

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Губського Петра Вячеславовича
«Підвищення енергетичної ефективності системи тягового електропостачання
постійного струму при швидкісному русі»,
що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.22.09 – електротранспорт

Актуальність роботи. Підвищення ефективності транспортної системи є базовою умовою для росту багатства та процвітання в Європі та її не від'ємної складової – Україні. В умовах зростаючого попиту на мобільність, підвищуються вимоги до собівартості транспортних послуг при одночасному збільшенні швидкості руху, що є серйозною загальноєвропейською та світовою проблемою. Одним з напрямком вирішення цієї проблеми є створення енергоощадних технологій з використанням сучасних досягнень транспортної науки.

Підвищенню енергоефективності спонукає зростання цін на енергоносії, підвищення рівня енергетичної безпеки, що особливо важливо в останні часи для України, та екологічні питання безпосередньо зв'язані з захисту довкілля від зміни кліматичних умов. Однією зі складових збільшення енергетичної ефективності залізничного транспорту є підвищення ефективності передачі електричної енергії в системах тягового електропостачання. Створені, в своїй переважної більшості, за радянських часів у 20-му сторіччі системи тягового енергопостачання постійного струму були в основному розраховані на вантажний рух поїздів. Зміна об'ємів перевезень та підвищення швидкості руху змінили й режими роботи тягового обладнання систем електропостачання. Тому створення нових та модернізація існуючих систем тягового електропостачання України необхідно проводити з урахуванням впровадження енергоощадних технологій та загальної мінімізації витрат при створенні та експлуатації тягової інфраструктури з урахуванням роботи її при швидкісному русі. Тому тема дисертаційної роботи яка направлена на вирішення науково-прикладної задачі підвищення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання постійного струму при створенні умов для швидкісного руху поїздів, є актуальною.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується відповідністю тематики проведених в ній досліджень таким планам та програмам.

– Стратегія сталого розвитку "Україна - 2020", схвалена указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015 в частині зниження енергоємності валового внутрішнього продукту (на 20 відсотків до кінця 2020 року), переходу до використання енергоефективних технологій та обладнання.

– Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, схвалена розпорядженням

Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р, в частині впровадження системи енергетичного менеджменту, , зниження втрат енергії при її передачі та розподілі; зниження енергоємності ВВП; забезпечення енергетичної незалежності України.

– Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, схвалена Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. N 1390 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 1106 від 26.10.2011, № 1146 від 09.11.2011, № 970 від 24.10.2012), в частині зменшення обсягу питомих витрат енергоресурсів на тягу поїздів.

При цьому, обраний напрямок досліджень пов'язаний також з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за наступними темами.

- «Наукові основи ефективного використання енергії рекуперації в системі електричного транспорту» (№ ДР 0115U002311),
- «Енергоефективна технологія розподіленої передачі електроенергії транспортним засобам» (№ ДР 0118U006261).

Оцінка обґрунтованості наукових положень, їх достовірність достовірності й новизни.

Положення і висновки відносно суті задачі, принципів і методів побудови моделей обґрунтовані в роботі і базуються на основах теорії статистичного аналізу при дослідження режимів напруги та потужності в системі тягового електропостачання постійного струму в режимах тяги та рекуперації; методах імітаційного моделювання; рекурентного аналізу часових рядів; а також методу сенсорних вузлів та Френеля. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі Губського П.В. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень **достатньо обґрунтовані** і відповідають дійсності. **Достовірність** їх забезпечена коректністю постановок математичних задач, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів, експериментальними дослідженнями, проведеними на імітаційних моделях. Вона підтверджується результатами тестування розроблених методів, моделей і програмних засобів, зіставленням розрахунків з експериментальними вимірюваннями та результатами впровадження розробок у виробництво.

В дисертації Губського П.В. отримав такі основні результати, які мають **наукову новизну**. Вона полягає в наступному.

Вперше розроблено концепцію побудови енергоефективних систем розподіленого живлення з установленням одноагрегатної підстанції на місці поста секціонування, що забезпечує: організацію швидкісного руху та підвищення ефективності використання встановленої потужності.

