

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Демченко Федір Олегович

УДК 681.32

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ  
ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ ОБ'ЄКТІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ТРАНСПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Спеціалізовані комп'ютерні системи» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України

**Науковий керівник** - доктор технічних наук, професор

**Загарій Геннадій Іванович**, Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, кафедра «Спеціалізовані комп'ютерні системи», завідувач кафедри

**Офіційні опоненти:** - доктор технічних наук, професор

**Бойнік Анатолій Борисович**, Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», завідувач кафедри

- кандидат технічних наук, доцент

**Калмиков Віктор Ілліч**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри «Автомобільна електроніка».

Захист відбудеться "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2008 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2008 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої Ради Д64.820.04

Д.В. Ломотько

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Функціонування залізниць України потребує ефективної роботи великої кількості об'єктів забезпечення транспортної діяльності (ОЗТД) (рухомих одиниць, компресорних станцій, навантажувально-розвантажувального обладнання, приводів стрілок та ін.).

Одним з основних напрямків удосконалення ОЗТД на залізничному транспорті є оптимізація технологічних процесів керування виконавчими пристроями. Для цього необхідно будувати ефективні контури керування такими пристроями. Тенденції розвитку контурів керування виконавчими пристроями спрямовані на підвищення коефіцієнта їх корисної дії при зниженні собівартості. Перспективним напрямком є створення інтелектуальних контурів керування, які забезпечують економію енергоресурсів. Для України це має істотне значення, тому що питома витрата енергоносіїв вища, ніж у більшості розвинених промислових країн.

Синтез контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД на залізничному та інших видах транспорту традиційно здійснюється на основі лінійних законів керування. Для оптимізації контурів керування виконавчих пристроїв дотепер застосовувалися інтегральні критерії, модульний критерій і критерій симетричного оптимуму. У реальних умовах функціонування різні випадкові фактори можуть привести до втрати стійкості контурів, синтезованих за цими критеріями. Оптимізація контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД за критерієм максимального ступеня стійкості дозволяє одержати порівняно прості інженерні співвідношення для вибору параметрів настроювання регуляторів і забезпечити високу якість процесів. Цей критерій дозволяє уникнути недоліків вищевказаних критеріїв за рахунок забезпечення найбільшої стійкості.

У теперішній час удосконалення процесів керування виконавчими пристроями вимагає використання нових перспективних інформаційних технологій. Одним з таких напрямків є використання нейронних мереж (НМ).

**Актуальність теми.** У зв'язку з широкою номенклатурою виконавчих пристроїв ОЗТД та їх масовим розповсюдженням актуальною є задача удосконалення технологічних процесів керування та експлуатації таких пристроїв. При цьому необхідна уніфікація контурів керування виконавчими пристроями з використанням методів оптимізації, що забезпечить енергозбереження при високій якості процесів керування. Однак керування виконавчими пристроями ускладнюється через наявність ряду невизначеностей у їхньому описі. Невизначеності обумовлені розкидом параметрів виконавчих пристроїв, неточністю знань про механізми, що приводяться в дію, відсутністю повної й достовірної інформації про навантаження й зовнішні впливи, наявністю паразитної динаміки у вигляді пружності виконавчих пристроїв та ін.

Таким чином уніфікація контурів керування на основі методів оптимізації повинна враховувати вказані невизначеності, що дозволить удосконалити технологічні процеси функціонування та обслуговування виконавчих пристроїв.

Значний внесок у розвиток методів керування виконавчими пристроями, методів оптимізації контурів, методів еволюційного підходу до керування внесли вітчизняні та закордонні вчені. Серед них Бабаєв М.М., Бесекерский В.А., Вальмарк О. (Oskar Wallmark), Вінер Н., Вороновський Г.К., Герман-Галкін С.Г., Голуб А.П., Гусевський Ю.І., Дука А.К., Емельянов С.В., Загарій Г.І., Ключев В.І., Колоколов Ю.В., Костюк В.І., Красовський А.А.,

Кунцевич В.М., МакКоллок В.С. (McCulloch W.C.), Махотіло К.В., Мінський М., Міхайлович З. (Zoran Mihailovic), Небилов О.В., Осмоловський П.Ф., Перельмутер В.М., Петров Б.Н., Піттс В.Х. (Pitts W.H.), Решмін Б.И., Соколовський Г.Г., Сандлеров А.С., Сергіїв С. А., Тунік А.А., Фельбаум А.А., Хайкін С. (Haykin S.), Ципкін Я.З., Чілікін М.Г., Шубладзе О.М., Ямпольський Д.С. та ін. Роботи цих вчених створили теоретичні та методичні основи для побудови ефективних контурів керування об'єктами у різних галузях промисловості та транспорту.

