

Відгук

Офіційного опонента професора кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння і військової техніки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба Заслуженого діяча науки і техніки України доктора технічних наук професора Кононова Бориса Тимофійовича на дисертацію Петренко Олександра Миколайовича на тему "Наукові основи вибору оптимальних параметрів та режимів роботи систем охолодження асинхронних тягових двигунів електротранспорту", подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

1. Ступінь актуальності обраної теми.

Асинхронні електричні двигуни є найбільш поширеним типом тягових двигунів, що використовуються у електротранспорті. Режими роботи тягових асинхронних електричних двигунів характеризуються суттєвою зміною навантаження, що супроводжується значною зміною теплових втрат й нагріванням елементів конструкцій, що може викликати руйнування ізоляції обмоток. Системи охолодження тягового електроприводу дозволяють підвищити інтенсивність теплообміну елементів конструкції двигуна й забезпечують продовження терміну роботи двигуна.

Для проектування систем охолодження тягових електричних двигунів необхідно мати можливість визначення теплового навантаження тягового приводу за весь час роботи, враховуючи при цьому всі можливі варіанти руху потягу на ділянці шляху з заданим профілем і управляємим графіком руху.

Дієвим засобом зниження втрат асинхронних тягових двигунів є створення їх систем охолодження, спроможних ефективно відводити тепло від конструктивних елементів двигуна, забезпечуючи при цьому допустимі з умов роботи ізоляції значення температур провідників обмоток.

В зв'язку з викладеним, удосконалення існуючих основ вибору оптимальних параметрів та режимів роботи систем охолодження асинхронних тягових двигунів електротранспорту представляється актуальною науковою задачею, розв'язання якої дозволить підвищити ефективність використання тягового електроприводу.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Для визначення ступеня обґрунтованості результатів дисертації проведемо аналіз її змісту.

У вступі викладені питання, що розкривають актуальність теми, зв'язку роботи з науковими програмами, планами, темами, відомості щодо мети, об'єкту, предмета та задач дослідження, наукових результатів і їх новизни та практичної значимості, особистого внеску здобувача, дані щодо апробації результатів дисертації та публікацій по темі досліджень.

На жаль, у вступі не наведено формулювання проблеми, що розглядається, не з'ясовано, в чому полягає основне протиріччя й не наведені шляхи його розв'язання, які розглядалися попередниками здобувача.

Не досить вдалим є формулювання мети дослідження, на мій погляд, сформульований засіб досягнення бажаного результату – зниження витрат й підтримання вимагаемого теплового режиму. Не зрозуміло, який зміст вкладає здобувач в поняття "створення наукових основ... на базі сучасних і перспективних інформаційних технологій", оскільки в подальшому мова про інформаційні технології не ведеться.

В вступі не описуються методи дослідження. Аналіз формулювань наукових результатів буде здійснений у подальшому, що стосується і їх практичної значущості, то слід вказати про те, що автором дана їх якісна оцінка і, на жаль, не наведені кількісні показники.

В першому розділі здобувач здійснює не досить вдалу спробу обґрунтувати методику дослідження. Виходячи з необхідності врахування кількості тепла, що віддається тяговим асинхронним електричним двигуном на дистанції руху, автор, цілком слушно, вважає, що, преш за все, потрібно знайти необхідну форму тягової характеристики, яка забезпечить заданий час руху, а потім проводити оптимізацію власне тягового приводу.

При викладанні матеріалу першого розділу здобувач з'ясовує, що було зроблено попередниками та які питання лишилися не розглянутими й те, що треба зробити для досягнення мети дослідження. Запропонований спосіб висвітлення методики дослідження представляється не досить вдалим тому, що не дозволяє при завершенні певних етапів дослідження, розглядаємих як задачі дослідження, з'ясувати загальний зв'язок між ними і стверджувати, що результатом дослідження є сукупність наукових положень, об'єднаних певними явищами. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що в дисертації, яка присвячена удосконаленню наукових основ вибору оптимальних параметрів та режимів роботи систем охолодження асинхронних тягових двигунів, в першому розділі не розглядаються відомі конструкції систем охолодження й існуючі методи розрахунку параметрів цих систем.

При викладенні матеріалу першого розділу автор, іноді, плутає поняття показника та критерію ефективності. Не зрозуміло, також, чому відсутні висновки в цьому розділі.

