

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Босого Дмитра Олексійовича “Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованих залізниць”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

Актуальність теми.

Необхідність підвищувати надійність і техніко-економічну ефективність функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС) України вимагає розв’язання в сучасних умовах нових задач. Зокрема, це стосується і необхідності підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованих залізниць як частини електроенергетичного комплексу країни. Споживання електроенергії залізничним транспортом в енергетичному балансі України складає приблизно 4 %, причому більша частина стосується безпосередньо електричної тяги. Технологічних втрати в тяговій мережі залізниць змінного струму складають 5-8 %, для постійного – 14-17 % і більше. Порівняно з країнами, де за масштабами залізниці близькі до українських, ці відносні втрати значно більші. Отже, можна зробити висновок, що якщо система електричної тяги змінного струму є в якійсь мірі конкурентно здатною, то тяга постійного струму має відносно низьку ефективність та нездатна за рівнем втрат конкурувати з системою змінного струму.

Метою роботи Босого Д. О. є підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок створення керуючої послідовності впливів, яка забезпечує оптимальний перерозподіл потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання, що визначає її актуальність.

У відповідності до поданих дисертаційних матеріалів результати роботи є складовою частиною науково-практичних розробок Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна за такими темами: «Розробка систем енергопостачання об’єктів залізничного транспорту з використанням новітніх схемних і проектних рішень», № держреєстрації 0111U009393; «Дослідження раціональних режимів роботи системи тягового електропостачання для зменшення втрат електроенергії та дослідження балансу електричної енергії в умовах спотворення її якості на тягових підстанціях постійного струму», № держреєстрації 0113U007949; «Дослідження якості електроенергії нетягових споживачів, які живляться від ліній «два проводи – рейка», № держреєстрації 0115U003922; «Дослідження транзиту потужності тяговою мережею при відхиленнях режиму напруги тягової підстанції змінного струму», № держреєстрації 0115U003919; «Наукові основи ефективного використання енергії рекуперації в системі електричного транспорту», № держреєстрації 0115U002311; «Дослідження раціональних режимів роботи системи тягового електропостачання для

зменшення втрат електроенергії», № держреєстрації 0115U003918; «Розробка інтелектуальних технологій ефективного енергозабезпечення транспортних систем», № держреєстрації 0116U006982. У цих роботах дисертант був керівником та виконавцем.

Вказані науково-дослідні роботи виконувалися відповідно до цільових державних програм, а також постанов Кабінету Міністрів України та Верховної Ради України.

Зміст і коротка характеристика результатів дослідження.

В *першому розділі* обґрунтовано яким шляхом вирішується проблема підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованого залізничного транспорту. Показано, що сучасний технологічний прогрес на даному етапі розвитку вичерпав майже усі можливості удосконалення силової частини електроенергетичного обладнання, тому подальший розвиток та підвищення енергоефективності електроенергетичних систем забезпечується поєднанням досягнень силової електроніки та інформаційних технологій у вигляді концепції Smart Grid. Сформульовано задачі на дослідження.

Другий розділ присвячено аналізу підходів до розвитку методів розрахунку параметрів режиму електропостачання з урахуванням наявності систем стабілізації тягової потужності на електрорухомому складі та керованих пунктів підсилення в системі тягового електропостачання. Показано, що для спрощення та формалізації розрахунків необхідно переглянути розуміння специфіки тягового навантаження та розглядати процеси відносно тягового навантаження. Запропонована методика розрахунку миттєвих схем з використанням аналітичних функцій опору, а також метод розрахунку системи тягового електропостачання, який полягає в описі закономірності зміни опору тягової мережі аналітичними функціями. Показано, що застосування прямого розрахунку електричних величин за допомогою наведеної методики та отриманих аналітичних виразів дозволяють спростити подальші оптимізаційні розрахунки режимів роботи систем тягового електропостачання.

В *третьому розділі* приведено результати експериментальних досліджень режимів споживання електричної енергії в системах тягового електропостачання постійного та змінного струму. Дослідження проводились на тягових підстанціях постійного струму та змінного струму. Показано, що показники якості електроенергії системи електричної тяги, в цілому, гірші по відношенню до системи постійного струму. В системі електричної тяги змінного струму встановлено наявність транзитних перетікань за наявності кута зсуву фаз однойменних напруг в первинній мережі.

В *четвертому розділі* досліджено особливості впливу режимів напруги на енергетичні характеристики на фізичних та імітаційних моделях. Перевірено можливості впливу якості електроенергії на точність системи обліку. Наведено результати досліджень впливу показників якості напруги на систему обліку та енергетичні характеристики випрямлячів тягових підстанцій постійного струму.

