

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Буряковського Сергія Геннадійовича
«Наукові основи вибору електроприводів стрілочних
переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

Актуальність теми. Українські залізниці здійснюють великі обсяги перевезень вантажів і пасажирів. Постійно зростає частка високошвидкісного і швидкісного залізничного транспорту, який являє нерозривну сукупність рухомого складу, колії, систем електропостачання, автоматики та керування. Стрілочні переводи являють собою складні та коштовні елементи залізничних колій. Від їх швидкодії, точності та надійної роботи залежить безпека руху потягів, безперервність процесу перевезень та економічні показники колійного господарства.

Зростання швидкостей перевезень і збільшення маси потягів, а отже і навантажень на осі вагонів, суттєво підвищують вимоги до сучасних пристроїв перевodu, замикання і контролю положення стрілок, одними із основних компонентів яких є електроприводи.

Саме тому дисертаційна робота С.Г.Буряковського, яка присвячена створенню наукових основ вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних і високошвидкісних залізниць є актуальною і своєчасною.

Дисертаційні дослідження виконані згідно з концептуальними положеннями підпрограми 02.5 «Залізничний транспорт», концепції розвитку транспортно-залізничного комплексу України на середньотерміновий період до 2020 року (наказ Державної адміністрації залізничного транспорту від 05.11.2001 р. № 764). Отримані в дисертації результати знайшли відображення у держбюджетних науково - дослідних роботах «Нестационарні режими роботи перспективних систем стрілочного електроприводу» (ДР № 0110U002484) та «Розробка і дослідження роботи електроприводу стрілочного перевodu моношпального типу» (ДР № 117U000643), в яких здобувач був науковим керівником.

Наукова новизна роботи полягає у

– розвитку теорії електромеханічного перетворення енергії в частині вибору типів електроприводів стрілочних переводів для швидкісних і високошвидкісних електрифікованих залізниць з шириною колії 1520 мм, що на відміну від відомих положень дозволило з єдиних позицій і загальних критеріїв враховувати особливості робочих характеристик різних типів двигунів і визначити тенденцію переходу від двигунів ротативного типу до лінійних з мікропроцесорними системами керування, як ефективний шлях зниження масогабаритних і поліпшення робочих показників пристроїв перевodu, замикання і контролю положення стрілок за рахунок спрощення механічних ланок приводів;

– створенні узагальненої математичної моделі робочих процесів переводу стрілок з урахуванням особливостей задіяних в них електродвигунів, які відрізняються принципом дії при спільності підходу до кінематичної лінії, а також дозволяють з єдиних позицій оцінити ефективність різних типів їх систем керування, що є подальшим розвитком теорії моделювання електромеханічних систем стрілочних переводів;

– вдосконаленні універсального підходу до складання математичної моделі робочих процесів шляхом врахування параметрів електромеханічної системи та особливостей фрикційного навантаження в зоні контакту гостряк-подушка, який на відміну від відомих дозволяє враховувати вплив нелінійностей на роботу пристрою в системах електротранспорту;

– розробці універсального підходу до визначення оптимальних параметрів системи керування стрілочним переводом, що дозволяє реалізувати вимоги до стрілочних електроприводів магістралей швидкісного, високошвидкісного транспорту та гіркової централізації;

– встановленні узагальненого векторного критерію ефективності роботи стрілочних переводів, модуль якого є остаточною оцінкою ефективності використання конкретного типу електроприводу;

– отриманні тривимірних закономірностей впливу сили тертя і швидкості ковзання гостряків на величину пружних сил у вигляді плоских поверхонь, які відбивають максимум пружних сил на тягах першого і другого гостряків у режимі фрикційних автоколивань під час переведення стрілки;

– отриманні закономірності впливу величини пружних сил першого і другого гостряків у режимі фрикційних автоколивань від коефіцієнта тертя і швидкості проковзування у вигляді поверхонь, що відображають їх максимум при переведенні стрілки

– визначенні за векторним критерієм ефективності раціональних областей використання різних типів електроприводів для модернізації стрілочних переводів.