В другому розділі викладені питання, що висвітлюють другий та четвертий наукові результати в редакції, яка запропонована автором. Слід зазначити, що в анотації, авторефераті, вступі та в висновках автор дає різні формулювання отриманих результатів.

На мій погляд, що стосується другого розділу, автор може претендувати на подальший розвиток математичної та програмно-орієнтованої моделі руху електрорухомого складу, які засновані на використанні диференціальних рівнянь руху, в яких враховані основні складові опору руху, та в яких, на відміну від відомих залежностей, тягові зусилля і витрати енергії визначаються з наперед заданих залежностей коефіцієнта корисної дії для того чи іншого режиму роботи.

Автор також може претендувати на подальший розвиток методу розв'язання задачі руху електрорухомого складу на ділянці шляху із заданим профілем і графіком руху, заснованого на використанні рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана, рішення якого здійснюється методом нелінійного програмування з врахуванням того, що кінцева координата переміщення і заданий час руху відомі, а кінцева швидкість руху дорівнює нулю.

Автор, крім того, може претендувати на удосконалення автоматизованої системи управління рухом електрорухомого складу, що представляється у вигляді бази даних, які складаються з масивів оптимальних швидкостей руху, при яких мають місце мінімальні витрати енергії в необхідних режимах роботи тягового приводу, а саме в режимах руху потягу з максимальною силою тяги, режимі вибігу, режимах механічного та рекуперативного гальмування та в режимах підтримки заданої швидкості з використанням сили тяги й сили рекуперативного гальмування з підтриманням максимального значення коефіцієнта корисної дії.

Задачі, що розглянуті й вирішені в другому розділі відносяться до класичних задач теорії оптимального управління, в зв'язку з чим не зовсім зрозуміло, чому автор називає класичну систему автоматизованого управління рухом експертною системою управління рухом.

В третьому розділі розглядаються питання, пов'язані з оптимізацією роботи тягового приводу, описується математична модель, за допомогою якої можливо визначати ефективність тягового приводу в різних режимах його роботи. В якості критерію ефективності роботи приводу обраний максимум досягаемого значення коефіцієнта корисної дії за умови дотримання вимог, що обумовлені режимами роботи приводу. Для тягового приводу на базі асинхронного тягового електричного двигуна з автономним інвертором напруги задача визначення оптимальних режимів роботи зведена до визначення оптимальних режимів ланки асинхронний двигун - автономний інвертор напруги в випадках необхідності під-

тримання максимального моменту для отримання максимальної тяги або гальмування, отримання максимального коефіцієнта корисної дії для підтримки заданої швидкості руху, забезпечення підтримки режиму неробочого ходу під час вибігу або механічного гальмування. Втрати в тяговому асинхронному двигуні визначаються шляхом розрахунку параметрів схеми зміщення. При живленні асинхронного двигуна від автономного інвертора напруги в режимі просторово-векторного керування двигуном амплітуда та кут вектора напруги змінюється завдяки застосуванню широтно-імпульсної модуляції. Форма кривої напруги має імпульсний характер, а форма кривої струму містить гармоніки з номерами більше 13-го, що дає підстави нехтувати втратами від цих гармонік.

При використанні однократної широтно-імпульсної модуляції ступінчаста форма отриманої напруги створює спектр вищих гармонік, таких як 5-та, 7-ма, 11-та й 13-та, які викликають додаткові втрати в міді і які враховані шляхом розрахунку параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна для вищих гармонійних струмів.

В розділі дане розв'язання задачі оптимізації режимів роботи тягового приводу, у якого сумарні втрати визначаються втратами у двигуні і втратами у мостовому інверторі напруги в випадках роботи двигуна в режимах розгону, рекуперативного гальмування та підтримання заданої швидкості руху при малих (просторово-векторна широтно-імпульсна модуляція) та великих (однократно широтно-імпульсна модуляція) швидкостях руху. Виходячи з результатів оптимізації режимів роботи тягового приводу, отримані залежності коефіцієнта корисної дії електромагнітного моменту від частоти обертання і знайдені можливі зони отримання максимальних значень цих параметрів.

В розділі викладені результати змістовного аналізу експериментально визначених і обчислювально отриманих тягових характеристик та значень коефіцієнта корисної дії, що свідчить на користь достовірності запропонованих математичних моделей.

В четвертому розділі розглянуті питання, які стосуються моделювання теплового стану асинхронних тягових двигунів.