У п'ятому розділі розроблено наукові основи інтелектуального керування режимом напруги в системі постійного струму та підвищення енергоефективності режимів електропостачання за допомогою перерозподілу потужності за допомогою визначення керуючої послідовності впливів на керовані пункти підсилення. Показано, що визначальним фактором, який знижує ефективність функціонування системи електричної тяги є відносно низький рівень напруги в контактній мережі. Для забезпечення стабілізованого рівня напруги в контактній мережі для кожної одиниці електрорухомого складу розроблена система стабілізації. Обґрунтовано, що керуючу послідовність впливів можна визначати з використанням штучних нейронних мереж.

Шостий розділ присвячено удосконаленню методів узгодженої взаємодії систем тягового з системами зовнішнього електропостачання. Показано, що процеси взаємодії між системами тягового і зовнішнього електропостачання обумовлені специфічними режимами роботи електроустаткування, що міститься у великій кількості складних підсистем, які активним чином взаємодіють між собою. Встановлено, що найбільший вплив на характер вирівнювальних струмів в тяговій мережі змінного струму має поздовжня компенсація реактивної потужності. Запропоновано методика визначення параметрів поздовжньої компенсації.

У сьомому розділі приведено результати впровадження розроблених методів розрахунку керуючої послідовності впливів у вигляді інформаційного забезпечення для інтелектуалізації систем електропостачання електрифікованих залізниць.

Таким чином, Босий Д.О. провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень і технічні засоби, досяг поставлену мету – розробив методи і засоби підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок створення керуючої послідовності оптимізуючи впливів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.

В дисертації Босий Д. О. отримав такі основні результати, які мають наукову новизну. Вона полягає в розвитку теорії і практики керування системами електропостачання залізничного транспорту, що забезпечує оптимальний перерозподіл потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання. Зокрема:

– вперше *сформульовано* задачу оптимального керування для процесу електропостачання тяги постійного струму за критерієм мінімуму втрат потужності в системі електропостачання з урахуванням наявності на ділянці керованих пунктів підсилення, *запропоновано* функцію опору тягової мережі та отримано аналітичні вирази у вигляді квадратичних залежностей з урахуванням питомого опору тягової мережі та координат вузлів з'єднання контактних підвісок відносно довжини ділянки, *запропоновано* концепцію комплексного дослідження для тягових підстанцій електрифікованих

залізниць, яка передбачає одночасне врахування часових залежностей основних показників якості електроенергії та коефіцієнтів спотворення і фазових портретів струмів навантаження для окремих класів первинної напруги підстанцій;

– розвинуто та удосконалено: *метод фіксованої* вихідної потужності для аналізу режимів системи електричної тяги, який за допомогою аналітичного виразу враховує принцип споживання постійної потужності, *метод обчислення* керуючої послідовності впливів з використанням штучних нейронних мереж, *методи узгодженої* взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання, *метод визначення* потужності компенсуючих пристроїв для сторони змінної напруги тягових підстанцій постійного струму.

Це дозволило розв'язати важливу науково-практичну проблему – підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок оптимального перерозподілу потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання.

Положення і висновки відносно суті проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей обґрунтовані в роботі і базуються на принципах системного аналізу, теорії математичного моделювання, теорії електричних систем. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі Босого Д.О. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень **достатньо обґрунтовані** і відповідають дійсності. **Достовірність** їх забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень. Вона підтверджується результатами тестування розроблених методів, моделей, програмних засобів та результатами впровадження розробок в виробництво.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались на багатьох науково-технічних конференціях і опубліковані в 25 публікаціях, в тому числі: 2 – статті у журналах, що індексуються Scopus; 3 – статті в закордонних виданнях; 1 – монографія, 19 – статті у фахових виданнях, що входять до списку ДАК. Решта 26: 6 – у виданнях не зі списку, 16 – тези науково-технічних конференцій, отримано 2 патенти на корисну модель та 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма).

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них у повному об'ємі представлені матеріали дисертації. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї і висновки. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкрито новизну розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень.

Значення отриманих результатів для теорії і практики.

Практичне і теоретичне значення отриманих результатів визначається тим, що на підставі виконаних автором досліджень розроблено методи та

засоби підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованого залізничного транспорту.

Удосконалено метод розрахунку систем тягового електропостачання з представленням величин у просторово-часових координатах та визначенням інтегральних характеристик і автоматизованим врахуванням впливаючих факторів. Запропоновано систему стабілізації напруги на струмоприймачах електрорухомого складу постійного струму, яка в залежності від ситуації дозволяє зменшити втрати електроенергії в контактній мережі електрифікованих ділянок з 14-17% до 7-8,5% від споживання електроенергії на тягу. Визначено потужності компенсуючих пристроїв зі сторони змінної напруги тягових підстанцій постійного струму та параметри пристроїв поздовжньої та поперечної компенсації реактивної потужності для мінімізації транзитних перетікань електричної енергії між тяговими підстанціями змінного струму. Розроблено пристрій вимірювання напруги в мережі постійного струму з бездротовою передачею даних. Створено програмний продукт для розрахунку режимних показників систем тягового електропостачання.