Рішення науково-прикладної задачі, направленої на удосконалення технології функціонування та обслуговування виконавчих пристроїв ОЗТД залізниць на основі уніфікованих контурів керування, дозволяє стверджувати, що сформульована тема дисертації є актуальною.

Поставлені завдання вимагають використання методів аналізу та синтезу оптимальних контурів керування, створення їхніх математичних моделей і впровадження перспективних технологій побудови контурів керування на базі нейронних мереж і генетичних алгоритмів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Спеціалізовані комп'ютерні системи» Української державної академії залізничного транспорту відповідно до заходів щодо реструктуризації залізничного комплексу України, Закону України «Про ресурсозбереження» (74/ 94-ВР), а також в рамках бюджетних науково-дослідних робіт «Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотивів» (ДРН№0100U000821, № інв. 0205U000881) та «Дослідження перспективного гібридного тягового приводу на базі синхронних машин з постійними магнітами» (ДРН№0107U000343), у яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є удосконалення технологічних процесів керування виконавчими пристроями ОЗТД залізниць для підвищення якості керування в різних режимах роботи при забезпеченні ресурсозбереження.

Відповідно до мети роботи були поставлені наступні задачі:

1. Виконати аналіз технології керування виконавчими пристроями ОЗТД залізниць для створення оптимальних уніфікованих контурів керування, що забезпечить економію енергоресурсів та спростить їх експлуатацію.

2. Розробити методи керування виконавчими пристроями з метою оптимізації їх швидкісних та механічних характеристик у широкому діапазоні зміни навантажень.

3. Удосконалити математичні моделі контурів керування, які враховують динаміку роботи виконавчих пристроїв різної потужності ОЗТД залізниць.

4. Реалізувати варіанти заміни ПІ-регуляторів нейромережевими структурами та обґрунтувати метод навчання нейронних мереж, що підвищить динамічні властивості контурів керування.

5. Сформулювати рекомендації щодо створення уніфікованих контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД різної потужності на основі класичних та нейрорегуляторів

*Об'єкт дослідження* - технологічні процеси керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності залізниць.

*Предмет дослідження* - уніфіковані оптимальні контури керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності.

*Методи дослідження.* При рішенні поставлених у роботі завдань використовувався метод перетворення Лапласа - при розробці моделей двигунів виконавчих пристроїв і контурів

керування ними; методи теорії автоматичного керування (критерії максимального ступеня стійкості, симетричного оптимуму, модульного оптимуму) при синтезі контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД; методи нейрокібернетики й еволюційного підходу - при синтезі й дослідженні нейронного керування; методи комп'ютерного моделювання - для дослідження окремих частин і всієї системи регулювання.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, дозволили одержати такі наукові результати:

1. Вперше:

– запропоновано новий ефективний метод керування виконавчими пристроями рухомих та стаціонарних об'єктів забезпечення транспортної діяльності на залізничному транспорті, який дозволяє удосконалити технологію функціонування виконавчих пристроїв за рахунок розширення області стійкої роботи у широкому діапазоні змін динамічних навантажень і швидкостей і створити контури керування з уніфікованою структурою для агрегатів різної потужності;

– використано критерій максимального ступеня стійкості для оптимізації параметрів настроювання регуляторів контурів підлеглого керування об'єктами забезпечення транспортної діяльності, що спрощує процедуру вибору параметрів настроювання регуляторів і забезпечує спрощення їх експлуатації;

– розроблено структуру сполученого регулятора виконавчих пристроїв на основі нейронних мереж, що забезпечує скорочення тривалості перехідних процесів при їхньому аперіодичному характері і зменшує витрати енергії.

2. Удосконалені:

– моделі контурів керування виконавчих пристроїв рухомих та стаціонарних агрегатів ОЗТД залізниць шляхом доповнення їх ланками, що враховують динаміку та фізику роботи компонентів виконавчих пристроїв, що дозволяє одержати більш достовірну інформацію про характеристики контурів у статичних і динамічних режимах і реалізувати універсальну модель;

– метод синтезу контурів керування за допомогою комбінації генетичного алгоритму й штучних нейронних мереж, що дозволило скоротити час перехідних процесів за рахунок чого зменшено енерговитрати.