В основу математичної моделі нагрівання двигуна покладено рівняння теплового балансу, що показує, яка частина тепла іде в довкілля і яка частина тепла іде на нагрівання елементів тягового двигуна. При цьому в рівнянні теплового балансу автор правильно використовує коефіцієнт тепловіддачі, хоча перед цим помилково стверджує, що процес передачі тепла базується на явищі теплопровідності і враховує лише закон Фур'є, нехтуючи при цьому явищем конвекції.

В розділі описуються відомі технічні рішення систем охолодження асинхронних тягових двигунів і пропонується при виконанні теплових розрахунків використовувати

універсальну еквівалентну теплову схему заміщення, яку можливо спростити для випадків закритого (1P44, 1P54) та захищеного (1P22, 1P23) виконань. При виконанні власне розрахунків пропонується використовувати метод вузлових потенціалів. В розділі, крім того, розглядаються еквівалентні гідравлічні схеми зовнішніх і внутрішніх контурів охолодження й пропонується в якості параметрів систем охолодження розглядати гідравлічні опори, які залежать від щільності холодагенту та площі поперечного перетину прохідного каналу. При виконанні розрахунків теплових опорів і провідностей використані відомі і апробовані методики, що дозволило створити узагальнену математичну модель теплових процесів в асинхронному тяговому двигуні і здійснити моделювання цих процесів для різних режимів роботи приводу. В розділі наведені також результати експериментальних досліджень асинхронного двигуна потужністю 2,5 кВт, виконаних на випробувальному стенді.

Порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами моделювання свідчить на користь достовірності розробленої моделі теплових процесів в асинхронному тяговому приводі. Результати моделювання теплових процесів дозволяють запропонувати конкретні рекомендації стосовно використання внутрішньої та зовнішньої систем вентиляції двигуна в залежності від частоти обертання та режиму роботи тягового приводу.

У п'ятому розділі розглянуті питання, пов'язані з вирішенням завдань удосконалення систем охолодження асинхронних тягових двигунів. Можливість розв'язання завдань удосконалення систем охолодження обумовлена результатами вирішення тягової задачі руху на ділянці колії з відомим графіком руху та профілем колії й вирішення задачі визначення оптимального режиму тягового приводу, що дозволяє знайти закономірність зміни температури елементів асинхронного тягового двигуна у часі. Завдання удосконалення систем охолодження розглядалися для систем самовентиляції та систем примусової вентиляції. Можна погодитися з вибраним показником для оцінювання ефективності роботи систем охолодження, в якості якого використовується коефіцієнт економічної ефективності, який характеризує втрати потужності на охолодження. Незрозуміло лише, чому цей показник автор називає критерієм. Виходячи з обмежень, за якими компоновка асинхронного двигуна, а тим самим і геометричні параметри його активних частин не повинні змінюватися, удосконалення системи самовентиляції може здійснюватися лише шляхом зміни зовнішнього діаметра та ширини колеса вентилятора.

В системах примусової вентиляції з використанням мотор-вентилятора пропонується змінювати його частоту обертання шляхом зміни кількості пар полюсів й змінювати

режим його роботи, шляхом зміни моменту часу його вмикання, який визначається температурою.

У висновках наводяться відомості щодо вирішеної науково-практичної проблеми, наукових результатів дослідження й результатів впровадження у виробництво та у навчальному процесі. Не зрозуміло, чому автор не дає оцінку вкладу в теорію, не пояснює практичну значущість результатів дослідження й не вказує, яким чином підтверджується достовірність наукових результатів.

У списку джерел інформації з 314 найменувань викладені роботи автора та його співвиконавців та основні публікації з розглядаємої тематики, починаючи з 1937 року і завершуючи 2017 роком. Більшість посилань дається на публікації останніх двох десятиріч. Номер посилань обраний, виходячи з порядку посилань.

У додатках наведені складові витрат тягових приводів та акти впровадженнь результатів дисертації.

