

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Самородова В.Б.
на дисертаційну роботу **Дембіцького Валерія Миколайовича**
«Підвищення ефективності системи рекуперації енергії колісних транспортних
засобів з електричним приводом»
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.22.02 – Автомобілі та трактори

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Підвищення ефективності систем рекуперації енергії автомобілів з електричним приводом є важливою науково-технічною проблемою, вирішення якої має суттєве значення для поліпшення показників витрат енергії транспортних засобів. Важливим моментом є той факт, що система рекуперативного гальмування використовується як елемент гальмівної системи автомобіля. Тому дослідження та розв'язання проблем підвищення ефективності систем рекуперації енергії є досить важливими на сучасному етапі розвитку автомобільного електричного транспорту.

Дисертаційна робота Дембіцького В.М. спрямована на підвищення ефективності енергетичних показників транспортних засобів у фазі сповільнення шляхом вдосконалення системи рекуперативного гальмування, а саме енергетичних показників та гальмівних властивостей транспортних засобів з електричним приводом.

Дисертацію виконано згідно з науковим напрямком кафедри автомобілів та транспортних технологій Луцького національного технічного університету, а саме: «Покращення експлуатаційних властивостей КТЗ з гібридними силовими установками», також з врахуванням транспортної стратегії України на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 року № 2174-р.

На основі вищезазначеного вважаю, що тема дисертації та наукові проблеми, які сформульовані та вирішуються в роботі Дембіцького В.М. є актуальними.

2. Оцінка структури, змісту дисертації, її завершеності в цілому

Робота складається зі вступу, основної частини, яка містить 4 розділи, висновків, списку використаних джерел, який містить 160 найменувань на 21 сторінці та трьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 198 сторінок, із яких 129 сторінок основного тексту, 57 рисунків, з врахуванням графіків, 34 таблиці.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет досліджень, описано зв'язок роботи з науковими напрямками і темами, викладені основні положення наукової новизни і практичної цінності, апробації і публікації отриманих результатів, сформульовані задачі дослідження.

В першому розділі здійснено аналіз стану питання, проаналізовано результати наукових праць з проблеми дослідження. Здобувач стверджує, що на даний момент практично відсутні дослідження процесу рекуперації енергії, де ґрунтовно вивчається зазначений процес. Рекуперовану енергію, зазвичай, під час досліджень, сумують або виключають із загальної кількості енергії, однак частка енергії, повернутої в систему, може бути значною, окрім того автомобіль під час рекуперативного гальмування, сповільнюється, що є позитивним моментом аспектів безпеки. Подальше вивчення та підвищення ефективності процесу рекуперативного гальмування є необхідним для покращення експлуатаційних властивостей електричних та гібридних автомобілів, розрахунку кількості та ємності накопичувачів енергії, а також зменшення їх вартості. На цій основі формулюються завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі виконано теоретичні дослідження механіки процесу рекуперативного гальмування транспортного засобу з електричним приводом. Отримано залежності для розрахунку значення сповільнення та кількості енергії, повернутою в систему під час гальмування. Проведено дослідження впливу опору вітру, поздовжнього профілю дороги, а також передатних чисел головної передачі на процес рекуперативного гальмування.

Встановлено, що збільшення передатного відношення трансмісії підвищує ефективність рекуперативного гальмування.

Проведено ідентифікацію та здійснено аналіз впливу складників процесу рекуперативного гальмування. Побудовано математичні моделі регульованого процесу рекуперативного гальмування, в якій застосовано комплексний підхід та враховано електричні і механічні впливи на ефективність даного процесу.

Проведено аналіз впливу експлуатаційних та конструктивних параметрів на процес рекуперативного гальмування транспортного засобу. Окрім того у розділі визначено принцип керування роботою системи рекуперативного гальмування та частково розглянуто та описано способи регулювання характеристик електричного двигуна і принципи керування процесом рекуперації енергії.

У третьому розділі розроблено план та методику проведення експерименту. Експериментальні дослідження системи рекуперативного гальмування проводилися на гібридному автомобілі ГСУ-1. Наведено результати експериментальних досліджень процесу рекуперативного гальмування: значення сповільнення та кількості рекуперованої енергії.