Практична цінність і ефективність дисертаційної роботи для електричного транспорту полягає в:

– синтезі системи оптимального за векторним критерієм оцінки ефективності керування електроприводом стрілочного переводу на базі асинхронного двигуна і визначенні оптимальної траєкторії швидкості руху гостряків, що забезпечує безпеку руху електротранспорту при інтенсифікації його експлуатації;

– можливості використання наукових положень дисертації для вдосконалення конструкторських розробок і технологічних процесів зі створення перспективних стрілочних переводів швидкісного і високошвидкісного електричного транспорту;

– отриманні технологічного досвіду при створенні фізичних моделей електроприводу стрілочного переводу шпального типу з вентиляно-індукторним двигуном і мікропроцесорним керуванням на базі фазі-логіки;

– можливості ефективної модернізації електроприводів стрілочних переводів для забезпечення безпеки руху електротранспорту;

– універсальності отриманих наукових положень, які дозволяють здійснювати вибір та оцінку основних параметрів і робочих характеристик електроприводів пристроїв тяги і допоміжних потреб електрорухомого складу, а також для приводів загальнопромислового застосування.

Оригінальність технічних рішень конструкцій електроприводів стрілочних переводів захищена патентами України № 25058 «Електропривід стрілкового переводу», № 95497 «Електропривід стрілочного переводу» та № 109159 «Безредукторний електропривід стрілочного переводу шпального типу».

Практична цінність роботи підтверджена актами про впровадження результатів дисертаційної роботи в ДП «Проектно-вишукувальний інститут «Укрзалізничпроект» залізничного транспорту України» (м. Харків), ПрАТ ЕЛАКС (м. Харків), у навчальний процес Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків) та НТУ «ХПІ».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи обґрунтовані коректним використанням методів узагальненої теорії електромеханічних перетворювачів енергії, які базуються на розв'язанні рівняння Лагранжа для електромеханічних систем; методу кінцевих елементів та комбінований коло-польового методу для розрахунку магнітного поля електромеханічних перетворювачів енергії; методів теорії автоматичного керування для розробки математичних моделей керованих процесів в багатомасових електромеханічних системах; теорії оптимального керування і методу найменших квадратів для синтезу систем керування; методу Зіглера – Нікольса та методів нечіткої логіки для синтезу регулятора швидкості системи керування вентильно-індукторним двигуном; методів Вейля та циклічного покоординатного спуску для оптимізації геометричних розмірів лінійного двигуна; методів наближення функцій для апроксимації дискретних експериментальних даних цифрового моделювання; методів імітаційного моделювання для дослідження процесів роботи приводів; методу циклічного покоординатного спуску при розв'язанні задач оптимізації режимів роботи тягових приводів; методу Рунге – Кутта для отримання кривих швидкості та руху гостряків стрілочного переводу; методів математичного і фізичного моделювання для перевірки адекватності розроблених математичних моделей.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджена збігом результатів математичного і фізичного моделювання, актами впровадження та експлуатаційних випробувань результатів дисертаційної роботи, широким обсягом публікацій і апробацій матеріалів дисертації.

Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях. Результати досліджень за темою дисертації викладені у 47 наукових публікаціях, з них 28 – у фахових наукових виданнях України (в тому числі 19 у виданнях, що включені до наукометричних баз), 2 – у періодичних

іноземних виданнях, 3 у патентах України, 8 – у матеріалах наукових конференцій.

Наведений перелік публікацій, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації, у повному обсязі відображають отримані положення, наукові результати та висновки, свідчать про їх новизну.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертація акуратно оформлена згідно з вимогами до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОНУ від 12.01.2017 року №40, і складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 239 найменувань на 26 сторінках та 5 додатків на 10 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 380 сторінок, у тому числі 342 сторінки основного тексту, включаючи 176 рисунків за текстом, 67 рисунків на 58 окремих сторінках, 15 таблиць за текстом.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про публікації та апробацію матеріалів дисертації.

