

## Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Лобатюка Віталія Анатолійовича  
«ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТІЙНОГО  
СТРУМУ»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

### **Актуальність теми дисертації**

Перспектива впровадження на вантажних автомобілях приводів з тягою від електричних двигунів та живленням від автономних джерел постійного струму, в тому числі і від акумуляторів, ставить задачу розроблення високоефективних електроприводів, які живляться від мереж постійного струму.

Подібна задача вирішується в тролейбусах з тягою створюваною електричними двигунами постійного струму з послідовним збудженням або асинхронними та синхронними двигунами змінного струму, які є підкласом тих же електромобілів великої вантажопідйомності, але з живленням від контактної електромережі. Керованість електроприводів тут забезпечується шляхом встановлення енергозберігаючих, відповідно, тиристорно-імпульсних систем розгону та гальмування та частотних перетворювачів. Такі системи є більш економічними, забезпечують вищу керованість електроприводом і транспортним засобом. Проте, як показав досвід, не завжди встановлення таких систем дозволяє досягнути бажаної економії через нераціональні режими керування електротранспортом. Це ставить задачу підвищення ефективності використання рухомого складу шляхом раціональної експлуатації транспортних засобів. Тому тема дисертації присвяченої розв'язанню важливої науково-технічної задачі – оптимізації режимів роботи системи тягового електроприводу, зокрема, на основі розробки математичних моделей динаміки руху транспортного засобу та розробки обчислювального методу для побудови траєкторії оптимального руху є без сумніву актуальною в практичному та науковому плані.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується тим фактом, що в дисертації розв'язані наукові задачі, які виходять з реальних потреб виробництва і мають безпосереднє відношення до виконання науково-дослідних робіт Вінницького національного технічного університету відповідно до напрямку кафедри «Відновлювальна енергетика та транспортні електричні системи і комплекси», зокрема, держбюджетної науково-дослідної теми «Інформаційна технологія обробки параметрів просторово-часових моделей даних динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем», номер державної реєстрації НДР: № 0115U00112.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації є обґрунтованими, математичний апарат застосовано коректно. Висновки і рекомендації, в цілому, адекватно відтворюють результати виконаних досліджень.

Усі зазначені нові наукові положення автор докладно обґрунтовує теоретично. Враховуючи наявність усіх необхідних посилань на першоджерела, коректний і повний опис проведених досліджень, коректне застосування математичного апарату результати дисертаційної роботи Лобатюка В.А. слід вважати достовірними. Наукові положення дисертаційної роботи, її практична цінність підтверджуються наведеними в додатках актами про впровадження.

### **Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій**

У цілому, ставлячи за мету мінімізацію витрат електроенергії в системі тягового електроприводу електромобіля з двигуном постійного струму послідовного збудження автор дисертаційної роботи узагальнив матеріали досліджень, отримав теоретичні науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують технічну і економічну проблему доцільності використання конкретного тягового електропривода для електромобілів, які працюють в різноманітних умовах експлуатації.

Найбільш суттєвими новими науковими досягненнями автора вважаю:

1. Вперше синтезовані моделі оптимального руху електротранспортного засобу з тяговими електродвигунами з нелінійною характеристикою створення моменту за критерієм мінімуму витрат енергії силової акумуляторної батареї, які дозволяють врахувати характер профілю руху та режими навантажень.

2. Виведені закони оптимальної зміни режимних параметрів тягового електричного двигуна та синтезовано систему керування, яка реалізує ці закони, реалізація яких дозволить мінімізувати витрати енергії під час руху електротранспортного засобу в реальному транспортному потоці.

3. Виведені закони оптимального керування гібридною електротехнічною тяговою установкою з електричним двигуном та двигуном внутрішнього згорання та синтезовано систему керування яка реалізує ці закони, реалізація яких дозволить оптимізувати рух електротранспортного засобу в реальному транспортному потоці з урахуванням характеру профілю шляху.

4. Розроблено метод експериментальної ідентифікації за короткі проміжки часу моделей оптимального руху гібридного електромобіля, що дозволяє враховувати реальні режими експлуатації транспортного засобу.

Новизна наукових результатів ґрунтується на новому підході до вдосконалення методів оцінки умов функціональних систем електротехнічних комплексів шляхом створення математичних моделей, які враховують зміну реальних умов експлуатації, про що свідчать апробація роботи на наукових конференціях і семінарах з проблем моделювання та керування електротехнічними комплексами.

У публікаціях автора кожний розділ дисертації, висновки і рекомендації отримали достатньо повне відображення.