3. Достовірність і новизна наукових результатів. Погоджуючись зі змістом наукових результатів, пропоную викласти їх в наступній редакції:

- дістала подальшого розвитку математична та програмно-орієнтована модель руху електрорухомого складу, яка заснована на використанні диференціальних рівнянь руху, в яких враховані основні складові опору руху та в яких, на відміну від відомих залежностей, тягові зусилля і витрати енергії визначаються з наперед заданих залежностей для коефіцієнта корисної дії в тому чи іншому режимі роботи, що дозволяє обґрунтувати вимоги до автоматизованої системи управління рухом;

- дістав подальшого розвитку метод розв'язання задачі руху електрорухомого складу на ділянці шляху із заданим профілем і графіком руху, заснований на використанні рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана, в якому на відміну від існуючого метода нелінійного програмування, рішення здійснюється з врахуванням того, що кінцева координата переміщення і заданий час руху відомі, а кінцева швидкість руху дорівнює нулю, що дозволяє зменшити об'єм обчислень;

- удосконалена автоматизована система управління рухом електрорухомого складу, що на відміну від відомої системи, представляється у вигляді бази даних, які складаються з масивів оптимальних швидкостей руху, при яких мають місце мінімальні витрати енергії в необхідних режимах роботи тягового приводу, а саме в режимах руху потягу з максимальною силою тяги, режимі вибігу, режимах механічного, рекуперативного гальмування та в режимах підтримки заданої швидкості з використанням сили тяги й сили рекуперативного гальмування з підтриманням максимального значення коефіцієнта корисної дії тягового

двигуна, що дозволяє визначити оптимальні режими руху електрорухомого складу при заданих значеннях середньої швидкості руху на перегоні, та відомих обмеженнях швидкостей руху на ділянках та профілю колії;

- вперше запропонована методика визначення ефективності роботи тягового приводу, яка забезпечує отримання максимального коефіцієнта корисної дії асинхронного двигуна в різних режимах роботи за умов обмежень по зчепленню та швидкості руху, що дозволяє зменшити теплові втрати двигуна й забезпечити підтримання оптимальних режимів роботи асинхронного двигуна;

- вперше запропонована методика вибору оптимальних параметрів та режимів роботи систем охолодження асинхронних тягових двигунів електротранспорту заснована на використанні розробленої моделі теплових процесів в тяговому приводі й враховуюча можливість визначити за допомогою удосконаленої автоматизованої системи управління рухом електрорухомого складу втрати в елементах двигуна.

4. Повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях. Основні результати досліджень викладені у 33 наукових публікаціях. Як недолік, слід вказати, що лише 4 роботи опубліковані без співавторів. Автореферат дисертації повністю висвітлює її зміст.

5. Недоліки і зауваження. Крім зауважень, зроблених при з'ясуванні ступеня обгрунтованості матеріалів, викладених у розділах дисертації, слід вказати на те, що автор погано ознайомлений з рекомендаціями, які дані МОН України з порядку оформлення дисертаційних робіт. В зв'язку з цим, у вступі відсутні відомості щодо методів дослідження, у висновках відсутні відомості щодо теоретичної та практичної значущості результатів і їх достовірності.

При формулюванні наукових результатів автор не завжди вказує на їх відмінність й не наголошує їх корисність.

При поясненні практичного значення отриманих результатів автор робить наголос на отриманні методик, розробці алгоритмів та різноманітних теоретичних залежностей й не вказує на отримані кількісні показники.

У тексті дисертації та автореферату є граматичні та орфографічні помилки, багато невиправданих скорочень.

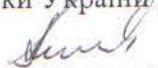
6. Висновок. Дисертаційна робота Петренко Олександра Миколайовича на тему "Наукові основи вибору оптимальних параметрів та режимів роботи систем охолодження асинхронних тягових двигунів електротранспорту" є кваліфікаційною науковою працею, виконаною особисто здобувачем у вигляді спеціально підготовленого рукопису і містить науково-обгрунтовані теоретичні і експериментальні результати й наукові положення, ха-

рактизується єдністю змісту й свідчить про особистий внесок здобувача в науку. Науково-прикладні результати дисертації впроваджені в виробництво й навчальний процес у фахових вищих навчальних закладах України.

Дисертаційна робота Петренка О.М. розв'язує актуальну науково-прикладну проблему, відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567. Автор дисертації Петренко Олександр Миколайович гідний присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент професор кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння і військової техніки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба Заслужений діяч науки і техніки України доктор технічних наук

професор


10.07.18

Кононов Борис Тимофійович.

Підпис Кононова Бориса Тимофійовича засвідчую.

Начальник штабу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба доктор технічних наук доцент





Котов Олексій Борисович

Відзнав надійшов « 12 » 04 18 р.
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради А 64.010.15