Розроблені методики та засоби підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованих залізниць прийнято до використання службами електропостачання регіональних філій «Одеська залізниця», «Південна залізниця» та Департаментом електрифікації та електропостачання ПАТ «Укрзалізниця», а також ДП «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту України «Укрзалізничпроект» та ТОВ «Деметра Л».

Результати досліджень автора також використовуються у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Зауваження

1. Перший розділ переобтяжений необов'язковою інформацією. Шляхи підвищення ефективності ЕЕС, наприклад, можна було б опустити або викласти стосовно електрифікації залізниць. Це стосується також роз'яснень щодо Smart Grid, тощо.

2. З використаної в другому розділі моделі розподілу потужностей (рис. 2.1, 2.4, 2.7) не зрозуміло, як автор враховує розкид значень напруг холостого ходу на шинах тягових підстанцій та роль віддалених тягових підстанцій в живленні електротягових навантажень.

3. Не зрозуміло, що автор розуміє під джерелом потужності, як моделюючим елементом електротягового навантаження, адже в класичній теорії кіл такі джерела не використовуються. Можливо краще було б замінювати тягове навантаження в режимі стабілізації потужності керованим джерелом струму або напруги, з врахуванням особливостей енергетичних процесів.

4. При записі формули (2.22) на с. 24 допущено математичну помилку. Напевно не слід було виносити множник η_0 перед таким складним виразом.

5. Зважаючи на запропоновані удосконалення методу розрахунку не зрозуміло чому в структурі просторово-часової моделі (рис. 2.25, с. 99), в якості вихідних даних використовується струм електровозу, а не потужність?

6. Третій розділ, що присвячений експериментальним дослідженням, перенасичений результатами вимірювань та осцилограмами, краще було б частину матеріалу перенести в додатки.

7. На рис. 3.42-3.44 с. 156-157 складно відрізнити подані результати вимірювань та результати, отримані з системи АСКОЕ.

8. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У роботі зустрічаються граматичні помилки, стилістичні неточності і описки, але кількість їх допустима. Путаються деякі поняття: «величина» і «значення», «генерація» і «генерування», тощо. За текстом дисертації допущені різні позначення одних і тих же величин та їх розмірностей, наприклад MW на с.109 та $MВт$ на с. 220. В сьомому розділі при описі розробленого програмного засобу використовуються слова та терміни російською мовою.

Проте зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Босого Д.О.

Висновок

Дисертація Босого Дмитра Олексійовича є завершеною науково-прикладною працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати, що присвячені вирішенню актуальної проблеми підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованих залізниць. Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів світового рівня відповідає пп. 9, 10, 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) і вирішує важливу наукову проблему – підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованих залізниць, що має суттєве значення для транспорту та електроенергетики України. Дисертація відповідає спеціальності 05.22.09 – електротранспорт, а її автор, Босий Дмитро Олексійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

Завідувач кафедри електричних станцій та систем
Вінницького національного технічного університету
Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук, професор



П.Д. Лежнюк

Підпис *Лежнюка П.Д.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією

104-48/24
в.р. 24.04.17

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Босого Дмитра Олексійовича «Розвиток наукових основ підвищення
енергоефективності режимів електропостачання електрифікованих
залізниць», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних
наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Повний обсяг дисертації становить 396 сторінок, серед них 225 рисунків за текстом, з них 75 рисунків розташовано на 30 окремих сторінках, 24 таблиці за текстом, список використаних джерел з 307 найменувань – на 24 сторінках, додатки – на 67 сторінках. Основний текст роботи викладено на 275 сторінках.

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Порівняно з прийнятним рівнем втрат електроенергії в європейських країнах (6-8 %), енергоефективність систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць України залишається незадовільною, оскільки втрати для залізниць змінного струму складають 5-8 %, для постійного – 14-17 %. Впровадження швидкісного руху і збільшення вагових норм поїздів зумовлює необхідність нарощування провізної здатності залізниць. Для електрифікованих постійним струмом ділянок провізна здатність, як правило, обмежується пристроями електропостачання. Фактичний рівень втрат електроенергії на залізницях змінного струму у випадку неузгодженості режимів системи зовнішнього і тягового електропостачання збільшується через додаткове завантаження пристроїв тягового електропостачання транзитними перетіканнями, що також в окремих випадках призводить до надлишкової закупівлі електроенергії.

Невирішеність до цього часу проблеми підвищення енергоефективності зумовлена використанням двох різних систем електричної тяги, відмінностями в поділі суб'єктів обслуговування залізничної інфраструктури та адміністративних одиниць, організаційними питаннями при закупівлі електроенергії з оптового ринку та нормуванням вимог до режимів напруги в системах тягового електропостачання, що, у цілому, ускладнює застосування відомих розробок на основі Smart Grid технологій для підвищення енергоефективності режимів електропостачання.