**Практичне значення отриманих результатів.** У результаті проведених досліджень можна виділити наступні практичні рекомендації:

– розроблено та реалізовано на ПЕОМ математичні моделі оптимальних контурів керування виконавчих пристроїв ОЗТД залізничного транспорту, до складу яких входять: модель автономного інвертора та синхронного двигуна (СД), які дозволили на етапі розробки замінити натурні дослідження моделюванням (підтверджено актом впровадження ВАТ «Електромашина»);

– отримані процедури визначення моменту початку виконання режимів керування, що дозволило реалізувати більш ефективно керування виконавчими пристроями у всьому діапазоні частот обертання, у тому числі вище номінальної: забезпечується підвищення механічної потужності та скорочення процесів керування (підтверджено актом впровадження ВАТ «Ізюмський тепловозремонтний завод»);

– на основі запропонованих методів керування виконавчими пристроями ОЗТД сформульовані рекомендації щодо створення уніфікованих контурів керування на основі класичних та нейрорегуляторів, що спрощує процедури настроювання регуляторів та підвищує якість процесів керування, при цьому забезпечується зменшення енерговитрат на виконання різних режимів роботи та більш ефективно використовується потужність.

Результати дослідження використовуються в навчальному процесі, курсовому й дипломному проектуванні (підтверджено актом впровадження УкрДАЗТ).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати та положення роботи отримані автором самостійно.

Статі [1-3, 7] написані автором самостійно. У працях, що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належить: у [4] - розробка нового методу регулювання для контурів керування виконавчими пристроями в режимі швидкостей вище номінальної, який використовує обчислення базової швидкості та реалізує необхідні характеристики; у [5] - розробка математичних моделей компонентів контурів керування виконавчими пристроями як частини об'єкта керування; у [6] - розробка моделей для одержання оптимальних параметрів настроювання регуляторів з використанням різних критеріїв.

**Апробація результатів наукового дослідження.** Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на: 16 - 20-й міжнародних конференціях «Перспективні системи керування на залізничному, промисловому й міському транспорті» (м. Алушта, 2003 - 2007 рр.); 63 - 69-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту й фахівців залізничного транспорту (м. Харків, 2001- 2007 рр.); 12- й міжнародної конференції по автоматичному керуванню «Автоматика-2005»( м. Харків, 2005 р.); наукових семінарах і розширених засіданнях кафедр «Автоматика і комп'ютерні системи керування» і «Спеціалізовані комп'ютерні системи» Української державної академії залізничного транспорту. (м. Харків, 2004- 2007 рр.)

Повністю результати дисертаційної роботи були обговорені та схвалені на розширеному засіданні кафедри «СКС», УкрДАЗТ, 2007р. за участю членів спеціалізованої ради.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 7 основних наукових робіт у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові, та 1 додаткова.

**Обсяг і структура дисертаційної роботи.** Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновок, додатки. Повний обсяг дисертації складає 120 сторінок, у тому числі 76 рисунків (з них 10 на окремих сторінках), 11 таблиць (з них 4 на окремих сторінках), а також список використаних джерел (97 найменувань) на 9 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи та показано зв'язок роботи з науковими програмами.

У **першому розділі** проведений аналіз виконавчих пристроїв об'єктів забезпечення транспортної діяльності. Відзначається, що для забезпечення транспортної діяльності на залізницях широко використовуються різні стаціонарні та рухомі агрегати. Невід'ємною частиною таких агрегатів є електромеханічні перетворювачі й виконавчі пристрої різної

потужності. У більшості об'єктів забезпечення транспортної діяльності як виконавчі пристрої використовуються електричні машини постійного та змінного струму.

Перераховані об'єкти вимагають для свого функціонування реалізації різних контурів керування, у тому числі підсистем залізничної автоматики.

Розглянуто принципи побудови контурів керування виконавчими пристроями.

Розмаїтість виконавчих пристроїв ОЗТД на залізничному транспорті вимагає удосконалення та уніфікації контурів керування ними. Контури керування виконавчим органом об'єктів забезпечення транспортної діяльності є автоматизованими системами, які забезпечують перетворення електричної енергії в механічну.