Вперше створено модель процесу зміни струму й напруги в тяговій мережі на основі нелінійного рекурентного аналізу, що дозволяє оцінити якість процесів електроспоживання та області стійкої роботи системи тягового електропостачання.

Набув подальшого розвитку метод розрахунку миттєвих схем систем тягового електропостачання на базі функцій опору в частині розрахунку раціональних відстаней між підстанціями, необхідних для забезпечення режиму постійного споживання потужності під час руху електрорухомого складу із заданим рівнем втрат напруги, що дозволяє забезпечити енергоефективні режими систем тягового електропостачання.

Набув подальшого розвитку метод забезпечення стійкості роботи систем тягового електропостачання постійного струму в частині використання нелінійного закону управління, що дає змогу визначити умови забезпечення регулятивної спроможності цієї системи.

Значення отриманих результатів для науки і практики.

Практичне і теоретичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропонована концепція побудови розподілених систем живлення дозволяє здійснювати перехід від системи централізованого живлення до розподіленої системи зі збереженням існуючої інфраструктури живлення тягової мережі, що дає змогу підвищити енергетичну ефективність передачі електроенергії на тягу поїздів без значних капітальних вкладень. Реалізація запропонованої системи розподільного живлення дозволяє щорічно економити на дослідній ділянці 2,879 млн. грн. за рахунок зменшення вартості втрат електричної енергії в системі живлення.

Впровадження системи розподіленого живлення дозволяє забезпечити необхідний рівень потужності в тяговій мережі в межах 2,00 – 2,15 МВт/км, що дає змогу обмежити мінімальне значення напруги на струмоприймачі електрорухомого складу на рівні 2 900 В, зменшити: навантаження на проводи контактної мережі, неактивну потужність та втрати потужності в тяговій мережі, витрати електроенергії на 4-5 % від спожитої електроенергії на тягу поїздів за умови дотримання нормативних значень напруги та питомої потужності в тяговій мережі.

Використання сенсорного методу та методу Френеля дозволило створити методику по визначеню відстані між датчиками напруги, радіус покриття антен для забезпечення резервування передачі інформації й стабільної роботи систем розподіленого живлення.

Запропоновані нелінійні закони управління активним випрямлячем напруги дозволяють компенсувати просадку вхідної напруги в межах $\pm 20\%$ та забезпечити стійкість до різного роду збурень в умовах взаємодії системи тягового електропостачання та електрорухомого складу.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «ДАК-Енергетика», Регіональна Філія «Львівська залізниця», проектно-вишукувальному інституті «Дніпрогіпротранс» та в навчальний процес Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається з анотації українською і англійською мовами, список публікацій здобувача за темою дисертації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 209 сторінок, серед них 82

рисунки за текстом і 24 таблиці. Список використаних джерел із 162 найменувань займає 18 сторінок. Додатки займають 33 сторінки. Основний текст роботи викладено на 139 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, наведено основні наукові положення, що виносяться на захист, а також подано відомості про апробацію та публікації результатів дослідження.

У першому розділі виконано аналіз стану проблеми та встановлені завдання дослідження.

Проведено аналіз показників функціонування системи електропостачання постійного струму який показує, що заходи, які приймаються господарством електрифікації та електропостачання для підвищення економічної ефективності є недостатніми і вимагають пошуку нових шляхів подальшого вдосконалення функціонування системи тягового електропостачання. Визначено показники ефективності системи електропостачання постійного струму. Проведено дослідження режимів потужності в системі тягового електропостачання постійного струму. Встановлені вимоги до режимів потужності у системі тягового електропостачання постійного струму для швидкісного руху. На основі проведеного аналізу сформовані основні задачі та мету дослідження.