### **Практичне значення одержаних результатів**

1. Запропоновані математичні моделі та алгоритми застосовані для побудови технічних засобів оптимізації режимів експлуатації рухомого складу електротранспорту. Такі системи можуть бути використані, як на етапі проектування, так і на етапі проведення модернізації електроприводів транспортних засобів.

2. На основі отриманих теоретичних та експериментальних результатів досліджень створена база для подальшого вдосконалення та модернізації електротехнічних комплексів транспортних засобів.

3. Результати, отримані в дисертаційній роботі впроваджені у навчальних курсах у Вінницькому національному технічному університеті, при виконанні держбюджетної науково-дослідної теми «Інформаційна технологія обробки параметрів просторово-часових моделей даних динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем», номер державної реєстрації НДР: № 0115U00112, а також передані для впровадження в ТОВ «АТП Слободянюк» та у КП «Вінницька транспортна компанія».

4.

#### **Аналіз змісту дисертаційної роботи**

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел з 111 найменування, додатків. Загальний обсяг роботи складає 149 сторінок Основні положення дисертації викладено на 135 сторінках друкованого тексту, містить 31 рисунок, 8 таблиць.

**У вступі** обґрунтовано актуальність досліджень, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Вказано мету та практичне значення одержаних результатів, а також описано їх апробацію, публікації та впровадження.

**У першому розділі** проведено аналіз робіт, присвячених встановленню тенденцій розвитку тягових приводів транспортних засобів для вантажних перевезень. Показано альтернативи електроприводам з двигунами змінного струму, які знайшли пріоритетне застосування у тягових механізмах легкових електромобілів та проаналізовано режими їх роботи та схемні реалізації. За результатами проведеного аналізу визначено напрям та зміст наукових досліджень.

**У другому розділі** на основі сформованих базових рівнянь математичної моделі динаміки руху електромобіля на ділянках з різним профілем поставлена і вирішена задача оптимізації руху.

Як критерій вирішення задачі оптимізації встановлено мінімізацію функціоналу інтегральних витрат електричної енергії за час руху у двигуні при проходженні транспортним засобом заданої віддалі. Із застосуванням варіаційного методу оптимізації Лагранжа встановлені аналітичні залежності зміни струму електричного двигуна в часі для забезпечення руху транспортного засобу з заданою швидкістю. Розроблено спосіб реалізації цих залежностей і здійснено синтез математичних моделей оптимального руху транспортного засобу з регульованим електроприводом з двигуном постійного струму послідовного збудження. Причому враховується нелінійність залежності моментоутворення внаслідок насичення магнітопроводу електричної машини від режимних параметрів.

За запропонованою процедурою здійснено синтез та ідентифікацію моделей оптимального руху на відрізках дороги з різними профілями та різними завантаженнями електромобіля з електроприводом постійного струму з послідовним збудження, які є більш складними, оскільки в базових моделях динаміки крива намагнічування задається параболічною характеристикою.

**У третьому розділі** за процедурою запропонованою у другому розділі здійснено синтез та ідентифікацію моделей оптимального руху гібридного автомобіля, тяговий електропривід якого доповнено двигуном внутрішнього

згорання і здійснено декомпозицію задачі синтезу математичних моделей оптимального руху гібридного електромобіля.

Визначені режими, в яких в гібридному електромобілі доцільно створювати тягове зусилля або лише одним із його двигунів або їх одночасною роботою на спільний вал.

Запропонований обчислювальний метод для побудови траєкторій оптимального руху гібридного електромобіля з виключеною системою електропривода і створенням тягового зусилля лише за рахунок двигуна внутрішнього згорання.

**У четвертому розділі** дисертації здійснено синтез математичних моделей оптимального руху гібридного електромобіля в режимі одночасної роботи на спільний вал системи електропривода та двигуна внутрішнього згорання.

**У п'ятому розділі** розроблено ідеологію, методику та імітаційні моделі для оцінки адекватності законів оптимального руху як класичного електромобіля, так і гібридного електромобіля, оснащеного додатково ще й двигуном внутрішнього згорання, в режимі створення тягового зусилля лише системою електропривода, лише двигуном внутрішнього згорання та при їх паралельній роботі на спільний вал під час руху електромобіля дорогою з відрізками з різною крутістю профілю.

Здійснено імітаційне моделювання системи, що побудована на базі розробленої структурної схеми синтезованої математичної моделі. Проаналізовано результати виконаних експериментальних досліджень, що були використані для перевірки синтезованої математичної моделі на адекватність.

