

## **ВІДГУК**

офіційного опонента по дисертаційній роботі

Буряковського Сергія Геннадійовича

**«Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів**

**для швидкісних та високошвидкісних залізниць»,**

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.22.09 - електротранспорт

### **Актуальність теми.**

Розвиток швидкісного та високошвидкісного транспорту в Україні є провідною задачею залізничної галузі. Оскільки швидкісний та високошвидкісний залізничний транспорт являє нерозривну сукупність рухомого складу, колії, систем електропостачання та керування, то створення нових типів стрілочних переводів відповідає рішенню однієї з важливих складових цієї задачі.

В наслідок специфіки сучасного стану вітчизняної транспортної галузі, розробки зарубіжних дослідників в цій області не можуть бути безпосередньо перенесені на умови експлуатації в Україні, тому є необхідність в розробках мікропроцесорних систем керування для існуючих та створення нових електроприводів стрілочних переводів, які могли б співіснувати з існуючою залізничною інфраструктурою. При цьому необхідно впроваджувати високоефективні електромеханічні системи, які б дозволяли підвищити рівень автоматизації не тільки процесу переводу, а й обслуговування верхньої будови колії.

На жаль на даний час не існує наукових, або інженерних підходів до створення та експлуатації стрілочних переводів з точки зору керованості окремих координат електроприводу та обмежень значень основних фізичних координат його механічної частини.

Тому дисертаційна робота Буряковського Сергія Геннадійовича «Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць», яка присвячена створенню наукових основ вибору електроприводів стрілочних переводів представляється актуальною.

Актуальність теми роботи підтверджується зацікавленістю ДП «Проектно-

вишукувальний інститут «Укрзалізничпроект» залізничного транспорту України», а також тим, що вона виконувалась в рамках низки науково-дослідних тем МОН України «Нестационарні режими роботи перспективних систем стрілочного електроприводу» (ДР № 0110U002484) та «Розробка і дослідження роботи електроприводу стрілочного переводу моношпального типу» (ДР № 117U000643), де здобувач був науковим керівником.

Про відповідність дисертації сучасному рівню науки і техніки говорить той факт, що у переліку використаної автором джерел інформації більшість опубліковані після 2000 року.

### **Найбільш суттєві наукові результати.**

Найбільш суттєвим науковим результатом є вирішення автором науково-практичної проблеми створення наукових основ щодо оцінки та вибору електроприводів стрілочних переводів з різними компоновочними рішеннями, типами електромеханічних перетворювачів енергії та системами керування, які забезпечують можливість їх використання для швидкісного та високошвидкісного електротранспорту залізниць.

Це стало можливим завдяки удосконаленню універсального підходу до складання математичної моделі робочих процесів, що полягає у врахуванні параметрів електромеханічної системи та особливостей фрикційного навантаження в зоні контакту гостряк-подушка, який на відміну від існуючих дозволяє врахувати вплив нелінійностей на роботу пристрою в системах електротранспорту. Вперше автором розроблено універсальний підхід до визначення оптимальних параметрів системи керування стрілочним переводом, що дозволяє реалізувати вимоги як до стрілочних електроприводів магістралей швидкісного і високошвидкісного транспорту, так і до гіркової централізації. Ідентифікація параметрів математичної моделі для електромеханічних перетворювачів енергії різних типів забезпечується розрахунком магнітного поля сучасними методами такими як: кінцевих елементів, а також комбінованим коло-польовим методом на основі методу кінцевих елементів та методу магнітного кола.

Автором розроблені та вирішені методами багатокритеріальної оптимізації

задачі з визначення ефективності електроприводу стрілочного переводу на базі різних типів електричних машин. Особливістю цих задач є зв'язок аналітичних виразів для електромагнітних параметрів двигунів і напівпровідникових перетворювачів з результатами розрахунків режимів роботи приводу, що отримані імітаційним моделюванням в середовищі MATLAB.

Підґрунтям для найбільш суттєвого результату став введений автором узагальнений векторний критерій ефективності, складовими якого є значення часу переводу, пружної сили в робочій тязі, імпульсу удару гостряка, а також загальних втрат потужності системи. За модулем цього критерію виконується остаточна оцінка ефективності використання конкретного типу електроприводу стрілочного переводу. Вперше за векторним критерієм ефективності запропоновані раціональні області використання різних типів електроприводів: приводи на базі двигуна постійного струму і асинхронного двигуна – для модернізації стрілочних переводів магістрального транспорту, приводи шпального типу на базі вентильно-індукторного та лінійного двигунів – для гостряків стрілочного переводу швидкісного і високошвидкісного руху, приводи на базі лінійного двигуна електромагнітного типу – як для переміщення гостряків, так і рухомого осердя хрестовини стрілочного переводу.

Перелічені наукові результати у підсумку дали можливість визначити раціональні типи електромеханічних перетворювачів енергії, систем керування та їх компоновки для досягнення поставленої мети.

