

## **ВИСНОВОК ПРО НАУКОВУ НОВИЗНУ, ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

аспіранта Земського Д. Р. на тему «Підвищення ефективності передачі електроенергії для нетягових споживачів електрифікованих залізниць змінного струму», що подана на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 275 – «Транспортні технології (за видами), галузі знань 27 – Транспорт

Дисертаційна робота Земського Д.Р. на тему «Підвищення ефективності передачі електроенергії для нетягових споживачів електрифікованих залізниць змінного струму» виконана на кафедрі «Інтелектуальні системи електропостачання» факультету «Управління енергетичними процесами» Дніпровського національного університету ім. акад. В. Лазаряна, подана на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 275 – «Транспортні технології (за видами)», галузі знань 27 – Транспорт. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпропетровського національного університету ім. акад. В. Лазаряна. (протокол № 3 від 31 жовтня 2016 року). Для підготовки висновку про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Підвищення ефективності передачі електроенергії для нетягових споживачів електрифікованих залізниць змінного струму» вченою радою університету (протокол № 8 від 18.05.2020 року) визначено, що попередня експертиза дисертації проводитиметься на базі факультету «Управління енергетичними процесами», та призначено двох рецензентів:

- 1) завідувача кафедри «Електротехніка та електромеханіка», д.т.н., професора Муху А. М.;
- 2) доцента кафедри «Електротехніка та електромеханіка», к.т.н., доцента Бондаря О. І.

### **1. Ступінь актуальності теми дисертації та її зв'язок з планами наукових робіт університету.**

Експлуатаційна довжина залізниць України, електрифікованих на змінному струмі, складає близько 5 135 км, що становить 53 % від загальної довжини електрифікованих залізниць України. В той же час, АТ «Укрзалізниця» як власник електромереж для комерційного розподілу електроенергії використовує технологічні лінії електропередач «два проводирейка» (лінії ДПР) напругою 27,5 кВ, загальна довжина яких в Україні становить 4 369 км. Конструкція ліній ДПР посилює електромагнітний вплив тягової мережі на мережу нетягового електропостачання, що призводить до значного погіршення якості електричної енергії, яка передається лінією ДПР, зменшення надійності роботи електроприймачів і збільшення втрат електроенергії у мережі та у приєднаного до неї обладнання. За даними Укрзалізниці лініями ДПР за рік передається близько 250 млн. кВт·год, при цьому річні втрати електроенергії знаходяться на рівні 6 млн. кВт·год. Несиметрія напруги в лініях ДПР досягає значень 7,5...10,6 %, а несинусоїдність – 8,5...12,7 %, проти 4 % та 8 % відповідно у інших лініях нетягового електропостачання. Крім того, використання різних схем підключення тягових підстанцій до системи зовнішнього електропостачання



робить принципово неможливим двостороннє живлення споживачів лініями ДПР, яке доцільніше у аспекті втрат електроенергії та безперервності електропостачання.

У зв'язку з вищенаведеним, підвищення ефективності передачі електроенергії у лініях «два проводи-рейка» є актуальною задачею для розвитку галузі електротранспорту, вирішення якої дозволить зменшити технологічні втрати електроенергії у лініях нетягового електропостачання напругою 27,5 кВ, підвищити якість та надійність електропостачання завдяки можливості реалізації схеми двостороннього живлення споживачів, що відповідає поставленим задачам у «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року».

Обрані дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за наступними темами: «Математико-інформаційне забезпечення процесу моделювання режимів роботи систем електричного транспорту», (№ ДР 0119U103838); «Забезпечення паралельної роботи та підвищення якості електроенергії у лініях електропостачання нетягових споживачів залізниць змінного струму» (№ ДР 0119U103771); «Розробка інтелектуальних технологій ефективного енергозабезпечення транспортних систем» (№ ДР 0116U006982).

