологічних показників автомобілів підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах руху. В ході виконання магістерської роботи було використано наступні програмні продукти: *MS Word* та *MS Excel* пакету *Microsoft Office 2019 Professional Plus*, редактор формул *Microsoft Equation*, математична програма *Fortran 77*.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Стан питання та завдання досліджень	8
1.1 Сучасні методи дослідження трансмісій.....	9
1.2 Основні типи гібридних енергоустановок, що встановлюються на гібридні автомобілі.....	13
1.3 Аналіз сучасних схем гібридних автомобілів підвищеної прохідності	20
1.4 Аналіз умов експлуатації гібридних автомобілів підвищеної прохідності	23
1.5 Вибір раціональної схеми гібридної енергоустановки	27
1.6 Мета і задачі досліджень.....	28
2 Побудова структури моделі системи військового автомобіля підвищеної прохідності	29
2.1 Підходи до функціонального опису технічної системи	29
2.2 Розробка моделі функціонування системи військового автомобіля підвищеної прохідності	30
2.3 Систематизація схем системи військового автомобіля підвищеної прохідності ...	35
3 Удосконалення методики оцінки ефективності конструктивної схеми гібридного автомобіля оборонного призначення	39
3.1 Організація процесу оцінки конструктивної схеми гібридного автомобіля	39
3.2 Моделювання експлуатаційних режимів	42
3.3 Вибір критеріїв оцінки ефективності конструктивної схеми військового гібридного автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах	45
4 Моделювання руху військового гібридного автомобіля підвищеної прохідності ..	49
4.1 Моделювання процесів складових енергоустановки військового гібридного автомобіля	49
4.2 Основні рівняння математичної моделі	50
4.2.1 Моделювання процесів двигуна гібридної енергоустановки	50

4.2.2 Моделювання зворотних зв'язків системи	54
4.3 Моделювання роботи військового гібридного автомобіля підвищеної прохідності на електротязі	56
4.3.1 Розрахунок потужності електроприводу гібридного автомобіля	56
4.3.2 Розрахунок коефіцієнта передачі	57
4.3.3 Розрахунок часу розгону.....	58
4.3.4 Розрахунок кількості електричної енергії та шляху розгону.....	59
4.3.5 Розрахунок максимальної швидкості і питомого споживання електроенергії ..	60
4.4 Моделювання процесів трансмісії гібридного автомобіля та його взаємодії із середовищем.....	61
5 Безпека життєдіяльності людини при експлуатації військового гібридного автомобіля.....	62
Висновки.....	67
Перелік посилань	70
Додаток А Демонстраційний матеріал до кваліфікаційної роботи магістра.....	72

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження сучасних тенденцій розвитку трансмісій військових автомобілів, принципів побудови гібридних енергетичних установок, а також методів оцінювання ефективності конструктивних схем гібридних автомобілів підвищеної прохідності. Отримані результати дозволяють сформулювати узагальнені висновки щодо перспектив застосування гібридних силових установок, їх впливу на техніко-експлуатаційні показники та доцільності впровадження у транспортні засоби, що працюють у складних режимах експлуатації.

Передусім встановлено, що розвиток трансмісій сучасних автомобілів є невід'ємною складовою загальної еволюції автомобілебудування у напрямку підвищення ефективності, екологічності та надійності транспортних засобів. Традиційні механічні трансмісії, попри свою поширеність і високий коефіцієнт корисної дії, поступово модернізуються шляхом розширеного застосування електронних систем керування, роботизованих механізмів та нових матеріалів, проте залишаються обмеженими у здатності адаптуватися до електрифікованих та комбінованих силових установок. Разом із тим, детальні дослідження показали, що гідравлічні та електромеханічні трансмісії забезпечують кращу гнучкість керування потоками енергії, однак характеризуються більшими енергетичними втратами та складністю конструкції.

Поглиблений аналіз показав, що глобальний тренд автомобільної промисловості спрямований на електрифікацію транспортних засобів, що підтверджується активним розвитком мікрогібридів, гібридів (HEV), плагін-гібридів (PHEV), електромобілів із розширеним запасом ходу (EREV) та транспортних засобів на паливних елементах (FCEV). Головними факторами, які стимулюють перехід до цих технологій, є посилення екологічних норм, необхідність зниження споживання палива та глобальна тенденція до зменшення викидів CO₂ і токсичних компонентів вихлопу. Показано, що

гібридні трансмісії дозволяють поєднати переваги ДВЗ та електроприводу, забезпечуючи оптимальний баланс між потужністю, економічністю та екологічністю. Це робить їх особливо перспективними для автомобілів, що працюють у важких дорожніх умовах, де важливими є тягово-швидкісні властивості, високий крутний момент та надійність.

У роботі була розроблена універсальна функціональна модель системи «гібридний автомобіль підвищеної прохідності», що враховує усі ключові підсистеми: гібридну енергоустановку, трансмісію, систему рекуперації та накопичення електричної енергії, а також параметри кузова та підвіски. Модель відображає взаємодію автомобіля з зовнішнім середовищем, включно з дорожніми умовами, атмосферними впливами, аеродинамічними факторами та енергетичними потоками. Вона здатна бути розширеною відповідно до нових конструктивних рішень, що робить її універсальним інструментом для подальших досліджень і оптимізації компоновальних схем гібридних автомобілів.