### **Ступінь обґрунтованості і достовірність отриманих результатів.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Буряковського С.Г., є високою, тому що усі вони базуються на результатах багатої кількості числових експериментів, що проведені за допомогою математичних моделей, які коректно описують електромеханічні явища, що мають місце в об'єктах дослідження, а також використанні при розрахунках сучасного математичного апарату та методів імітаційного моделювання. Логічний аналіз результатів числових експериментів, який зроблено автором, є запорукою обґрунтованих висновків.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечена:

– високим рівням збігу результатів отриманих за допомогою цифрового моделювання та фізичним експериментом;

– на протязі всієї роботи автором проводились порівняльні розрахунки за запропонованими моделями та результатами, що здобули інші автори, які підтверджували достовірність розроблених моделей;

– коректністю допущень при формуванні математичних моделей, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті процесів у системі електроприводу та застосуванням стандартних апробованих процедур обчислювальних методів і методів імітаційного моделювання.

Дисертаційна робота Буряковського С.Г. складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Результати наукових досліджень викладені у такій послідовності.

У вступі викладено актуальність теми, її зв'язок з державними науковими програмами і договірними темами, мета і задачі дисертаційної роботи, наукові результати та їх новизна у баченні здобувача, практичне значення результатів досліджень, публікації із зазначенням особистого внеску здобувача та апробації на конференціях.

Розділ 1 присвячений аналізу сучасного стану й актуальним питанням створення надійних та функціональних стрілочних переводів.

В розділі розглянуті всі основні типи стрілочних переводів – від ручних та гідро-пневматичних до сучасних електромеханічних. Також показані різні види компоновки устаткування від широко розповсюджених систем з тягами до найновітньої шпальної.

Наведені приклади сучасних закордонних стрілочних переводів різних фірм з різноманітними підходами до забезпечення високої надійності процесу переводу гостряків. Також показані кінематичні схеми сучасних стрілочних переводів різних типів з загальним описом їх особливостей.

Особливу увагу приділено стрілочним переводам швидкісних та високошвидкісних залізниць. Розглянуті компоненти верхньої будови колії, що забезпечують швидкісний рух та показаний їх вплив на безпеку, плавність та

швидкість ходу по головних магістралях.

В кінці розділу проведено порівняльний аналіз розглянутих систем, запропоновано узагальнений векторний критерій оцінки ефективності з відповідними компонентами та обрано шлях досліджень.

У розділі 2 представлені результати моделювання існуючого стрілочного переводу з найбільш поширеним електромеханічним перетворювачем – двигуном постійного струму. Розглянуті різні кінематичні схеми та обрано базову. За основу прийнята три масова кінематична схема з кружностями та зазорами. Наведені математичні та імітаційні моделі розглянутих кінематичних схем.

На імітаційній моделі проведені дослідження щодо можливості виникнення фрикційних автоколивань в кінематичних ланках існуючих стрілочних переводів. Показані умови виникнення коливань та можливі варіанти їх розвитку.

Для діючої системи стрілочного переводу запропоновані нові системи керування, що покращують динамічні властивості системи в цілому. Так запропонована система підпорядкованого керування, система з модальним керуванням та зі спостерігачем стану.

В кінці розділу проведено порівняння запропонованих заходів та дана оцінка їх ефективності.

У розділі 3 представлені результати моделювання існуючого стрілочного переводу з іншим електромеханічним перетворювачем, що знаходиться в експлуатації – асинхронним двигуном. Для нього також розглянуті різні кінематичні схеми та системи керування. Досліджено поведінку існуючого приводу як зі скалярною, так і з векторною системами керування. Додатково розроблено систему керування з модальним регулятором.

Отримані аналітичні залежності, що дозволяють забезпечити бажану якість перехідних процесів електромеханічної системи по обраним критеріям якості. Також досліджені умови виникнення фрикційних автоколивань в системах з асинхронними двигунами.

У розділі 4 представлені результати моделювання діючого стрілочного переводу з новим електромеханічним перетворювачем – вентильно-індукторним двигуном. За основу обраний існуючий зразок такого двигуна та розглянуто

поведінку такої системи в стаціонарних та нештатних умовах експлуатації. В тому числі й можливість виникнення фрикційних автоколивань. Для нього розроблено мікропроцесорну систему керування та досліджені динамічні властивості стрілочного переводу в цілому.

Надалі розроблено принципово новий тип стрілочного переводу шпальної компоновки з новим типом вентильно-індукторного двигуна та новою кінематичною ланкою. Для такого приводу розроблено систему керування на основі «фазі-логіки» та отримані значення коефіцієнтів ПД-регулятора. Проведені дослідження його працездатності та отримані данні, на основі яких було проведено порівняльний аналіз ефективності запропонованого рішення.

У розділі 5 представлені результати моделювання стрілочного переводу з принципово новим електромеханічним перетворювачем – лінійним двигуном. Розроблені два типи приводів на основі лінійного двигуна електромагнітного типу з пружинним акумулятором енергії та з лінійним індукторним двигуном.