Тому тема дисертаційної роботи, що спрямована на вирішення проблеми забезпечення енергоефективних режимів електропостачання електрифікованих залізниць, є актуальною і потребує наукового вирішення.

**2. Обґрунтованість та достовірність наукових положень,
висновків і рекомендацій**

В дисертаційній роботі коректно поставлені та кваліфіковано виконані експериментальні дослідження, розбіжність теоретичних розрахунків і дослідних даних не перевищує 5 %; дослідні результати одержано на основі великого обсягу реального фактичного матеріалу з подальшою обробкою

методами математичної статистики; більшу частину експериментальних даних одержано різними незалежними методами.

3. Основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень, проведених у дисертаційній роботі, автором отримані наступні наукові результати.

Вперше запропоновано функцію опору тягової мережі та отримано аналітичні вирази у вигляді квадратичних залежностей з урахуванням питомого опору тягової мережі та координат вузлів з'єднання контактних підвісок відносно довжини ділянки, які дозволяють застосувати формальний підхід та перейти від дискретного до неперервного розрахунку систем тягового електропостачання незалежно від схеми живлення та місцевих особливостей електрифікованих ділянок залізниць.

Вперше сформульовано задачу оптимального керування для процесу електропостачання тяги постійного струму за критерієм мінімуму втрат потужності в системі електропостачання з урахуванням наявності на ділянці керованих пунктів підсилення, що дозволило розробити нову систему підтримки стабільного рівня напруги на струмоприймачах електрорухомого складу.

Вперше запропоновано концепцію комплексного дослідження для тягових підстанцій електрифікованих залізниць, яка передбачає одночасне врахування часових залежностей основних показників якості електроенергії та додатково коефіцієнтів спотворення і фазових портретів струмів навантаження для окремих класів первинної напруги підстанцій, що дозволило порівняти енергоефективність систем тягового електропостачання постійного і змінного струму з урахуванням спотворень якості електроенергії та вмісту неактивних складових повної потужності.

Дістав подальшого розвитку метод фіксованої вихідної потужності для аналізу режимів системи електричної тяги, який за допомогою аналітичного виразу враховує принцип споживання постійної потужності, що відрізняється можливістю прямого безітераційного розрахунку та дозволяє коректно визначати показники режиму системи електропостачання для нових типів електровозів з функцією стабілізації тягової потужності.

Дістав подальшого розвитку метод обчислення керуючої послідовності впливів з використанням штучних нейронних мереж, в основу якого покладено тришарову структуру перцептронну з кількістю вхідних нейронів, що дорівнює кількості точок вимірювання напруги в контактній мережі, одним прихованим шаром та з кількістю вихідних нейронів, що визначається кількістю керованих пунктів підсилення на ділянці, який дозволяє використання розроблених методів визначення керуючої послідовності впливів у системах реального часу за неповної інформації на підставі лише дискретного розподілу спаду напруги в контактній мережі.

Удосконалено методи узгодженої взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання, які вплив параметрів поздовжньої та поперечної компенсації реактивної потужності на рівень транзитних перетікань потужності в системах електричної тяги змінного струму описують системою рівнянь в параметричному вигляді, що дозволяє залежно від кута зсуву фаз векторів

напруги суміжних тягових підстанцій зменшити активні транзитні перетікання потужності шляхом їх переведення у реактивну площину

Удосконалено метод визначення потужності компенсуючих пристроїв для сторони змінної напруги тягових підстанції постійного струму, який враховує фактичний профіль споживання електроенергії, обсяги недокомпенсованої і перекомпенсованої реактивної електроенергії та, за умови застосування статичних пристроїв компенсації, дозволяє знизити витрати, пов'язані з перетіканнями реактивної електроенергії.

4. Повнота викладення в опублікованих працях основних наукових та прикладних результатів дисертаційної роботи

За темою дисертації опубліковано 51 наукову роботу, у тому числі основні результати у 25 працях, з них: 2 – статті у журналах, що індексуються Scopus; 3 – статті в закордонних виданнях; 1 – монографія, 19 – статті у фахових виданнях, і додаткові – в 26 працях, з них 2 – патенти на корисну модель, 2 – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма), 6 – додаткові статті, 16 – тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій. В опублікованих працях повною мірою викладено основні наукові та прикладні результати досліджень, що проведені в дисертації.