В першому розділі проаналізовано стан проблеми та здійснено постановку задач дослідження. Наведено аналіз тенденцій розвитку систем стрілочних переводів швидкісного та високошвидкісного електротранспорту і перспективних напрямів компоновки електроприводів та систем керування. Проаналізовано закони керування електроприводами стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації.

Проведено якісний аналіз типів електродвигунів, які використовуються, та показано їх низьку ефективність і складність в експлуатації. Зроблений висновок про необхідність переходу на нові високоєфективні електромеханічні перетворювачі енергії.

Оскільки всі електродвигуни ротаційного типу, які використовуються в приводах стрілочних переводів, вимагають перетворення обертального руху ротора в поступальний рух гостряків, розроблено електромеханічні пристрої безпосереднього перетворення електричної енергії в механічну з поступальним переміщенням – лінійні двигуни, які задовольняють вимогам стрілочних переводів за зусиллями, швидкостями та точністю переводу гостряків.

Запропоновано порівняльну оцінку електроприводів стрілочних переводів здійснювати за модулем узагальненого векторного критерію $|K| = \sqrt{ts^2 + M_i^2 + F_{12}^2 + \Sigma P^2}$.

Другий розділ присвячено дослідженню поведінки існуючих стрілочних переводів та розробці математичної моделі зі штатною кінематичною ланкою та з різними системами керування. Запропоновано універсальну математичну модель електромеханічної системи стрілочного переводу з будь-яким приводним двигуном, яка дозволяє враховувати вплив пружних сил, сил внутрішнього в'язкого тертя, зазорів та нелінійність характеристики тертя виконавчого механізму. Досліджені дво- і тримасові моделі електромеханічної системи. Для верифікації розроблених моделей проведено експеримент на електроприводі стрілочного переводу з двигуном постійного струму.

Враховано особливості експлуатації стрілочних переводів під впливом атмосферних опадів, а також можливість потрапляння різних вантажів і рідин безпосередньо на поверхні тертя гостряк-подушка.

В результаті експериментів на математичній моделі отримані графіки перехідних процесів, які показують, що коливання пружної сили можуть носити затухаючий характер в штатних ситуаціях, але існує ймовірність виникнення фрикційних автоколивань в кінематичній лінії стрілочного переводу.

Синтезована триконтурна система підпорядкованого керування положенням гостряків з двигуном постійного струму. На її основі розроблена імітаційна модель електроприводу, дослідження якої показали можливість регулювання швидкості переводу стрілки в широкому діапазоні з допустимими навантаженнями в колі струму якоря і досягнення режиму безударного переводу гостряків або з заданим значенням величини імпульсу удару гостряка об рамну рейку.

Запропоновано вдосконалену математичну модель електромеханічної системи стрілочного переводу з двигуном постійного струму, яка дозволяє враховувати вплив пружних сил, сил внутрішнього в'язкого тертя, зазорів та нелінійність характеристики тертя виконавчого механізму. Адекватність розробленої математичної моделі підтверджена фізичними експериментами з середньоквадратичним відхиленням 4,8 %.

Третій розділ присвячено дослідженню поведінки існуючого стрілочного переводу з асинхронним двигуном і розробці імітаційних моделей зі штатною кінематичною ланкою та існуючим способом керування, а також зі скалярною та векторною системами керування.

Проведені дослідження можливості виникнення фрикційних автоколивань в електроприводі стрілочного переводу з асинхронним двигуном, який експлуатується в даний час. Результати показали, що при певному поєднанні факторів в кінематичній лінії стрілочного переводу можуть протікати як затухаючі процеси, так і коливання пружної сили в робочій тязі зі сталою амплітудою.