Для реєстрації параметрів під час експерименту використано випробувальне устаткування: реєстраційно-вимірвальні комплекси ПИНТ-2 (для реєстрації та вимірювання напруги, сили струму, часу) та V-box (для реєстрації та вимірювання швидкості, сповільнення, пройденого шляху та часу). За отриманими експериментальними даними побудовано рівняння регресії для визначення сповільнення та кількості питомої рекуперованої енергії.

Розбіжність між результатами експериментальних та теоретичних досліджень, як стверджує здобувач, не перевищує 8 % за значенням сповільнення та 11 % за кількістю рекуперованої енергії. Окрім того, здійснено оцінювання невизначеності експериментальних даних, що підтверджує адекватність отриманих математичних моделей з імовірністю 95 %.

У четвертому розділі здійснено дослідження системи рекуперації енергії на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення та на затяжних спусках, що є досить важливим аспектом безпеки транспортних засобів з електричним приводом. Окрім того за результатами проведених досліджень запропоновано алгоритм управління процесом рекуперації енергії, а також, редуктор, який під час здійснення рекуперативного гальмування до 3 разів може збільшувати передатне відношення трансмісії автомобіля. При цьому забезпечуються різні передатні відношення під час руху автомобіля в тяговому та гальмівному режимах. Наведені заходи покликані забезпечити максимальну ефективність рекуперативного гальмування.

Також, здобувачем проведено дослідження режимів руху транспортних засобів у місті Луцьк, за результатами яких побудовано матриці ймовірності станів для випадків гальмування та здійснено розподіл рекуперованої енергії за вказаними режимами.

Для оцінювання ефективності системи рекуперативного гальмування здобувачем запропоновано два коефіцієнта: коефіцієнт рекуперації, який у відсотковому значенні характеризує ступінь використання можливостей системи рекуперативного гальмування транспортного засобу; фактор рекуперації, який дозволить провести порівняльний аналіз ефективності систем рекуперації електричної енергії різних транспортних засобів.

Найбільш цікавими та наукоємними, на наш погляд, є підрозділи 2.3.3, 3.3.2, 4.3, 4.4, 4.5.

У додатках представлені довідки про впровадження та використання результатів дослідження: алгоритм керування системою рекуперації енергії, показник ефективності роботи системи рекуперації енергії, методика розрахунку системи рекуперативного гальмування, методика оцінювання невизначеності ефективності гальмування, також результати дисертаційних досліджень застосовуються співробітниками кафедри автомобілів і

транспортних технологій Луцького НТУ під час викладання навчальних дисциплін.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Методологія дисертації сучасна: використані математичні методи, експериментальна перевірка основних положень, оцінювання теоретичних та експериментальних результатів. Робота написана чіткою технічною мовою. Робота в повній мірі відповідає вимогам до дисертаційних робіт, встановлених Міністерством освіти і науки України. Дисертаційна робота Дембіцького В.М. є завершеною наукою роботою.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовано у дисертаційній роботі

Отримані автором теоретичні результати та прийняті припущення теоретично обґрунтовані, перевірені за допомогою експериментів на основі відомих та запропонованих автором математичних моделей.

В теоретичній частині дисертаційної роботи використано методи математичного моделювання, положення теорії автомобілів та теорії електричного привода. В експериментальній частині – стандартизовані методи вимірювань, методи статистичної обробки даних, елементи теорії ймовірності. Достовірність експериментальних даних підтверджується застосуванням відкаліброваного випробувального устаткування.

Результати експериментальних досліджень гібридного автомобіля ГСУ-1 підтвердили отримані теоретичні результати, які стосуються головних наукових положень, щодо отриманих математичних моделей процесу рекуперативного гальмування.

Результати досліджень чітко викладені у висновках до кожного розділу, а також у 8 загальних висновках по дисертаційній роботі. Наприкінці дисертаційної роботи наведено список відповідних наукових праць, де засвідчується достатній рівень обґрунтованості наукових положень і висновків.