У другому розділі розглянуто наукові схемотехнічні рішення розробки енергоефективної системи розподіленого живлення для забезпечення швидкісного руху. Проведено аналіз існуючих схемотехнічних рішень пунктів живлення в системах розподіленого типу та енергетичних каналів розподіленої системи тягового електропостачання. Зазначається, що при живленні повздовжньої лінії від мережі 35 кВ можливо прокладати живлячу лінію проводами АС-35, але, в існуючій практиці проектування ліній повздовжнього електропостачання за умовами механічної міцності, необхідне застосування проводу АС-70. Проведено синтез системи тягового електропостачання розподіленого типу підвищеної ефективності. Запропоновано здійснювати перехід від системи централізованого живлення до розподіленої системи зі збереженням існуючої інфраструктури живлення тягової мережі: а саме, розташування тягових підстанцій на місці існуючих, а одноагрегатних підстанцій на постах секціонування. При цьому в розподіленій системі живлення на тяговій підстанції необхідне застосування двох перетворювальних агрегатів загальною потужністю 10 МВт, а для одно агрегатної підстанції – 5 МВт.

У третьому розділі проведено оцінку якості енергетичних процесів запропонованої розподіленої системи тягового електропостачання постійного струму. Розглянуто режими напруги та потужності централізована система живлення для електрифікованої ділянки постійного струму. Проведено аналіз енергетичних показників у запропонованій системі. Визначено, що застосування системи розподіленого живлення дозволяє зменшити струмові навантаження на проводи контактної мережі, тобто, можливо застосовувати полегшенну контактну підвіску. При цьому зменшується неактивна потужність та втрати потужності в тяговій мережі за рахунок покращення режиму напруги

в системі тягового електропостачання, підвищується коефіцієнт корисної дії на 3 %, а економія електроенергії складає 4,3 % від спожитої електроенергії поїздом. Автором доведено, що регулятор з нелінійним законом управління має кращу робасність, а зона стабілізації напруги в тяговій мережі при застосуванні нелінійного регулятора в 3-4 рази ширша, в порівнянні з лінійним регулятором.

Четвертий розділ дисертації присвячено схемотехнічним рішенням та режимам розподіленої системи тягового електропостачання підвищеної ефективності. Автором запропоновано систему вимірювань та контролю рівнів напруги для розподіленої системи тягового електропостачання. Розглянуто застосування активного перетворювача та особливості функціонування системи розподіленого живлення у вимушенному режимі. Проведено аналіз особливостей функціонування релейного захисту розподіленої тягової мережі та дослідження процесів рекуперації в розподіленій системі. Встановлено, що при впровадженні системи розподіленого живлення необхідна розробка системи контролю напруги в тяговій мережі. За проведеними дослідженнями встановлено, що гранична довжина зони прямої видимості датчиків знаходиться в межах від 15,9 до 22 км, в залежності від висоти встановлення, що значно більше за відстань між найслабшими точками тягової мережі. При цьому радіус дії антен перевищує відстань між сусідніми датчиками та забезпечує резервування передачі інформації при виході одного датчика з ладу.

П'ятий розділ роботи присвячено оцінки економічної ефективності застосування системи розподіленого живлення підвищеної енергетичної ефективності. Визначено, що Реалізація системи розподільного живлення дозволяє щорічно економити на дослідній ділянці 2,879 млн. грн. за рахунок зменшення вартості втрат електричної енергії в системі живлення.

У **висновках** наведено загальні висновки роботи. Також у роботі є список використаних джерел, а також 4 додатка.

Загальна оцінка дисертації

Дисертація представляє собою **завершену** науково-прикладну роботу, в якій вирішена задача підвищення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання постійного струму за рахунок розробки наукових принципів побудови енергоефективної системи розподіленого живлення, яка забезпечує швидкісний рух і максимально відповідає існуючий інфраструктурі.

Зміст дисертації відповідає поставленій меті. Отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є суттєвими для розвитку електричного транспорту.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались і були схвалені на таких вітчизняних та міжнародних конференціях: 75-та Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2015; VI Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості», Воловець, 2015; Міжнародна науково-практична конференція «Транселектро–2015», Одеса; Міжнародна науково-практична конференція «Оптимальне керування електроустановками – 2015», Вінниця; IV Międzynarodowa Konferencja «Najnowsze technologie w

transporcie szynowym», Warszawa, 2015; Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та елек-тромагнітна сумісність на залізничному транспорті», Розлуч, 2016; I Міжнарод-на науково-практична конференція «Енергооптимальні технології перевізного процесу», Моршин, 2016; II Міжнародна науково-практична конференція «Ене-ргооптимальні технології перевізного процесу», Дніпропетровськ, 2018; VI Miedzynarodowa Konferencja «Najnowsze Techologie W Transporcie Szynowym», Warszawa, 2017; Міжнародна науково-практична конференція «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті», Львів, 2018.