## **2. Наукова новизна, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.**

Значення для науки представляють наступні результати, отримані в дисертації:

- вперше розроблено комплексну математичну модель взаємодії систем зовнішнього, тягового та нетягового електропостачання залізниці змінного струму, яка відрізняється від існуючих врахуванням різних схем підключення тягових підстанцій до живлячої мережі, несиметрії та несинусоїдності тягового навантаження, параметрів магнітного кола трансформаторів та конструктивного виконання ліній нетягового електропостачання, що дозволяє достовірно визначити втрати та показники якості електроенергії у системі електропостачання для несиметричних та несинусоїдних режимів роботи;

- вперше на основі дослідження закономірності зміни систем векторів вихідної напруги тягових трансформаторів із врахуванням схеми їх підключення до первинної мережі запропоновано науково обґрунтований метод забезпечення двостороннього живлення ліній нетягового електропостачання від тягових шин підстанцій змінного струму з різними конфігураціями систем векторів напруги, що дозволяє забезпечити безперервну передачу електроенергії з меншими втратами;

- дістав подальшого розвитку метод моделювання режимів електричних мереж у фазних координатах, який відрізняється поєднанням пофазного підходу до складання схеми заміщення та використанням активних і обмінних характеристик нелінійного навантаження при розв'язанні системи диференціальних рівнянь, що дозволяє одночасно отримати показники несиметрії та несинусоїдності напруги в розподільчих мережах електрифікованих залізниць змінного струму.



Практичне значення роботи полягає у зменшенні втрат та покращенні якості електроенергії при передачі лініями нетягового електропостачання напругою 27,5 кВ. Зокрема автор стверджує, що впровадження способу підвищення ефективності передачі електричної енергії на кожні 100 км у мережі нетягового електропостачання напругою 27,5 кВ дозволяє зменшити: втрати електроенергії з 270...350 МВт·год/рік до 160...210 МВт·год/рік; коефіцієнт несиметрії зворотної послідовності напруги з 1,8...1,9 % до 1,3 %; коефіцієнт несинусоїдності напруги з 7,00...8,21 % до 4,57...6,60 % відповідно. Крім того, отримані аналітичні вирази показників несиметрії напруги для схем одностороннього та двостороннього живлення ліній «два проводи-рейка» у вигляді сукупності статистичних законів розподілу та рівнянь регресії дозволяють кількісно оцінити несиметрію напруги при реалізації окремої схеми живлення та показують зниження несиметрії при реалізації двосторонньої схеми живлення.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичного апарату з використанням теорії ймовірностей та методів статистичного аналізу.

Достовірність отриманих результатів забезпечена коректно поставленими і кваліфікаційно виконаними експериментальними дослідженнями, а також узгодженням результатів моделювання та експериментальних даних.

Практична цінність роботи підтверджена актом впровадження від служби електропостачання регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Дисертація є самостійно виконаною та завершеною науковою працею. Усі наукові положення дисертаційної роботи сформульовано автором особисто. Авторіві належить аналіз наукових публікацій за темою дисертації, обробка результатів експериментальних досліджень показників якості електроенергії, розробка математичної моделі для сумісного відтворення електроенергетичних процесів у системі нетягового, зовнішнього та тягового електропостачання, програмна реалізація алгоритму побудови математичної моделі, дослідження стану якості та втрат електроенергії у системі електропостачання у залежності від схеми приєднання тягових підстанцій до системи електропостачання та способу живлення нетягових споживачів, розробка методу забезпечення двостороннього живлення нетягових споживачів від шин підстанції із різними конфігураціями систем векторів напруги.

У статтях, які відображають основні результати дисертації та написані в співавторстві, Земському Д. Р належить: [3] та [4] – розрахунок та аналіз показників якості електричної енергії з використанням методів математичної статистики; [1] – огляд відомих способів підвищення ефективності передачі електричної енергії лініями «два проводи-рейка»; [5] – розробка математичної моделі та перевірка її на адекватність [7] – розробка методу забезпечення двостороннього живлення ліній нетягового електропостачання від тягових шин підстанцій змінного струму з різними конфігураціями систем векторів напруги.