Для обох типів двигунів проведений розрахунок тягових властивостей та розроблені сучасні системи керування. Також розроблені математичні й імітаційні моделі на яких проведено дослідження ефективності запропонованих рішень.

Наприкінці розділу наведено порівняльний аналіз ефективності запропонованих рішень для існуючих та перспективних систем стрілочних переводів та зроблено висновки про доцільність використання тих чи інших систем на залізничному транспорті згідно їх властивостей.

У висновках наведені результати досліджень, їх значимість для теорії та практики, дана якісна оцінка проведених досліджень.

У списку використаних джерел із 239 найменувань наведено, як відомості відносно результатів класичних у цьому напрямку досліджень, так і досліджень, проведених за останні роки.

Необхідно відмітити, що особливість роботи полягає в тому, що для всіх розглянутих типів електроприводів були проведені експериментальні дослідження на фізичних моделях. Так для стрілочного переводу з двигуном постійного струму в лабораторії УкрДУЗТ, для приводу з асинхронним двигуном як в лабораторії, так і на діючому обладнанні – на стрільці №530 ст. Основа, про що є відповідний

документ (Додаток Д), для дослідження вентильно-індукторного двигуна розроблений натурний макет в масштабі 1:2 та застосовано систему керування на основі «фазі-логіки», і на останок розраховано та виготовлено лінійний двигун електромагнітного типу з пружинним акумулятором енергії, проведено дослідження його тягових властивостей, а також розроблено та виготовлено систему керування на основі нейроконтролера, на якій проведено дослідження працездатності системи. Таким чином, отримано у виді осцилограм, фото- та відеоматеріалів достовірні докази адекватності розроблених моделей та працездатності й високої ефективності запропонованих рішень.

**Значимість отриманих результатів для практичного використання** в галузі електричного транспорту є у: можливості використання наукових положень для відпрацювання конструкторських розробок і технологічних процесів по створенню перспективних стрілочних переводів швидкісного і високошвидкісного електричного транспорту; придбанні технологічного досвіду при створенні фізичної моделі електроприводу стрілочного переводу шпального типу з вентильно-індукторним двигуном і мікропроцесорним керуванням на базі фазі-логіки, що повністю підтверджує працездатність конструкції; можливості ефективної модернізації електроприводів стрілочних переводів на базі ДПС і АД; універсальності отриманих наукових положень, які дозволяють здійснювати вибір та оцінку основних параметрів і робочих характеристик для електроприводів пристроїв тяги і допоміжних потреб електрорухомого складу, а також для приводів загальнопромислового застосування.

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

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основний зміст дисертації відображено повністю у 47 наукових публікаціях, з них 35 – у фахових наукових виданнях України (18 – у наукометричних базах), 5 – у періодичних фахових іноземних виданнях, 3 – патенти України, 16 – у матеріалах наукових конференцій.

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

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

### **Зауваження.**

1. У першому розділі дисертаційної роботи доцільно було навести приклади зазначених двох- і п'ятипровідних схем управління стрілочними переводами, а також описати переваги шпального компонування приводу.
2. Також у першому розділі слід було детальніше розглянути особливості роботи електроприводів високошвидкісного руху з багатою кількістю двигунів та рухомим осердям хрестовини.
3. У другому розділі доцільно було навести таблицю оцінки адекватності для осцилограм стор. 92-93. Аналогічно, слід було зробити для моделі асинхронного двигуна на рис. 3.7.
4. На рис. 2.29, 2.30, 2.32 оператор Лапласа означено  $p$ , а на рис. 2.36 –  $s$ .
5. У розділі 3 на рис. 3.3 наведені осцилограми координат першої і третьої маси, а для оцінки моделі слід було показати ще й аналогічні координати другої маси.
6. У п'ятому розділі на стор. 294 сказано що оптимізація здійснювалася для стрілочного переводу з рейкою типу Р65 марки 1/11, а на стор. 293 попередній розрахунок проводився для переводу марки 1/22.
7. В роботі зустрічаються не досить коректні оберти, пов'язані зі складнощами перекладу та деякі індекси російською мовою.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.



## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Буряковського Сергія Геннадійовича «Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць», за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.22.09 – електротранспорт. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій створено наукові основи щодо, оцінки та вибору електроприводів стрілочних переводів з різними компоновочними рішеннями, типами електромеханічних перетворювачів енергії та системами керування, які забезпечують можливість їх використання для швидкісного та високошвидкісного електротранспорту залізниць.

Дисертація повністю відповідає п.п. 9, 10 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567. Здобувач Буряковський Сергій Геннадійович безумовно заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент

завідувач кафедри охорони праці

та безпеки життєдіяльності

Харківського національного університету

міського господарства імені О.М. Бекетова

доктор технічних наук, професор



Хворост М.В.

Підпис <i>Хворост М.В.</i>	
Засвідчую: <i>кадр.</i> відд. кадрів	
" " 20	

*Григорук О.Б.*