Основний зміст дисертації **достатньо повно відображені** у 21 наукових працях і матеріалах конференцій: 9 основних праць, з них: 1 – статті у журналах, що індексуються Scopus, 1 – статті в закордонних виданнях, 7 – статей у фахових виданнях; і 12 додаткових, з них: 12 – тези доповідей та матеріали конференцій.

Автореферат ідентичний за змістом основним положенням дисертації.

Зauważення

1. В анотації роботи с. 3 не приведено для якого конкретного випадку «Встановлено доцільність застосування двох перетворювальних агрегатів загальною потужністю 10 МВт, а для одно агрегатної підстанції – 5 МВт.».

2. На с. 35 автор зазначає «Підвищення техніко-економічних показників існуючих ділянок електричних залізниць постійного струму може бути досягнуто при проведенні певних технічних та організаційних заходів», однак в списку цих закладів відсутні дуже поширені останнім часом підходи з використанням накопичувачів енергії, як стаціонарних, так і на рухомому складі.

3. На с. 41 в табл.. 1.2 зазначено перелік характеристик режиму напруги, однак ні в таблиці ні по тексту роботи не наведено описання цих характеристик та одиниці їх виміру.

4. На рис. 1.5-1.7 зазначається, що на них наведено «Середня зміна споживання потужності на кілометр», але в поясненнях до рисунків та згідно одиницям виміру «МВт» це «споживана на кожному кілометрі або середня потужність».

5. На с.59 рис. 2.1 наведено «Принципова електрична схема ВДП» однак з цієї схеми не можливо встановити яким чином напруга подається до електрорухомого складу.

6. Заявлениі основні технічні характеристики ПА-5200 (с. 65) раціонально було б навести у таблиці. На с. 66 наведено таблицю посилання та назву якої не наведено.

7. В висновках 2-го розділу с. 86 зазначається «У результаті виконаних розрахунків пропонованої схемотехніки системи розподіленого живлення показано, що ця система дозволяє виконати пропуск по ділянці електрорухомого складу з нормованими рівнями питомої потужності та втрат напруги.», та 3-го розділу с. 125 «Оцінка ефективності функціонування запропонованої системи розподіленого живлення показала, що вона дозволяє

забезпечити необхідний рівень питомої потужності ...», але в роботі не визначено саме для яких ділянок колії та параметрів рухомого складу отримано цей результат.

8. На рис. 3.30-3.33, 3.38 та 3.39 не наведено одиниць виміру по осям графіків.

9. У загальних висновках роботи 4 с. 161 та висновках до 3-го розділу с.126 авторами зазначається « Запропонована на підставі експериментальних даних математична модель процесу зміни струму й напруги в тягової мережі...», але по тексту роботи не вказано яке саме рівняння або система рівнянь складає цю модель.

10. Розглянуті в розділі 4 графіки руху згідно яким швидкість руху поїзду становить близько 60 км/год (с. 130 рис. 4.3), та «Графік руху поїзда» рис. 4.16 с. 149 – близько 100 км/год, що не відповідають вимогам швидкісного руху.

11. На с. 133 та 134 у рис. 4.6 табл. 4.2 та виразі (4.2) висота розташування датчиків позначені по різному ($h_1, h_1 h_{M1}, h_{M2}, h_{M3} \dots$)/

12. Розділ 5 раціонально було б привести у додатках к дисертаційної роботі.

Вказані недоліки не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Висновок

В цілому дисертаційна робота «Підвищення енергетичної ефективності системи тягового електропостачання постійного струму при швидкісному русі» за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів світового рівня відповідає пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., №656), а її автор Губський Петро Вячеславович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри електричного
транспорту та тепловозобудування,
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Б. Г. Любарський



Любарський БГ.
Голова
ВЧА
СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Заковоротний О.Ю.
20.08.2018 р.