### **3. Наукові публікації, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, та повнота опублікування результатів дисертації**

Основні результати дисертації опубліковані у 17 наукових публікаціях з яких п'ять відповідають вимогам п. 11 Постанови Кабінету Міністрів України «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії»



№ 167 від 06.03.2019. Представленні наукові публікації у повній у повній мірі відображають одержані наукові результати дисертаційної роботи.

Список публікацій в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Босий Д. О., Земський Д. Р. Підвищення якості електроенергії у лініях «два проводи-рейка». Електрифікація транспорту. № 12. С. 76-81.

2. Земський Д. Р. Експериментальне дослідження якості електроенергії у споживачів, що живляться від лінії ДПР 27,5 кВ залізниць змінного струму. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 1 (136). С. 66–71.

3. Босий Д. О., Земський Д. Р., Хоменко В. Р. Аналітичне порівняння показників якості електроенергії за двома стандартами у мережі нетягового споживача залізниці змінного струму. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Енергетика: надійність та енергоефективність». 2019. № 29. С. 27-33.

4. Zemskyi D. R., Bosyi D. O. Energy Efficient Modes of Distribution Power Supply Systems with Different Vector Group of Transformer : 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems. Conference proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2019. doi: 10.1109/ESS.2019.8764246.

5. Земський Д.Р., Сиченко В.Г., Босий Д.О. Моделювання сумісної роботи систем зовнішнього та тягового електропостачання залізниць змінного струму для оцінки якості електроенергії у несиметричних режимах. Технічна електродинаміка. 2020. № 2. С. 74-85.

6. Земський Д. Р. Дослідження якості електричної енергії у лініях поздовжнього електропостачання залізниць змінного струму. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств* : матеріали II-ї Міжнародної науково.-практичної конференції, м. Дніпро, 3-4 листопада 2016 р. Дніпро, ДНУЗТ, 2016. С. 31-32.

7. Bosyi D., Zemskyi D. Increasing Power Supply Efficiency for “Two WireRail” Line Consumers. *Problemy Kolejnictwa*. Issue 188. pp.93-102. DOI: 10.36137/1881E.

8. Земський Д. Р. Пошук шляхів модернізації та удосконалення електромагнітної сумісності ліній ДПР електрифікованих залізниць. *Безпека і електромагнітна сумісність на залізничному транспорті* : матеріали VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 1-3 лютого 2017 р. Чернівці, 2017. С. 34-35.

9. Земський Д. Р. Проблеми ефективної роботи системи поздовжнього електропостачання нетягових споживачів залізниць змінного струму. *«Енергооптимальні технології перевізного процесу»*: матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 22-26 травня 2017 р., Львів, 2017. С.36-37.

10. Земский Д. Р. Электромагнитная совместимость линий ДПР с потребителями электроэнергии на дорогах переменного тока. *Проблемы безопасности на транспорте* : материалы VIII Международной научно-практической конференции : в 2 ч. Ч. 1, г. Гомель, 23-24 ноября, 2017 р.,



Гомель, 2017. С. 186-187.

11. Земський Д. Р. Моделювання впливу системи тягового електропостачання змінного струму на лінію два проводи-рейка. *Електрифікація транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО-2017»* : матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції, м. Дніпро 20-21 грудня 2017 р. Дніпро, 2017. С.19-20.

12. Земський Д. Р. Моделювання процесу передачі електричної енергії лініями «два проводи-рейка». *Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації*: збірник наукових праць XVI-ї Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів, м. Кременчук, 12-13 квітня 2018 р. Кременчук, 2018. С. 142-143.

13. Босый Д. А., Земский Д. Р. К вопросу о совместном моделировании систем тягового и внешнего электроснабжения несимметричных режимов работы. *Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов* : материалы IV Международной научно-практической конференции : в 2 ч. Ч. 1, 11-12 октября, 2018 р., Гомель, 2018. С. 11-12.