Окрему увагу приділено критеріям оцінки ефективності компонентів гібридної силової установки. У роботі встановлено, що оптимальний вибір компонентів енергоустановки та трансмісії повинен формуватися відповідно до специфічних умов експлуатації, які визначають вагомість таких групових показників, як паливна економічність, динамічні характеристики та екологічні параметри. Завдяки використанню методів експертного оцінювання та багатокритеріального аналізу запропоновано підхід до вибору інтегрального критерію, що дозволяє порівнювати різні компоновальні схеми між собою та з еталонними зразками. Проведено аналіз характеристик електроприводів, серед яких найбільш перспективними для застосування в сучасних гібридних автомобілях визнано синхронні двигуни з постійними магнітами. Доведено, що вони забезпечують найвищий коефіцієнт корисної дії, компактність і стабільну роботу у широкому діапазоні навантажень, що критично важливо для підвищеної прохідності транспортних засобів. Інші типи

електродвигунів, хоча й мають певні переваги, поступаються в енергоефективності або масо-габаритних характеристиках.

У ході моделювання руху гібридного автомобіля було встановлено, що робочі режими двигуна внутрішнього згорання у складі гібридної енергоустановки суттєво впливають на загальну ефективність транспортного засобу. Оскільки ДВЗ є головним джерелом викидів і споживачем палива, його взаємодія з електричною частиною приводу повинна бути оптимізована для мінімізації навантаження, уникнення експлуатації у малоефективних режимах та забезпечення можливості рекуперації енергії гальмування.

Окремим результатом роботи стало уточнення впливу трансмісії на тягово-динамічні та прохідні властивості гібридного автомобіля підвищеної прохідності. Доведено, що структурний склад трансмісії і її передаточні числа визначають здатність автомобіля долати підйоми, рухатися по складних ґрунтових дорогах, зберігати стійкість тягових зусиль та забезпечувати ефективний розподіл крутного моменту між осями і колесами в умовах низького зчеплення.

Сформована у роботі методика вибору оптимальної конфігурації гібридного автомобіля з урахуванням експлуатаційних умов дозволяє не лише оцінити кожен варіант конструкції за системою показників, але й формує практичні засади для конструкторського проектування нових транспортних засобів оборонного та цивільного призначення.

Загалом, робота підтвердила, що впровадження гібридних енергетичних установок у автомобілі підвищеної прохідності є перспективним напрямом підвищення їх ефективності, екологічності та економічності. Застосування системного аналізу та моделювання дозволяє комплексно оцінити взаємодію компонентів і оптимізувати їх для конкретних експлуатаційних вимог. Отримані результати можуть слугувати науково-методичною базою для подальших досліджень та практичних розробок у сфері автомобільної техніки нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhu, Z. Q., & Howe, D. (2007). Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE, 95*(4), 746–765. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892510>
2. Dogan, H. (2013). *Méthodologie de conception des machines synchrones à aimants permanents – Application au véhicule électrique avec chargeur rapide embarqué* [Doctoral thesis, Université de Grenoble].
3. Multon, B. (1995). Analyse des possibilités de fonctionnement en régime de désexcitation des moteurs à aimants permanents. *Journal de Physique, III*(5).
4. Soong, W. L., & Ertugrul, N. (2002). Field-weakening performance of interior permanent-magnet motors. *IEEE Transactions on Industry Applications, 38*(5), 1251–1258. <https://doi.org/10.1109/TIA.2002.803031>
5. Staton, D., & Goss, J. (2017). *Open source electric motor models for commercial EV & hybrid traction motors.* Motor Design Ltd.
6. Merwerth, J. (2014). *The hybrid-synchronous machine of the new BMW i3 & i8.* BMW Group.
7. Multon, B. (2010). *Les machines synchrones autopilotées.* ENS Cachan Bretagne.
8. Lange, J., Wachter, S., Engelhardt, T., Oechslen, S., & Heitmann, A. (2020). Highly integrated electric axle. In *E-MOTIVE Expert Forum Electric Vehicle Drives* (pp. 1–6).
9. Staton, D., Boglietti, A., & Cavagnino, A. (2005). Solving the more difficult aspects of electric motor thermal analysis in small and medium size industrial induction motors. *IEEE Transactions on Energy Conversion, 20*(3), 620–628. <https://doi.org/10.1109/TEC.2005.847987>

10. Cheng, S., Li, C., Chai, F., & Gong, H. (2012). Research on induction motor for mini electric vehicles. **Energy Procedia*, 17*, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.086>
11. Takabatake, M., Hagiwara, K., Mochizuki, M., Otani, M., & Kikuchi, J. (2009). High power E-motor and inverter for hybrid electric vehicle and electric vehicle. In **6th Braunschweig Symposium Hybrid Vehicles and Energy Management** (pp. 1–8).
12. Hua, W., Cheng, M., Zhu, Z. Q., & Howe, D. (2008). Analysis and optimization of back EMF waveform of a flux-switching permanent magnet motor. **IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23*(3), 727–733. <https://doi.org/10.1109/TEC.2008.918612>
13. Amara, Y., Vido, L., Gabsi, M., & Ben Ahmed, H. (2007). Machines synchrones à double excitation: Principes et structures. **Revue internationale de génie électrique*, 10*(4), 421–435.
14. Matallana, Z., Ibarra, E., Lopez, I., & others. (2019). Power module electronics in HEV/EV applications: New trends in wide-bandgap semiconductor technologies and design aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113*, 109264. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109264>
15. März, M., Scheltz, A., Eckardt, B., & others. (2010). Power electronics system integration for electric and hybrid vehicles. In **6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems** (Paper 6.1).
16. Abebe, R., Vakil, G., Lo Calzo, G., & others. (2016). Integrated motor drives: State of the art and future trends. **IET Electric Power Applications*, 10*(8), 757–771. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2016.0029>
17. Zoeller, C., Wolbank, T. M., & Vogelsberger, M. A. (2016). Inverter-fed drive stator insulation monitoring based on reflection phenomena stimulated by voltage step excitation. In **IEEE Energy Conversion Congress and Exposition** (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/ECCE.2016.838478>