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Губського Петра Вячеславовича
«Підвищення енергетичної ефективності системи тягового електропостачання
постійного струму при швидкісному русі»,
що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.22.09 – електротранспорт

Актуальність роботи.

Залізничний транспорт є невід'ємною частиною енергетики країни і складає з нею єдиний технологічно пов'язаний комплекс, тому від впровадження енергозаощаджуючих технологій в електричні мережі як зовнішнього так і тягового електропостачання залежить розвиток та забезпечення енергобезпеки процесу перевезень. Для підвищення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання залізниць необхідне бачення перспективних технічних рішень тягового електропостачання, які забезпечують надійність та якість електропостачання, зменшення витрат і часу будівництва сучасних електричних мереж та мінімізацію втрат енергії.

Збільшення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць найрезультативніше досягається за рахунок підвищення та стабілізації напруги на струмоприймачі електрорухомого складу.

Таким чином вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання постійного струму при забезпеченні швидкісного руху поїздів залізницями України, є актуальною задачею.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується зв'язком з виконанням здобувачем держбюджетних науково-дослідницьких робіт:

- «Наукові основи ефективного використання енергії рекуперації в системі електричного транспорту» (№ ДР 0115U002311);
- «Енергоефективна технологія розподіленої передачі електроенергії транспортним засобам» (№ ДР 0118U006261).

Дисертаційна робота виконана відповідно до таких державних програм:

- Стратегія сталого розвитку «Україна – 2020», схвалена указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015 в частині зниження енергоємності валового внутрішнього продукту (на 20 відсотків до кінця 2020 року), переходу до використання енергоефективних технологій та обладнання;
- Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р, в частині

впровадження системи енергетичного менеджменту, зниження втрат енергії при її передачі та розподілі; зниження енергоємності ВВП; забезпечення енергетичної незалежності України;

- Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, схвалена Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390 (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 1106 від 26.10.2011, № 1146 від 09.11.2011, № 970 від 24.10.2012), в частині зменшення обсягу питомих витрат енергоресурсів на тягу поїздів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертаційній роботі.

Обґрунтованість наукових положень, встановлених закономірностей висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Губського П. В. є достатньо високою і базується на глибокому аналізі літературних джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, порівнянні отриманих результатів з результатами інших вчених і чіткому формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано за використанням класичної теорії електричних кіл; основах теорії статистичного аналізу; методах імітаційного моделювання; методу сенсорних вузлів та Френеля. Висновки за розділами відповідають змісту дисертації і є об'єктивними та обґрунтованими.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечується коректністю постановок математичних задач, методу еквівалентних імпульсних моделей та методів, що оперують логарифмічними амплітудно-частотними характеристиками, експериментальними дослідженнями, які проведено на імітаційних моделях.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше розроблено концепцію побудови енергоефективних систем розподіленого живлення з установленням одноагрегатної підстанції на місці поста секціонування, що забезпечує: організацію швидкісного руху та підвищення ефективності використання встановленої потужності;

- вперше створено модель процесу зміни струму й напруги в тяговій мережі на основі нелінійного рекурентного аналізу, що дозволяє оцінити якість процесів електроспоживання та області стійкої роботи системи тягового електропостачання;

- набув подальшого розвитку метод розрахунку миттєвих схем систем тягового електропостачання на базі функцій опору в частині розрахунку

раціональних відстаней між підстанціями, необхідних для забезпечення режиму постійного споживання потужності під час руху електрорухомого складу із заданим рівнем втрат напруги, що дозволяє забезпечити енергоефективні режими систем тягового електропостачання;

- набув подальшого розвитку метод забезпечення стійкості роботи систем тягового електропостачання постійного струму в частині використання нелінійного закону управління, що дає змогу визначити умови забезпечення регулятивної спроможності цієї системи.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання:

- розроблені здобувачем математичні співвідношення та моделі, отримані аналітичні закономірності та результати імітаційного моделювання дають можливість здійснювати переход від системи централізованого живлення до розподіленої системи зі збереженням існуючої інфраструктури живлення тягової мережі, що дає змогу підвищити енергетичну ефективність передачі електроенергії на тягу поїздів без значних капітальних вкладень;