14. Босий Д. О., Земський Д. Р. Енергоефективні режими електропостачання розгалужених систем з нелінійними та несиметричними навантаженнями. *Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2018)*: збірник наукових праць II Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Харків 3-6 грудня 2018 р., Харків, 2018. С. 27-28.

15. Босий Д. О., Земський Д. Р. Моделювання електромагнітних процесів в системах тягового електропостачання та зовнішній енергетиці. *Науково-технічний прогрес на транспорті*: матеріали 79 Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених, м. Дніпро, 28 березня 2019 р. Дніпро, 2019. С. 10-11.

16. Босый Д. А., Земский Д. Р. Математико-информационное обеспечение процесса моделирования режимов работы систем электроснабжения электрического транспорта. *Проблемы безопасности на транспорте*: материалы IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 1, г. Гомель, 28-29 ноября 2019 г. Гомель, 2019. С. 112-114.

17. Босий Д.О., Земський Д. Р. Аналітичне порівняння показників якості електроенергії за двома стандартами в лініях нетягового електропостачання залізниць змінного струму. *Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019)* матеріали III Міжнародної науково-технічна конференція, м. Харків, 12-15 листопада 2019 р. Харків, 2019. С. 47.

Дисертація написана діловою українською мовою з дотримання наукового стилю викладання результатів проведених досліджень відповідно до встановлених вимог. Стил ь викладання забезпечує доступність сприйняття та осмисленість матеріалів дослідження.

Апробація дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались на наступних конференціях:

IV Міжнародна науково-технічна конференція «ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ», 11-13 жовтня 2017, м. Вінниця, Україна;



IV Міжнародна научно-практична конференція «Актуальні питання та перспективи розвитку транспортного і будівельного комплексів», присвяченої 65-літтю БІІЖТа-БелГУТа. 11-12 жовтня 2018 р., м. Гомель, Білорусь.

2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 17-19 April, 2019 Kyiv, Ukraine.

III «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019)», 12-15, листопад, 2019, Харків, Україна.

IX Міжнародна научно-практична конференція «ПРОБЛЕМИ БЕЗОПАСНОСТІ НА ТРАНСПОРТЕ». 28-29 жовтня 2019 р., м. Гомель, Білорусь.

Фаховий семінар факультету «Управління енергетичними процесами» Дніпровського національного університету імені академіка В. Лазаряна, що проходив 25.06.2020 р., де Земський Д.Р. виклав основні положення дисертації та відповів на запитання та зауваження.

### ВИСНОВОК:

Ознайомившись з дисертаційною роботою Земського Д.Р. на тему «Підвищення ефективності передачі електроенергії для нетягових споживачів електрифікованих залізниць змінного струму» зі спеціальності 275 – «Транспортні технології (за видами)» та науковими публікаціями, у яких висвітлено основні наукові результати, а також враховуючи результати апробації дисертаційної роботи на фаховому семінарі, вважаємо, що:

1. Дисертаційна робота Земського Д.Р. за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю та практичною придатністю здобутих результатів відповідає напрямку наукового дослідження освітньої-наукової програми «Транспортні технології на залізничному та промисловому транспорті» зі спеціальності 275 – «Транспортні технології (за видами)», є закінченим прикладним дослідженням, що має вагомий внесок у розвиток галузі електротранспорту.

2. Дисертаційна робота Земського Д.Р. відповідає вимогам пп. 9, 10, 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167 «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» і рекомендується до разового захисту у спеціалізованій вченій раді з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію.

Рецензент, завідувач кафедри  
«Електротехніка та електромеханіка»,  
д.т.н., професор

А. М. Муха

Рецензент, доцент кафедри  
«Електротехніка та електромеханіка»,  
к.т.н., доцент



|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Особистий підпис                                                                                                     |    |
| засвідчую                                                                                                            |    |
| О. І. Бондар                                                                                                         |    |
| Нач. загального відділу Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна |    |
| 29                                                                                                                   | 06 |
| 2020 р.                                                                                                              |    |