Аналіз досліджень, проведених в Україні й у ряді інших країн, показує, що вимоги до об'єктів забезпечення транспортної діяльності нового покоління (перспективний тяговий рухомий склад, електромобілі, компресори, електроприводи стрілок і т.д.) ставлять задачу створення уніфікованих контурів керування виконавчими пристроями з високими техніко-економічними показниками.

В розділі наведено аналіз методів та алгоритмів керування виконавчими пристроями ОЗТД. Багато з цих методів реалізують режими роботи, які не є оптимальними з погляду втрат у міді двигунів, тому що момент, який розвиває виконавчий пристрій, можна досягти з меншими реальними струмами. Для реалізації оптимального керування виконавчими пристроями на основі СД з постійними магнітами потрібно впливати на «ослаблення поля». Задача виявлення моментів часу, коли потрібне «ослаблення поля», особливо важлива у діапазоні частот обертання ротора СД, які перевищують номінальну швидкість.

Одним з напрямків розвитку перспективних алгоритмів керування виконавчими пристроями є - апарат нейронних мереж. Нейронні мережі можуть бути використані для побудови алгоритмів і пристроїв управління. Цей апарат має великі можливості із створення контурів керування, що самонавчаються, для виконавчих пристроїв ОЗТД.

**Другий розділ** присвячений питанням розробки математичних моделей компонентів контурів керування виконавчих пристроїв об'єктів забезпечення транспортної діяльності. Серед розглянутих моделей компонентів наведені результати розробки моделей виконавчих пристроїв на основі СД з урахуванням їх використання для рішення завдань синтезу регуляторів і контурів керування виконавчими пристроями. Розглянуто методи векторної модуляції та прямого управління струмом, які дозволяють за рахунок впливу на автономний інвертор виконувати керування виконавчими пристроями. Для цих методів розроблені моделі, які дозволяють досліджувати функціонування контурів керування у різних режимах (пуску, холостого ходу, під навантаженням і т.д.). Блок-схема однієї з моделей наведена на рис. 1.

У **третьому розділі** обґрунтовується вибір методів для настроювання параметрів регуляторів для контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД. В цих контурах використовуються принцип підлеглого керування.

При побудові систем підлеглого регулювання виконавчими пристроями в основному використовуються критерії - модульний і симетричний. Однак використання цих критеріїв не забезпечує в ряді випадків необхідної якості керування. У зв'язку із цим пропонується для синтезу параметрів законів керування використати критерій максимального ступеню стійкості. Цей критерій дозволяє одержати прості інженерні співвідношення для вибору параметрів настроювання регуляторів.

При виконанні синтезу структури з векторним керуванням вирішено задачі оптимізації контурів струмів  $i_d$  і  $i_q$  та швидкості  $\omega$ . Конттури реалізовано на основі ПІ-регуляторів, які є найбільш поширеними.