- впровадження системи розподіленого живлення дозволяє забезпечити необхідний рівень потужності в тяговій мережі в межах 2,00 – 2,15 МВт/км, що дає змогу обмежити мінімальне значення напруги на струмоприймачі електрорухомого складу на рівні 2 900 В, зменшити: навантаження на проводи контактної мережі, неактивну потужність та втрати потужності в тяговій мережі, витрати електроенергії на 4-5 % від спожитої електроенергії на тягу поїздів за умови дотримання нормативних значень напруги та питомої потужності в тяговій мережі;

- використання сенсорного методу та методу Френеля дозволило створити методику по визначенням відстані між датчиками напруги, радіус покриття антен для забезпечення резервування передачі інформації й стабільної роботи систем розподіленого живлення;

- запропоновані нелінійні закони управління активним випрямлячем напруги дозволяють компенсувати просадку вхідної напруги в межах $\pm 20\%$ та забезпечити стійкість до різного роду збурень в умовах взаємодії системи тягового електропостачання та електрорухомого складу;

- результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «ДАК-Енергетика», Регіональна Філія «Львівська залізниця», проектно-вишукувальному інституті «Дніпрогіпротранс» та в навчальний процес Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації відображену у 21 наукових публікаціях, серед них: 1 – статті у журналах, що індексуються Scopus, 1 – статті в закордонних виданнях, 7 – статей у фахових виданнях України; 12 – тези доповідей та матеріали конференцій.

В цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні наукові результати, що отримані здобувачем.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотації українською і англійською мовами, список публікацій здобувача за темою дисертації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 209 сторінок.

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи та відображену її зв'язок із науковими програмами; сформульована мета й основні задачі дослідження; наведені наукові результати, які виносяться на захист; вказана практична цінність отриманих результатів, а також рівень апробації результатів роботи; наведено кількість публікацій за темою роботи і особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проведено аналіз стану проблеми тягового електропостачання постійного струму при забезпеченні швидкісного руху поїздів залізницями України. Виконано аналіз режимів напруги та визначено їх впливу на роботу електрорухомого складу і пристройів електропостачання залізниць та встановлено вимоги до режимів потужності у системі тягового електропостачання постійного струму при забезпеченні швидкісного руху.

На основі проведеного аналізу сформульовані основні задачі та визначена мета дослідження.

У **другому розділі** зроблено аналіз існуючих технічних рішень, щодо підвищення енергетичної ефективності в розподілених системах тягового електропостачання. Проаналізовано існуючі методи підвищення ефективності розподілених систем тягового електропостачання. Проведено синтез системи тягового електропостачання розподіленого типу підвищеної ефективності. Запропоновано концепцію розподіленої системи зі збереженням існуючої інфраструктури живлення тягової мережі, а саме: розташування тягових підстанцій на місці існуючих, а одноагрегатних підстанцій на постах секціонування. Вдосконалено метод розрахунку миттєвих схем систем тягового електропостачання на основі функції опору в частині знаходження раціональних відстаней між тяговими підстанціями. Запропоновано

застосування в розподіленій системі живлення на тяговій підстанції двох перетворювальних агрегатів загальною потужністю 10 МВт, а для одноагрегатної підстанції – 5 МВт.

У третьому розділі проведено порівняння існуючої централізованої та пропонованої розподіленої системах тягового електропостачання з визначенням якості енергетичних процесів. Визначено, що у розподіленій системі існує запас навантажувальної здатності за струмом практично для всіх контактних підвісок, а економія електроенергії складає 4,3 % від спожитої електроенергії електрорухомим складом та підвищується к.к.д. Запропоновано лінійний і нелінійний закон керування за допомогою нелінійного рекурентного аналізу. За критерієм Гурвіца встановлено, що зона стійкої роботи для нелінійного закону керування значно ширша. Розглянуто один з аспектів робастності (нечутливості до малих збурень) запропонованого регулятора та встановлено, що нелінійний регулятор має кращі робастні властивості.