За результатами регресійного аналізу отримані аналітичні вирази компонентів векторного критерію якості процесу переводу стрілки.

Розроблена математична модель процесу переводу гостряків стрілочним переводом з асинхронним двигуном, яка встановлює зв'язок електрофізичних показників електроприводу і механічних характеристик робочого органу. Адекватність моделі реальному об'єкту підтверджена експериментально з середньоквадратичним відхиленням 4,9 %.

Отримані аналітичні залежності обмежень у вигляді функцій від керуючих впливів перетворювача частоти, які дозволяють з максимальною точністю визначити оптимальні зони роботи по кожному з них. Методом суперпозиції виявлена область оптимальних рішень, яка задовольняє всім обмеженням одночасно.

У четвертому розділі проведена оцінка ефективності роботи електроприводу стрілочного переводу з вентиляно-індукторним двигуном.

Розроблена імітаційна модель та проведені дослідження ефективності роботи такого типу двигуна з існуючою кінематичною лінією.

Аналіз проведених досліджень показав доцільність створення нового типу електроприводу, що дозволяє зменшити число мас, зазорів і пружних зв'язків в кінематичній лінії. Найбільш доцільною визнана шпальна компоновка, яка дозволяє автоматизувати процеси обслуговування верхньої будови колії, зробити привод компактним і зручним для експлуатації. Це досягається використанням в якості передавального пристрою передачі пари «гвинт-гайка» з підшипниковим вузлом і кріпленням гайки до міжгострякової тяги в двох місцях шарнірами для розподілу навантажень і підвищення жорсткості з'єднання.

Фізичне моделювання на макеті електроприводу з вентиляно-індукторним двигуном стрілочного переводу з цифровими регуляторами підтвердили його працездатність і показали, що створення шпальних приводів з вентиляно-індукторними двигунами та мікропроцесорними системами керування і кінематичною схемою у вигляді передачі «гвинт-гайка» дозволяє не тільки спростити механічну частину приводу і систему контролю гостряків, а й підвищує його швидкодію та ККД.

П'ятий розділ присвячено розробці та дослідженню електроприводу стрілочного переводу шпального типу з лінійними двигунами.

Оскільки всі попередньо досліджені стрілочні переводи перетворювали обертальний рух в поступальний, поставлена задача безпосереднього перетворення електромагнітної енергії в механічну з поступальним рухом. Задовольнити цим вимогам можуть лише лінійні двигуни. За основу взято два типи лінійних двигунів – електромагнітного та індукторного. Для забезпечення працездатності таких електроприводів різними методами вирішувалося завдання оптимізації геометричних параметрів двигуна, виходячи з розмірів стандартної шпали. Оптимізація геометричних розмірів електродвигуна, яка виконана методами Вейля і циклічного покоординатного спуску, дозволила отримати його параметри, які забезпечують необхідний вид тягової характеристики, зменшення витрат на матеріали, що призводить до підвищення ККД приводу в цілому.

В процесі оптимізації геометричних розмірів лінійного двигуна встановлено залежність діаметра і довжини котушки, товщини спинки статора та коефіцієнта жорсткості пружини від параметрів гостряків, ваги і жорсткості характеристики навантаження.

Встановлено, що відмінною особливістю моделювання процесів, які відбуваються в електроприводі стрілочного переводу з лінійним двигуном, є врахування наявності пружинного акумулятора енергії, призначеного для підвищення початкової рушійної сили. Пружинний акумулятор енергії дозволяє значно підвищити початкове значення рушійної сили гостряків, особливо за умов погіршення стану переводних поверхонь: примерзання, зникнення змазки з подушок, тощо.

В процесі досліджень на імітаційній моделі встановлено, що за умовами швидкодії та відповідності необхідним навантажувальним характеристикам в

якості електромеханічного перетворювача енергії для стрілочного переводу доцільно використовувати лінійний двигун електромагнітного типу з пружинним акумулятором енергії та нейроконтрольною системою керування на базі тришарового персептрона виду 3-10-1. Така система керування дозволяє забезпечити високу швидкість переводу гостряків з безударним примиканням до рамної рейки.