5. Практична цінність отриманих результатів дисертаційної роботи

Основна практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання в практиці проектування електричних мереж систем електропостачання залізничного транспорту удосконаленого методу розрахунку систем тягового електропостачання, зниження втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих ділянок постійного струму, визначенні параметрів пристроїв компенсації реактивної потужності для мінімізації транзитних перетікань електричної енергії.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в підрозділах служб електропостачання регіональній філій ПАТ «Укрзалізниця», а також в ДП «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту України «Укрзалізничпроект» та ТОВ «Деметра Л». Окремі результати впроваджено у навчальний процес Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна для підготовки бакалаврів і магістрів зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

6. Оцінка змісту дисертації та її завершеності в цілому

Структура дисертації та логіка викладення не викликають заперечень, розподіл матеріалу за розділами вдалий, в кінці кожного розділу подано висновки та вказано роботи, в яких опубліковано результати кожного розділу.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, формулювання мети та завдань досліджень, основні наукові положення й результати, що винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, апробацію і публікації матеріалів досліджень.

Перший розділ присвячено аналізу стану проблеми енергоефективності режимів електропостачання залізничного транспорту. На основі цього

зроблено висновок, що розробка керуючої послідовності впливів на пункти підсилення тягової мережі постійного струму складає основу інтелектуальної системи електропостачання електрифікованих залізниць та дозволить забезпечити підвищення енергоефективності у вигляді необхідного режиму напруги при мінімізації втрат електричної енергії, а методи узгодженої взаємодії систем зовнішнього і тягового електропостачання забезпечать додаткове підвищення ефективності функціонування електрифікованих залізниць.

У другому розділі викладено підходи до розвитку методів розрахунку параметрів режиму електропостачання з урахуванням наявності систем стабілізації тягової потужності на електрорухомому складі та керованих пунктів підсилення в системі тягового електропостачання. Удосконалені методи узагальнені до виконання електричних розрахунків систем тягового електропостачання в просторово-часових координатах, що дає можливість визначати характеристики розподілених систем тягового електропостачання та враховувати наявність інтелектуально-керованих елементів у системах тягового електропостачання шляхом їх суперпозиції до вихідних даних як навантажень.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень режимів споживання електричної енергії в системах тягового електропостачання постійного та змінного струму. Дослідження проводились на 11 тягових підстанціях постійного струму, 6 тягових підстанціях змінного струму та 6 електровозах при дослідних поїздках на електрифікованих ділянках залізниць. Результати комплексного дослідження показали, що енергоефективність системи тягового електропостачання змінного струму проти системи постійного струму не повною мірою відповідає існуючим критеріям через наявні спотворення якості електроенергії, що складають: у частині несинусоїдності напруги – до 5,84 % проти 2,35 %; несиметрії напруги – до 2,95 % проти 0,82 %; коефіцієнта потужності – 0,7..0,8 проти 0,95..0,98; співвідношення складових неактивної до активної потужності в квадратурах – 50/50 % проти 10/90 %. Крім цього, система змінного струму допускає транзитні перетікання потужністю до 4 МВт за наявності кута зсуву фаз однойменних напруг в первинній мережі до 10 електричних градусів.

Четвертий розділ присвячено дослідженню особливостей впливу режимів напруги на енергетичні характеристики на фізичних та імітаційних моделях, чим перевірявся можливий вплив якості електроенергії на точність системи обліку. В результаті встановлено закономірності перерозподілу потужностей у фазах змінного струму, які призводять до збільшення коефіцієнта потужності у фазі із заниженою напругою та відповідного зменшення у двох інших. Для електронних приладів обліку електроенергії в умовах, що відповідають реальному стану показників якості електроенергії тягових підстанцій постійного і змінного струму отримано, що при вимірюванні активної потужності основна відносна похибка відповідає допустимим за класом точності значенням, а при вимірюванні реактивної потужності основна відносна похибка відповідає допустимим за класом точності значенням лише для реактивної потужності першої гармоніки та при коефіцієнті спотворення форми струму не більше 25 %.

У *п'ятому розділі* розвинуто наукові основи підвищення енергоефективності режимів електропостачання за допомогою визначення керуючої послідовності впливів на пункти підсилення всередині міжпідстанційної зони. Виконані варіантні розрахунки показали, що використання розробленої системи моніторингу та регулювання напруги для електрифікованих ділянок постійного струму при прямуванні навантаження міжпідстанційною зоною залежно від величини обмеження напруги втрати електроенергії знижуються в межах 38-61 %.

Шостий розділ присвячено удосконаленню методів узгодженої взаємодії систем тягового із системами зовнішнього електропостачання. В результаті показано, що процеси взаємодії систем тягового електропостачання із системами зовнішнього електропостачання зумовлені специфічними режимами роботи та електроустаткуванням, що міститься у великій кількості складних підсистем, які активним чином взаємодіють між собою.

У *сьомому розділі* наведено результати впровадження розроблених методів розрахунку керуючої послідовності впливів у вигляді інформаційного забезпечення для інтелектуалізації систем електропостачання електрифікованих залізниць.