В четвертому розділі запропоновано систему контролю та вимірювання рівня напруги в розподіленій системі живлення при використанні активного випрямляча. Досліджено роботу розподіленої системи в нормальному та вимушенному режимах. Для визначення місця розміщення датчика напруги в системі контролю та вимірювання в роботі запропоновано використати метод сенсорних вузлів. Виконано аналіз властивостей функціонування релейного захисту розподіленої тягової мережі та проведено дослідження процесів рекуперації в розподіленій системі. Встановлено граничну довжину зони прямої видимості датчиків, яка знаходиться в межах від 15,9 до 22 км, яку можна збільшувати в залежності від висоти їх встановлення, що забезпечує резервування передачі інформації.

В п'ятому розділі дисертації проведено економічну оцінку впровадження системи розподіленого живлення на дослідній ділянці, що дозволить щорічно економити 2,879 млн. грн. за рахунок зменшення вартості втрат електричної енергії в системі тягового електропостачання при ефективному використанні капітальних вкладень.

Висновки до розділів за результатами роботи сформульовані чітко, стисло і значливо та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел достатньо повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. При огляді стану питання вся увага приділялася виключно тяговому електропостачанню на залізницях країн СНД, електрифікованих в системі постійного струму. При цьому ніяким чином не було проаналізовано стан розвитку перетворювальних агрегатів, що використовуються в системах тягового електропостачання постійного струму інших країн світу.

2. У висновках до другого розділу зазначено «в розподіленій системі живлення на тяговій підстанції необхідне застосування двох перетворювальних агрегатів загальною потужністю 10 МВт, а для одноагрегатної підстанції – 5 МВт», але враховуючи той факт, що на даний час 98,5 % тягових підстанцій електрифікованих залізниць постійного струму України виконують середньодобову переробку електроенергії на тягу у розмірі до 100 тис. кВт·год, потужність одного перетворювального агрегату орієнтовно складатиме 4,2 МВт, чи не є зазначена у дисертації потужність перетворювальних агрегатів завищеною.

3. З підрозділу 3.2.4 незрозуміло, на якій розробленій моделі в пакеті MATLAB Simulink, отримано діаграми 3.20-3.24, де існує опис моделі і як враховується негативний вплив напруги перетворювальних агрегатів на системи залізничної автоматики і пристрой зв'язку, для яких потрібна висока якість згладжування пульсацій напруги.

4. Чому в дисертаційній роботі розглянуто лише лінійний та нелінійний регулятори, а не розглянуто ПД-, ПІ-, ПД-регулятор, тощо, що не надає повноти дослідження до нечутливості регуляторів до малих збурень.

5. З 4 розділу та рис. 4.8, 4.9, незрозуміло, як реалізовано інвертор, здійснюється його керування, які використовуються IGBT ключі та вихідний конденсатор при реалізації тимчасової утилізації енергії рекуперації з подальшим поверненням її у контактну мережу. Враховується чи ні процес повернення енергії рекуперації у живлячу мережу.

6. Як на імітаційній моделі реалізовані питання ефективного обмеження комутаційних втрат і захисту від перевантажень щодо струму та перенапруги при використанні IGBT ключів, які на сьогоднішній день не вирішенні в повністю керованих силових напівпровідникових пристроях. Використання же послідовного чи паралельного їх з'єднання є дуже вартісним і складним рішенням, яке унеможливлює економічний ефект від їх впровадження?

7. Рисунки за текстом дисертації не чіткі, що визиває труднощі при їх розгляді, наприклад 3.18.

8. В тексті зустрічаються стилістичні і орфографічні помилки.

Усі перераховані недоліки не є істотними з точки зору кінцевих результатів, що одержані в дисертаційній роботі та не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Губського Петра Вячеславовича «Підвищення енергетичної ефективності системи тягового електропостачання постійного струму при швидкісному русі» за своїм змістом, актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю отриманих наукових результатів відповідає паспорту спеціальності 05.22.09 – електротранспорт та пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., №656), а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник, заступник
начальника Харківського відділення філії
«Проектно-вишукувальний інститут
залізничного транспорту» Акціонерного
товариства «Українська залізниця»

B.B. Божко