Досліджено роботу електроприводу стрілочного переводу з двигуном індукторного типу.

Особливістю математичних моделей лінійних індукторних двигунів є те, що ідентифікація параметрів сил, потокозчеплення та їх похідних здійснена за результатами розрахунку магнітного поля методом кінцевих елементів з наступною апроксимацією результатів функціями на основі методу поліномів Чебишева на безлічі рівновіддалених точок. Для лінійних індукторних двигунів відмінністю є те, що обмотки різних фаз не зв'язані магнітним полем. Це забезпечує більшу керованість двигуна з точки зору точності позиціонування якоря, а також діапазону регулювання швидкості переміщення.

Проведені дослідження підтвердили можливість використання цього типу електроприводу як для швидкісного та високошвидкісного електротранспорту, так і для гіркової централізації. При цьому забезпечується безударний режим переведення гостряків з гальмуванням в кінці переводу.

В результаті проведених досліджень визначено, що середньоквадратичне відхилення сили тяги від необхідної траєкторії навантажувальної характеристики стрілочного переводу для лінійних індукторних двигунів значно нижче, ніж для лінійних двигунів електромагнітного типу. Тому систему керування лінійним індукторним двигуном раціонально синтезувати на основі цифрового ПД-регулятора швидкості, а для лінійного двигуна електромагнітного типу бажано застосовувати нейроконтролер.

За результатами проведених досліджень встановлено, що стрілочні переводи з обома типами лінійних двигунів можуть бути ефективно використані для верхньої будови колії швидкісного й високошвидкісного руху. При цьому лінійні індукційні двигуни, оскільки вони можуть забезпечити більший хід виконавчого механізму, доцільно використовувати для переводу гостряків. У той час як лінійні двигуни електромагнітного типу, які мають підвищену швидкодію й значне зусилля в кінці ходу, більше пристосовані для приводу рухомого осердя хрестовин.

Текст дисертації викладено грамотною технічною мовою логічно і послідовно. Стиль викладання доказовий. В цілому дисертація є закінченою науковою роботою, яка відповідає паспорту спеціальності 05.22.09 – електротранспорт.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

В дисертації на здобуття наукового ступеня доктора наук не виносяться на захист положення та наукові результати, які були захищені здобувачем у кандидатській дисертації.

Недоліки та зауваження по роботі.

1. Для повного аналізу стану питання в розділі 1 було б доречно навести функціональні схеми існуючих електроприводів стрілочних переводів і провести порівняння їх кінематичних схем.
2. В розділі 1 введено векторний критерій якості, а опис його компонентів наведено в розділі 2, що ускладнює сприйняття матеріалу дисертації.
3. Для перехідних процесів на рис. 2.17, 2.35, 2.40, 2.45 і 4.16 необхідно вказати частоту пружних коливань.
4. В роботі розглядаються дво- та тримасові механічні системи без чіткого обґрунтування доцільності їх використання в кожному конкретному випадку.
5. Не зрозуміло, чому у розділах 3 і 4 використовувалися різні методики завдання кута нахилу характеристики тертя.
6. Для системи керування електроприводом стрілочного переводу з модальним регулятором і асинхронним двигуном необхідно було провести дослідження можливості виникнення автоколивальних процесів.
7. У математичних моделях лінійного двигуна в якості координати переміщення використовується X , а на графіках і в описі – S .
8. Не зрозуміло, навіщо для дослідження індукторних машин ротаційного та лінійного типу використовувалися різні методи (Зіглера-Нікольса і Чину-Хронса-Ресвіка)?
9. У розділі 5 запропоновані електроприводи для стрілочних переводів швидкісного і високошвидкісного транспорту, але немає схемних рішень для багатодвигунових, про які йдеться в розділі 1.
10. Чому не досліджено режим фрикційних автоколивальних для лінійних двигунів?
11. Від надійної роботи стрілочних переводів залежить безпека руху потягів, безперебійність процесу перевезень та економічні показники колійного господарства. В дисертації чомусь їх надійність лише декларується, але нічим не підтверджується.
12. Неврахування інтенсивності відмов механічної частини та системи керування електроприводом в запропонованому узагальненому векторному критерії ефективності суттєво знижує об'єктивність порівняльної оцінки показників якості електроприводів стрілочних переводів.
13. Структурну схему тримасової моделі, наведену на рисунку 1 автореферату, не можна вважати універсальною моделлю електромеханічної системи стрілочного переводу, оскільки в залежності від складу кінематичної ланки електропривода вона може мати неоднозначну структуру.

