

УДК 621.313:621.314

Володимир Нерубацький, к.т.н., доц.

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЕПЛОВОЗА НА РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. У роботі досліджено вплив параметрів системи керування тяговим асинхронним електроприводом тепловоза на режими його роботи із застосуванням математичного моделювання. Встановлено закономірності зміни тягових та енергетичних характеристик при варіюванні параметрів керування та обґрунтовано підходи до їх раціонального вибору.

Ключові слова: тяговий електропривод, тепловоз, система керування, математичне моделювання, режими роботи, енергоефективність.

Volodymyr Nerubatskyi

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONTROL SYSTEM PARAMETERS OF A LOCOMOTIVE TRACTION INDUCTION DRIVE ON ITS OPERATING MODES USING MATHEMATICAL MODELING

Abstract. The paper investigates the influence of control system parameters of a locomotive traction induction drive on its operating modes using mathematical modeling. Regularities in the variation of traction and energy characteristics under changes in control parameters are established, and approaches to their rational selection are substantiated.

Keywords: traction electric drive, locomotive, control system, mathematical modeling, operating modes, energy efficiency.

Сучасні тенденції розвитку тягового рухомого складу залізничного транспорту пов'язані з широким впровадженням асинхронних тягових електроприводів, які забезпечують підвищену енергоефективність, надійність та гнучкість керування порівняно з традиційними системами [1–3]. Водночас ефективність функціонування таких приводів значною мірою визначається параметрами системи керування, зокрема налаштуваннями регуляторів, алгоритмами формування керуючих сигналів та характеристиками силових перетворювачів [4, 5]. У цьому контексті актуальним є дослідження впливу варіювання параметрів системи керування на режими роботи тепловоза з метою підвищення його техніко-економічних показників. Додатково слід зазначити, що зростання вимог до енергоефективності та екологічності рухомого складу обумовлює необхідність більш точного налаштування систем керування, що безпосередньо впливає на витрати палива та ресурс основних вузлів тепловоза.

У роботі розглянуто математичну модель тепловоза з асинхронним тяговим електроприводом, яка включає підсистеми тягового асинхронного двигуна, автономного інвертора напруги, системи керування з регуляторами струму та швидкості, а також механічної частини поїзда. Модель побудована на основі рівнянь електромагнітних процесів в асинхронному двигуні в обертовій системі координат та доповнена описом алгоритмів векторного керування. Такий підхід дозволяє адекватно відтворювати як усталені, так і перехідні режими роботи тягового електроприводу. Крім того, модель враховує вплив зовнішніх збурень, зокрема змін навантаження та параметрів колійного профілю, що дозволяє підвищити достовірність отриманих результатів моделювання. Особливу увагу приділено аналізу впливу параметрів системи керування, зокрема коефіцієнтів підсилення та інтегрування регуляторів,

частоти широтно-імпульсної модуляції інвертора, а також параметрів фільтрації сигналів зворотного зв'язку. Варіювання зазначених параметрів у процесі моделювання дозволило встановити закономірності зміни тягових та енергетичних характеристик тепловоза. Зокрема, показано, що збільшення коефіцієнтів підсилення регуляторів струму сприяє покращенню швидкодії системи, однак може призводити до виникнення коливальних процесів та підвищення втрат енергії. Водночас оптимізація параметрів регулятора швидкості забезпечує зменшення перерегулювання та підвищення плавності розгону поїзда. Окремо встановлено, що вибір частоти широтно-імпульсної модуляції суттєво впливає на рівень гармонічних спотворень струмів та додаткові втрати в електричних машинах. Також показано, що параметри фільтрації сигналів зворотного зв'язку визначають компроміс між швидкістю системи та її стійкістю до вимірювальних завад. Результати моделювання свідчать, що раціональний вибір параметрів системи керування дозволяє досягти суттєвого покращення експлуатаційних показників тепловоза, зокрема зниження питомих витрат енергії, зменшення динамічних навантажень у тяговому приводі та підвищення стабільності роботи в умовах змінного профілю колії та навантаження. Встановлено, що узгоджене налаштування параметрів регуляторів та алгоритмів керування є ключовим фактором забезпечення ефективної роботи асинхронного тягового електроприводу.

Таким чином, застосування засобів математичного моделювання дозволяє комплексно дослідити вплив параметрів системи керування на режими роботи тепловоза та обґрунтувати рекомендації щодо їх оптимізації. Отримані результати можуть бути використані при розробці та вдосконаленні систем керування сучасних тепловозів з асинхронним тяговим електроприводом з метою підвищення їх енергоефективності та надійності в експлуатації. Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення моделі з урахуванням адаптивних та інтелектуальних алгоритмів керування, що дозволить підвищити ефективність роботи тепловоза в умовах невизначеності та змінних експлуатаційних факторів.

Перелік посилань

1. Nerubatskyi V. P. Analysis of the operating conditions and modes of locomotive traction motors. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2025. Том 30, № 4. С. 3–21. <https://doi.org/10.18664/iksz.v30i4.351425>.
2. Нерубацький В. П. Аналіз експлуатаційної надійності безколекторних тягових двигунів локомотивів. Тези 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту» (Харків, УкрДУЗТ, 03–04 грудня 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 11–13.
3. Нерубацький В. П. Моніторинг технічного стану безколекторних тягових двигунів завдяки залученню цифрових технологій сьогодення. Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, УкрДУЗТ, 24–26 листопада 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 81–83.
4. Panchenko S. V., Babaiev M. M., Nerubatskyi V. P. Analysis of the efficiency of operation of modern control systems for brushless traction motors. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2025. Вип. 214. С. 181–200. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.214.2025.352044>.
5. Нерубацький В. П. Огляд технологічних рішень підвищення енергоефективності роботи безколекторних тягових двигунів локомотивів. Збірник матеріалів XI міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'2025» (Київ, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 18–20 листопада 2025 р.). Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2025. С. 118–119.