В цілому, щодо дисертаційної роботи необхідно відмітити достатню обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, що базуються на узагальненні результатів проведених автором теоретичних та експериментальних досліджень, відомих досягненнях фундаментальних та прикладних наукових дисциплін, а також на аналізі існуючих публікацій за темою роботи.

4. Наукова та практична цінність дисертаційної роботи

На наш погляд, науковою новизною та певною цінністю для науки є наступні результати, отримані автором:

- результати математичного моделювання руху транспортного засобу щодо процесу рекуперативного гальмування, для кількості енергії виробленої електричним двигуном, в генераторному режимі, де враховуються гальмівні показники транспортного засобу;
- спосіб і підходи щодо вирішення проблеми підвищення ефективності рекуперативного гальмування;
- вперше досліджено механіку процесу рекуперативного гальмування;
- розроблено оціночні критерії енергоефективності системи рекуперації енергії.

Практичну цінність дисертаційного дослідження складає наступний інструментарій: окремі результати математичного моделювання, окремі методики розрахунку, методика оцінювання невизначеності показників, алгоритм роботи системи управління, стандартизовані методики вимірювань при проведенні експериментальних досліджень.

Алгоритм керування системою рекуперації енергії, застосований в системі управління тяговим електричним приводом гібридного автобуса А70522, коефіцієнт рекуперації застосовано ДП «Автоскладальний завод № 1» публічного акціонерного товариства «Автомобільна компанія «Богдан Моторс»». Під час проектування транспортних засобів ТОВ «Спільне українсько-німецьке підприємство «Електронтранс» застосовується методика розрахунку системи рекуперативного гальмування. Методика оцінювання невизначеності ефективності гальмування прийнята до використання ТЗОВ «Волиньстандарт». Окрім того результати дисертаційних досліджень застосовуються співробітниками кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ під час викладання навчальних дисциплін. Отримані математичні моделі процесу рекуперативного гальмування можуть бути застосовані під час проектування, виробництва, пуско-наладки, випробувань транспортних засобів з електричним приводом.

5. Достовірність отриманих результатів

Достовірність отриманих результатів дисертаційних досліджень підтверджується коректним використанням сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, а також науково-обґрунтованим збігом.

Окрім того достовірність результатів підтверджується коректним використанням положень теорії автомобіля, теорії електричного привода, застосуванням стандартизованих методів випробувань, випробувального устаткування зі задовільними межами похибки.

Достовірність результатів дисертаційної роботи завжди щільно пов'язана зі ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, який засвідчений вище у пункті 3 як достатній.

Усі висновки, що сформульовані по розділам роботи, загальні висновки по дисертаційній роботі, виходять з її змісту та відображають нові положення, результати, отримані автором. Достовірність висновків та рекомендацій, їх ґрунтовність сумніву не викликає.

6. Публікації та апробація по темі дисертаційної роботи

Основні дослідження дисертації опубліковано у 17 друкованих працях, з яких 13 статей у фахових наукових виданнях України, з яких 4 статті у наукових виданнях України, які внесені до міжнародних наукометричних баз даних, 4 – матеріали та тези конференцій.

Апробація основних результатів дослідження була здійснена на II Міжнародній науково-технічній конференції “Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей” у Луцькому національному технічному університеті (м. Луцьк, 2012 р.); XV Міжнародній науково-технічній конференції “Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи” у Севастопольському національному технічному університеті (м. Севастополь, 2012 р.); III Міжнародній конференції: “Автомобіль і електроніка. Сучасні технології” у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (м. Харків, 2013 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції “Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей” у Луцькому національному технічному університеті (м. Луцьк, 2014 р.); “Стратегічне планування розвитку м. Луцьк 2015 – 2030 р.р.” (м. Луцьк, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні” (м. Львів, 2015).

Публікації та апробація в достатньо повній мірі відображають тему дисертаційної роботи.