Загальні висновки по дисертаційній роботі у повній мірі відображають одержані наукові результати.

У *додатках* приведено реалізацію удосконалених методів розрахунку системи тягового електропостачання в пакеті MathCAD, програми проведених експериментальних досліджень та акти впровадження результатів дисертації.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

Оцінюючи в цілому дисертаційну роботу Босого Д.О. позитивно, висловлю такі зауваження:

1. в першому розділі, на мою думку, не достатньо розглянуті сучасні розробки з удосконалення та модернізації систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць;

2. не достатньо деталізовано порядок та особливості розрахунку за узагальненою структурою розробленої просторово-часової моделі (рис. 2.25, с. 99);

3. на рис. 2.26, с. 100 використано не роз'яснені позначення, а саме TS-1, TS-2, PPC1, SP, PPC2;

4. з наведеної методики, яка приведена в п. 2.6, не зрозуміло яким чином враховується різний рівень напруги на шинах суміжних тягових підстанцій;

5. з приведеного в третьому розділі системного аналізу показників якості електроенергії не зрозуміло якими фізичними процесами викликані зміни обраних автором показників якості електроенергії;

6. в п. 3.5 не приведено використаних формул та методики, за якими визначались активні та неактивні складові повної потужності для окремих тягових підстанцій;

7. не зрозуміло, для чого в табл. 3.2 вказані об'єкти дослідження «електрифіковані ділянки», якщо безпосередніх результатів вимірювань для електровозів постійного та змінного струму в дисертації не приведено;

8. дослідження впливу режимів напруги на прилади обліку електроенергії обмежуються лише гармонійним складом однофазного тиристорного перетворювача, що для систем електричної тяги може виявитись недостатнім;

9. в п. 5.2 при вирішенні задачі оптимального керування не вказано яким методом з урахуванням прийнятих обмежень визначались струми пунктів підсилення тягової мережі;

10. приведені в п. 6.3 дослідження емісії вищих гармонік при взаємодії систем тягового з системами зовнішнього електропостачання мають обмежене застосування, оскільки не враховують всіх факторів при роботі перетворювачів в реальних системах електропостачання.

В решті матеріал дисертаційної роботи викладено технічно грамотно, у логічній послідовності, ясно та аргументовано. Дисертація оформлена належним чином, відповідно до вимог, які пред'являються МОН України.

8. Загальний висновок

Зауваження, які наведені вище, не знижують якість роботи і не порушують основні її положення, не зменшують її наукову новизну та практичну цінність, а отже, й загальну високу оцінку.

Автореферат повною мірою відображає зміст дисертаційної роботи. Ілюстративний матеріал з достатньою інформативністю висвітлює основні наукові результати.

Дисертаційна робота Босого Д. О. є завершеним науковим дослідженням, зміст якого відповідає спеціальності 05.22.09 – електротранспорт. В дисертаційній роботі на основі результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок створення керуючої послідовності впливів на пристрої підсилення тягової мережі, яка забезпечує оптимальний перерозподіл потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання.

За актуальністю розглянутої проблеми, науковим рівнем, обсягом досліджень та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...» щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Босий Дмитро Олексійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автоматизації енергосистем
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Гриб О. Г.

« 18 » 04 2017 р.

Підпис	<i>Гриб О. Г.</i>
ЗА СВІДАЧУЮ	
ВЧЕННИЙ СЕКРЕТАР	
« 18 » 04 2017	



ЗАКОВОРОТНИЙ О.Ю.

*1804-48/21
в.р. 20.04.17*

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Босого Дмитра Олексійовича «Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованих залізниць»,
що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

1. Актуальність теми дисертації

Енергоефективність систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць України залишається незадовільною через те, що втрати електроенергії, насамперед, для залізниць постійного струму перевищують 11%. Необхідність нарощування провізної здатності залізниць обумовлена впровадженням швидкісного руху і збільшенням вагових норм поїздів.

На ділянках постійного струму провізну здатність обмежують пристрої електропостачання, а на залізницях змінного струму у випадку неузгодженості режимів системи зовнішнього і тягового електропостачання виникають транзитні перетікання, що призводить до зайвих витрат.

Метою роботи є підвищення енергоефективності систем електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок створення керуючої послідовності впливів, яка забезпечує оптимальний перерозподіл потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання.

Тому тема дисертаційної роботи, що спрямована на вирішення проблеми забезпечення енергоефективних режимів електропостачання електрифікованих залізниць, є актуальною і потребує наукового вирішення.

2. Зміст дисертації та оцінка результатів дослідження

В *першому розділі* аналізується стан проблеми енергоефективності режимів електропостачання залізничного транспорту. Показано, що розробка керуючої послідовності впливів на пункти підсилення тягової мережі постійного струму складає основу інтелектуальної системи електропостачання електрифікованих залізниць та дозволить забезпечити підвищення енергоефективності у вигляді необхідного режиму напруги при мінімізації втрат електричної енергії, а методи узгодженої взаємодії систем зовнішнього і тягового електропостачання забезпечать додаткове підвищення ефективності функціонування електрифікованих залізниць.