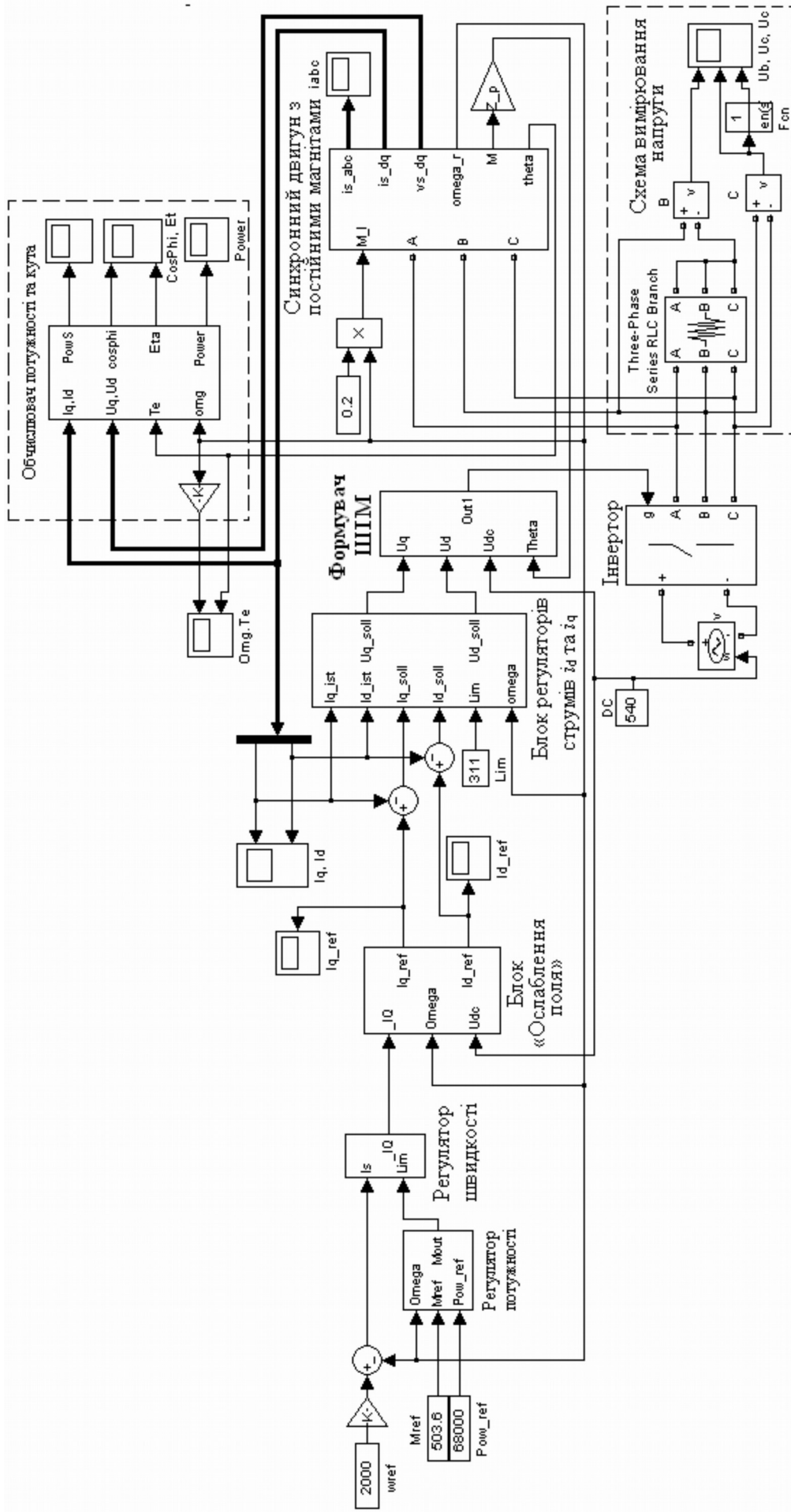


Рис. 1. Блок-схема комп'ютерної моделі контуру керування виконавчим пристроєм, що використовує метод комбінованого керування ослабленням поля

При розрахунку контурів струмів  $i_d$  і  $i_q$  використовувалися модульний критерій та критерій максимального ступеню стійкості. При заданих у розділі допущеннях можливо вважати, що контури струмів  $i_d$  і  $i_q$  є ідентичними. Тому для визначення параметрів регуляторів для обох контурів струмів  $i_d$  і  $i_q$  використовується однотипний розрахунок. Згідно критерію максимального ступеню стійкості було отримано співвідношення для обчислювання максимального ступеню стійкості

$$J_{onm} = \frac{T_{pr} + T_1}{3T_{pr}T_1}, \quad (1)$$

де  $T_{pr}$  - постійна часу автономного інвертора напруги;  $T_1$  - постійна часу, котра дорівнює постійній часу відповідного контуру управління струмом  $i_d$  або  $i_q$ , для якого виконується розрахунок.

Згідно критерію максимального ступеню стійкості та (1) отримані такі співвідношення для коефіцієнтів пропорційної  $k_{II}$  та інтегральної  $k_i$  частин ПІ-регулятора

$$k_{II} = \frac{2R(T_{pr} + T_1)J_{onm} - 3 \cdot R \cdot T_{pr} \cdot T_1 \cdot J_{onm}^2 - R}{k_{pr}}, \quad (2)$$

$$k_i = \frac{R \cdot T_{pr} \cdot T_1 \cdot J_{onm}^3 - R(T_{pr} + T_1)J_{onm}^2 - (R + k_{pr}k_{II})J_{onm}}{k_{pr}}, \quad (3)$$

де  $R$  - активний опір кола статора;  $k_{pr}$  - коефіцієнт передачі автономного інвертора напруги.