### **Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих наукових працях**

У публікаціях автора кожний розділ дисертації, висновки і рекомендації отримали достатньо повне відображення.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 15 друкованих праць, 11 друкованих праць опубліковано у фахових виданнях які входять до переліку ВАК України з них 8 ще й до міжнародної науково-метричної бази «Scopernicus» а одна до міжнародної науково-метричної бази Scopus, 3 друковані праці – в інших виданнях.

Теоретичні положення дисертації достатньою мірою апробовані автором на конференціях різного рівня.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації підтверджую.

### **Рекомендації щодо використання результатів дослідження**

Висновки та рекомендації, які містяться у дисертації, а також розроблені автором технічні рішення та математичні моделі, можуть бути рекомендовані для подальшого розвитку та використання у організаціях, що займаються експлуатацією електрорухомого складу залізниці.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Матеріал, який наведений в першому розділі, має описовий характер, не містить систематизації, встановлення показників порівнянь, критичного аналізу. Мають місце описи загальновідомих з літератури матеріалів, наприклад,

класифікація гібридних автомобілів, з аналізом, який не має стосунку до концепції роботи.

2. При оптимізації роботи необхідно застосовувати інтегральні критерії, які б враховували не лише досягнення мінімуму енерговитрат, а й забезпечення максимальної продуктивності за рахунок реалізації найбільших прискорень, сповільнень, рекуперативного гальмування, робочих швидкостей за ослаблення поля електричних двигунів.

3. Встановлений пріоритет перспективного застосування двигунів постійного струму послідовного збудження не відповідає загальній тенденції застосування частотно-керованих тягових електроприводів змінного струму на електромобілях, міському електротранспорті та електротяги залізниць.

4. З тексту дисертації не зрозуміло, які допущення встановлює автор при розробленні базових моделей динаміки автомобіля і тягового електроприводу. Деякі допущення, прийняті автором для отримання теоретичних і практичних доробок потребують доведення адекватності.

5. Електричні схеми основного силового контуру електропривода електромобіля приведені на рисунках 2.3 -2.4 справедливі лише для режиму короткого замикання.

6. Твердження про те, що система електропривода з керованим електронним підсилювачем, або, із загальновідомою назвою тиристорно-імпульсною системою керування, має пріоритет лише з позицій забезпечення надійності роботи, є хибним.

7. Як відомо, існуючі способи апроксимації кривої намагнічування електричних машин постійного струму дають точність до 1.5%, що на нашу думку є достатнім для використання їх в інженерних розрахунках. Недостатньо обґрунтована використана в роботі апроксимація кривої намагнічування електричної машини, яка є менш точною.

8. Функціональна схема системи оптимального керування електроприводу рис. 2.5 не є повною, в ній відсутні засоби для ослаблення поля та електричного гальмування, в тому числі й рекуперативного.

9. Допущено неточності мовно-термінологічного характеру, наприклад: „електричний ланцюг”, “електрорушійна сила обертання”, “споживання сили струму”, тощо.

10. Розроблені моделі, фізична реальність результатів отриманих за допомогою запропонованого математичного апарату потребують експериментального підтвердження.

11. Аналіз результатів порівнянь (стор.130) потребує не лише якісних але й кількісних характеристик.

12. На нашу думку доцільно було б провести порівняльні дослідження запропонованих систем оптимізації в режимах руху транспортного засобу на реальному маршруті. Такі дослідження могли б посилити значимість отриманих в роботі результатів.

Наявні зауваження не стосуються концептуальних положень дисертації.

### **Загальні висновки**

На підставі аналізу змісту дисертації, автореферату та опублікованих автором наукових праць можна стверджувати, що дисертація Лобатюка В.А. «Оптимізація режимів роботи електротехнічного комплексу електромобіля з електроприводом постійного струму», є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу побудови математичних моделей для забезпечення оптимальних режимів руху транспортного засобу на маршруті і є основою для побудови засобів підвищення ефективності роботи електротранспорту. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Дисертаційна робота Лобатюка В.А. «Оптимізація режимів роботи електротехнічного комплексу електромобіля з електроприводом постійного струму» відповідає пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор – Лобатюк Юрій Анатолійович – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

*Офіційний опонент,  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри електромехатроніки і  
комп'ютеризованих електромеханічних  
систем Національного університету  
„Львівська політехніка”*

*Л.Ф. Карплюк*

*Підпис Л.Ф. Карплюка засвідчує  
Вчений секретар  
Національного університету  
„Львівська політехніка”*

*Р.Б. Брилинський*