Другий розділ присвячено теоретичним підходам до розвитку методів розрахунку параметрів режиму електропостачання з урахуванням наявності систем стабілізації тягової потужності на електрорухомому складі та керованих пунктів підсилення в системі тягового електропостачання. Удосконалені методи узагальнені до виконання електричних розрахунків систем тягового електропостачання в просторово-часових координатах, що дає можливість визначати характеристики розподілених систем тягового електропостачання та враховувати наявність інтелектуально-керованих елементів у системах тягового електропостачання шляхом їх суперпозиції до вихідних даних як навантажень.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень режимів споживання електричної енергії в системах тягового електропостачання постійного та змінного струму. Дослідження проведені на 11 тягових підстанціях постійного струму, 6 тягових підстанціях змінного струму та 6 електровозах при дослідних поїздах на електрифікованих ділянках залізниць. Результати показали, що енергоефективність системи тягового електропостачання змінного струму проти системи постійного струму не повною мірою відповідає існуючим критеріям через наявні спотворення якості електроенергії. Крім цього, система змінного струму допускає транзитні перетікання за наявності кута зсуву фаз однойменних напруг в первинній мережі.

В четвертому розділі досліджуються особливості впливу режимів напруги на енергетичні характеристики на фізичних та імітаційних моделях, а саме на точність обліку електроенергії та роботу випрямлячів тягових підстанцій.

У п'ятому розділі розвинуто наукові основи підвищення енергоефективності режимів електропостачання за допомогою визначення керуючої послідовності впливів на пункти підсилення всередині міжпідстанційної зони. Показано, що використання розробленої системи моніторингу та регулювання напруги для електрифікованих ділянок постійного струму при прямованні навантаження міжпідстанційною зоною залежно від величини обмеження напруги втрати електроенергії знижуються в середньому в 2 рази.

Шостий розділ присвячено удосконаленню методів узгодженої взаємодії систем тягового із системами зовнішнього електропостачання. В результаті показано, що процеси взаємодії систем тягового електропостачання із системами зовнішнього електропостачання зумовлені специфічними режимами роботи та електроустаткуванням, що міститься у великій кількості складних підсистем, які активним чином взаємодіють між собою.

У сьомому розділі наведено результати впровадження розроблених методів розрахунку керуючої послідовності впливів у вигляді інформаційного забезпечення для інтелектуалізації систем електропостачання електрифікованих залізниць.

3. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

В дисертаційній роботі коректно поставлені та кваліфіковано виконані експериментальні дослідження, розбіжність теоретичних розрахунків і дослідних даних не перевищує 5 %; дослідні результати одержано на основі великого обсягу реального фактичного матеріалу з подальшою обробкою методами математичної статистики; більшу частину експериментальних даних одержано різними незалежними методами.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень, проведених у дисертаційній роботі, автором отримані наступні наукові результати.

Вперше запропоновано функцію опору тягової мережі та отримано аналітичні вирази у вигляді квадратичних залежностей з урахуванням питомого опору тягової мережі та координат вузлів з'єднання контактних підвісок відносно довжини ділянки, які дозволяють застосувати формальний підхід та

перейти від дискретного до неперервного розрахунку систем тягового електропостачання незалежно від схеми живлення та місцевих особливостей електрифікованих ділянок залізниць.

Вперше сформульовано задачу оптимального керування для процесу електропостачання тяги постійного струму за критерієм мінімуму втрат потужності в системі електропостачання з урахуванням наявності на ділянці керованих пунктів підсилення, що дозволило розробити нову систему підтримки стабільного рівня напруги на струмоприймачах електрорухомого складу.

Вперше запропоновано концепцію комплексного дослідження для тягових підстанцій електрифікованих залізниць, яка передбачає одночасне врахування часових залежностей основних показників якості електроенергії та додатково коефіцієнтів спотворення і фазових портретів струмів навантаження для окремих класів первинної напруги підстанцій, що дозволило порівняти енергоефективність систем тягового електропостачання постійного і змінного струму з урахуванням спотворень якості електроенергії та вмісту неактивних складових повної потужності.

Дістав подальшого розвитку метод фіксованої вихідної потужності для аналізу режимів системи електричної тяги, який за допомогою аналітичного виразу враховує принцип споживання постійної потужності, що відрізняється можливістю прямого безітераційного розрахунку та дозволяє коректно визначати показники режиму системи електропостачання для нових типів електровозів з функцією стабілізації тягової потужності.