7. Зауваження до дисертації та автореферату

1. Нажаль, дисертаційна робота, чи її частини не виконувалися у форматі держбюджетних або госпдоговірних робіт;
2. Об’єкт дослідження завжди є процесом, тому в дисертації і авторефераті він поданий не зовсім коректно (треба наприклад так: процес рекуперативного гальмування транспортного засобу, обладнаного електричним приводом).
3. Другий пункт наукової новизни – «розв’язано проблему підвищення ефективності рекуперативного гальмування транспортних засобів з електричним приводом» - не відповідає дійсності. Така «наукова перемога» не відповідає завданням дисертаційного дослідження, які

здобувач чітко виконав. Саме у межах мети і завдань дисертаційної роботи він підвищив ефективність рекуперативного гальмування, а до «розв'язання проблеми підвищення ефективності рекуперативного гальмування транспортних засобів...» людству і світовій науці ще дуже далеко.

4. На стор. 122 дисертації вказано, що сповільнення, регламентоване вимогами Правил ЕСК ООН №13 «можливо забезпечити лише за рахунок рекуперативного гальмування із подальшим до гальмуванням механічним складником гальмівної системи автомобіля». Не зрозуміло - коли починати догальмування, тим більш, «що процес рекуперативного гальмування припиняється за досить високої кінцевої швидкості» (стор. 44, рис. 2.4).
5. На стор.148 дисертації на рис. 4.18 наведено конструкцію планетарного редуктора із змінними передатними числами, який складається з десяти конструктивних елементів, взаємна робота яких пояснюється у тексті. Нажаль на стор. 148 показано тільки п'ять позицій, що ускладнює розуміння роботи вузла, без якого практично неможливо рекуперативне гальмування і який в автоматичному режимі повинен забезпечувати різні передатні числа під час руху транспортного засобу в тяговому та гальмівному режимах.
6. На наш погляд можна було б більш раціонально використати корисну площу автореферату - є резерви на сторінках 6, 8, 10, 12, 15.
7. Як побажання: математична модель автомобіля ГСУ-1 була б більш коректною у динамічному форматі з використанням динамічної моделі електродвигуна зі змінним коефіцієнтом корисної дії (ККД) в залежності від режимів роботи (хоча б від обертів), з урахуванням ККД накопичувачів енергії при її рекуперації, з урахуванням перерозподілу навантажень від сил інерції на мости автомобіля у процесі гальмування. У дисертації потрібно було увести відповідні припущення.

8. Загальний висновок до дисертаційної роботи

Після аналізу дисертації та автореферату можна констатувати:

1. Зауваження по дисертації, наведені вище у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та результати досліджень.
2. Дисертаційна робота, її зміст, наукова новизна та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.22.02 – автомобілі та трактори, зокрема напрямкам досліджень: особливості функціонування та розрахунку систем "двигун-трансмсія" з нетрадиційними силовими установками в їх складі (електричні,

криогенні, гібридні й інші установки). Вплив таких систем на експлуатаційні властивості ДТЗ; проектування та дослідження гібридних транспортних засобів, їх вузлів і агрегатів; проектування та дослідження електромобілів, їх вузлів і агрегатів.

3. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій розв'язано актуальну науково-практичну задачу.
4. Результати дисертаційних досліджень можуть бути застосовані в автомобілебудуванні, під час досліджень експлуатаційних властивостей транспортних засобів.
5. Основні положення та зміст дисертаційної роботи достатньо повно відображені у публікаціях, пройшли достатню апробацію, впроваджені у виробництво.
6. Зміст автореферату та основних положень дисертації ідентичні.
7. Дисертаційна робота Дембіцького Валерія Миколайовича «Підвищення ефективності системи рекуперації енергії колісних транспортних засобів з електричним приводом» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-практичну задачу пов'язану з підвищенням ефективності рекуперативного гальмування автомобілів з електричним приводом. За своїм змістом та оформленням дисертаційна робота відповідає пп. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. за № 567.

Дисертаційна робота Дембіцького В.М. відповідає діючим вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри

«Автомобіле- і тракторобудування»

Національного технічного університету

“Харківський політехнічний інститут”

В.Б. Самородов

Підпис <i>проф. Самородов В.Б.</i>
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
<i>М.Б. Зайцев Ю.І.</i> ЗАЙЦЕВ Ю.І.
" " 20 16 р.