14. В тексті дисертації після коефіцієнтів апроксимації (3.47) наведено посилання на вираз (4.26) для спрощення аналітичних виразів апроксимованих даних, який відсутній у тексті дисертації.
15. В тексті дисертації та автореферату зустрічаються орфографічні помилки.

Перелічені недоліки дещо погіршують загальне позитивне враження від дисертації, але не зачіпають суті виконаних досліджень.

Висновки. Дисертаційна робота Буряковського Сергія Геннадійовича «Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць» є самостійною завершеною науковою роботою, яка містить нове розв'язання науково-прикладної проблеми створення наукових основ вибору електроприводів стрілочних переводів на базі сучасних і перспективних електромеханічних систем для швидкісних і високошвидкісних залізничних електротранспортних систем.

Для вирішення вказаної проблеми в дисертації встановлені невідомі раніше закономірності впливу сили тертя і швидкості ковзання гостряків на величину пружних сил у вигляді плоских поверхонь, які відбивають максимум пружних сил на тягах першого і другого гостряків у режимі фрикційних автоколиваний під час переведення стрілки, тривимірних закономірностей впливу сили тертя і швидкості ковзання гостряків на величину пружних сил у вигляді плоских поверхонь, які відбивають максимум пружних сил на тягах першого і другого гостряків у режимі фрикційних автоколиваний під час переведення стрілки та закономірності впливу величини пружних сил першого і другого гостряків у режимі фрикційних автоколиваний від коефіцієнта тертя і швидкості проковзування у вигляді поверхонь, що відображають їх максимум при переведенні стрілки.

На підставі отриманих закономірностей теоретично обґрунтовано, розроблено та узагальнено положення теорії електромеханічного перетворення енергії в частині вибору типів електроприводів стрілочних переводів для швидкісних і високошвидкісних електрифікованих залізниць з шириною колії 1520 мм, що на відміну від відомих положень дозволило з єдиних позицій і загальних критеріїв враховувати особливості робочих характеристик різних типів двигунів і визначити тенденцію переходу від двигунів ротативного типу до лінійних з мікропроцесорними системами керування, як ефективний шлях зниження масогабаритних і поліпшення робочих показників пристроїв переводу, замикання і контролю положення стрілок за рахунок спрощення механічних ланок приводів

Матеріал дисертації викладено послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати наукових досліджень.

За темою і змістом дисертація відповідає спеціальності 05.22.09 - електротранспорт і оформлена згідно з вимогами до оформлення дисертації, затверджених наказом МОНУ від 12.01.2017 року №40. Текст автореферату відповідає змісту дисертації.

В дисертації на здобуття наукового ступеня доктора наук не виносяться на захист положення та наукові результати, які захищені здобувачем у кандидатській дисертації.

Таким чином дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9,10,12 “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор Буряковський Сергій Геннадійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

Офіційний опонент, доктор
технічних наук, професор
кафедри електротехніки та
електромеханіки Дніпровського
державного технічного
університету

О.В.Садовой

Підпис професора Садового
засвідчую,
перший проректор ДДТУ



В.М.Гуляев