Дістав подальшого розвитку метод обчислення керуючої послідовності впливів з використанням штучних нейронних мереж, в основу якого покладено тришарову структуру персептрону з кількістю вхідних нейронів, що дорівнює кількості точок вимірювання напруги в контактній мережі, одним прихованим шаром та з кількістю вихідних нейронів, що визначається кількістю керованих пунктів підсилення на ділянці, який дозволяє використання розроблених методів визначення керуючої послідовності впливів у системах реального часу за неповної інформації на підставі лише дискретного розподілу спаду напруги в контактній мережі.

Удосконалено методи узгодженої взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання, які вплив параметрів поздовжньої та поперечної компенсації реактивної потужності на рівень транзитних перетікань потужності в системах електричної тяги змінного струму описують системою рівнянь в параметричному вигляді, що дозволяє залежно від кута зсуву фаз векторів напруги суміжних тягових підстанцій зменшити активні транзитні перетікання потужності шляхом їх переведення у реактивну площину.

Удосконалено метод визначення потужності компенсуючих пристроїв для сторони змінної напруги тягових підстанцій постійного струму, який враховує фактичний профіль споживання електроенергії, обсяги недокомпенсованої і перекомпенсованої реактивної електроенергії та, за умови застосування статичних пристроїв компенсації, дозволяє знизити витрати, пов'язані з перетіканнями реактивної електроенергії.

За темою дисертації опубліковано 51 наукову роботу, у тому числі основні результати у 25 працях, з них: 2 – статті у журналах, що індексуються Scopus; 3 – статті в закордонних виданнях; 1– монографія, 19 – статті у фахових виданнях, і додаткові – в 26 працях, з них 2 – патенти на корисну модель, 2 – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп’ютерна програма), 6 – додаткові статті, 16 – тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій. В опублікованих працях повною мірою викладено основні наукові та прикладні результати досліджень, що проведені в дисертації.

4. Практична цінність отриманих результатів дисертаційної роботи

Основна практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання в практиці проектування електричних мереж систем електропостачання залізничного транспорту удосконаленого методу розрахунку систем тягового електропостачання, зниження втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих ділянок постійного струму, визначенні параметрів пристроїв компенсації реактивної потужності для мінімізації транзитних перетікань електричної енергії.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в підрозділах служб електропостачання регіональній філії ПАТ «Укрзалізниця», а також в ДП «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту України «Укрзалізничпроект» та ТОВ «Деметра Л». Окремі результати впроваджено у навчальний процес Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна для підготовки бакалаврів і магістрів зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

5. Зауваження до роботи

1. при дослідженні умовних втрат на рис. 1.9, с. 26 не роз’яснено чому для кожної залізниці вказується два значення;

2. принципи електричних розрахунків для систем тягового електропостачання в п. 2.5 викладено лише для фрагменту графіку руху поїздів на одній міжпідстанійній зоні, з чого не зрозуміло чи можливо застосувати такий підхід у більших масштабах;

3. в 3-му розділі при вимірюванні кута зсуву фаз між векторами напруги не використовувались сучасні українські розробки, наприклад Регіна-Ч;

4. для запропонованої системи моніторингу напруги на рис. 5.19, с. 227 не приводяться деталізовані алгоритми роботи пристроїв вимірювання напруги і принципи обміну та передачі інформації;

5. з приведено в розділі 7 опису розробленого інформаційного забезпечення не зрозуміло чи передбачається можливість порівняння розрахованих параметрів режиму та виміряних системою моніторингу.

Проте зазначені зауваження не піддають сумніву результати досліджень і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Босого Д.О.

6. Висновок

Зауваження, які наведені вище, не знижують якість роботи і не порушують основні її положення, не зменшують її наукову новизну та практичну цінність, а отже, й загальну високу оцінку.

Автореферат повною мірою відображає зміст дисертаційної роботи. Ілюстративний матеріал з достатньою інформативністю висвітлює основні наукові результати.

Дисертаційна робота Босого Д. О. є завершеним науковим дослідженням, зміст якого відповідає спеціальності 05.22.09 – електротранспорт. В дисертаційній роботі на основі результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема підвищення енергоефективності режимів електропостачання електрифікованого залізничного транспорту за рахунок створення керуючої послідовності впливів на пристрої підсилення тягової мережі, яка забезпечує оптимальний перерозподіл потоків потужності в системах тягового електропостачання, а також шляхом узгодження режимів взаємодії систем тягового і зовнішнього електропостачання.

За актуальністю розглянутої проблеми, науковим рівнем, обсягом досліджень та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...» щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Босий Дмитро Олексійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент

В.о. проректора з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
Державного економіко-технологічного
університету транспорту

Стасюк О. І.

« 24 » 04 2017 р.

*Підпис Стасюк О.І. засвідчую
Старший інспектор ВК Шуф. Л.В. Москаленко*

*КДЧ-48/26
Від 25.04.17.*