Для ПІ-регуляторів контурів управління струмів  $i_d$  та  $i_q$  отримані на основі модульного критерію такі співвідношення для інтегральної складової закону керування:

– для контуру струму  $i_q$

$$k_{iq} = \frac{1}{T_q} = \frac{R}{L_q}, \quad (4)$$

– для контуру струму  $i_d$

$$k_{id} = \frac{1}{T_d} = \frac{R}{L_d}, \quad (5)$$

де  $L_d$  - індуктивність статора по повздожній вісі ( $d$ );  $L_q$  - індуктивність статора по поперечній вісі ( $q$ ).

Відповідно до модульного критерію коефіцієнт пропорційної частини ПІ –регулятора для контурів струмів  $i_d$  та  $i_q$  має вид

$$k_{II} = \frac{L_1}{2 \cdot K_{pr} T_{pr}}, \quad (6)$$

де  $L_1$  - індуктивність, яка дорівнює індуктивності відповідного контуру керування струмів  $i_d$  або  $i_q$ .

У розділі виконано синтез контурів керування СД, який засновано на принципі векторної модуляції. Згідно допущенням була сформована розрахункова структура контуру регулювання швидкості. Критерієм оптимізації при розрахунку параметрів настроювання ПІ-регулятора в структурі контуру керування швидкістю вибрано критерій симетричного оптимуму. Для коефіцієнта інтегральної частини ПІ-регулятора швидкості було отримано співвідношення

$$T_{II} = 4T_{\mu}, \quad (7)$$

де  $T_\mu$  - сумарна мала постійна часу контуру регулювання швидкості ( $T_\mu \approx 0,0016$  с).

Коефіцієнт пропорціональної частини такий

$$k_{\Pi\omega} = \frac{2\pi \cdot J \cdot R \cdot T_q}{3 \cdot Z_p \cdot \Psi \cdot k_{\Pi q} \cdot k_{pr} \cdot T_\mu}, \quad (8)$$

де  $J$  - момент інерції;  $T_q$  - постійна часу контуру струму  $i_q$ ;  $Z_p$  - кількість пар полюсів;  $\Psi$  - потокозчеплення ротора у обертаючій системі координат;  $k_{\Pi q}$  - коефіцієнт пропорційної частини регулятора струму  $i_q$ , які розраховується за (2) згідно з критерієм максимального ступеню стійкості або за (6), якщо використовується модульний критерій.

Отримано параметри настройки регуляторів для кожного із критеріїв, які використані при моделюванні в різних режимах. По результатам моделювання були зроблені висновки, що для структури з векторним керуванням для настройки регуляторів ефективно використовувати критерій максимального ступеню стійкості. При регулюванні швидкості при використанні критерію максимального ступеню стійкості перегулювання не перевищує 1%, а при використанні модульного критерію перевищує 10%, а у деяких режимах досягає 15%. Тривалість перехідного процесу при використанні першого критерію менший, ніж при модульному критерію. При використанні модульного критерію при швидкостях вище 500 об/хв (для СДПМ типу DS-132L54W30-5) характер зміни електромагнітного моменту  $M$ , що формується двигуном, незадовільний.

Структура контуру керування, який побудовано на принципі прямого керування струмом, трохи відрізняється від структури з векторним керуванням. У цьому випадку в контурах регулювання струмів  $i_d$  та  $i_q$  відсутні регулятори. Регулювання цих струмів виконується самим синхронним двигуном за рахунок завдання рівня регульованої величини струму статора  $i_{ref}$ . Для оптимізації цього контуру у третьому розділі використовуються два критерії: критерій максимального ступеню стійкості та критерій симетричного оптимуму.

У розділі розглянуто метод розрахунку параметрів регулятора для структури з прямим керуванням струмом згідно критерію симетричного оптимуму. Результати моделювання показали, що параметри, що отримані згідно критерію симетричного оптимуму, приводять систему у нестійкий режим роботи.

Відповідно до критерію максимального ступеню стійкості було отримане значення максимального ступеню стійкості для цієї структури

$$J_{onm} = \frac{(6 \cdot a_1 \cdot T_{pr} + 6 \cdot a_1 \cdot T_q) \pm \sqrt{(6 \cdot a_1 \cdot T_{pr} + 6 \cdot a_1 \cdot T_q)^2 - 4 \cdot 12 \cdot a_1 \cdot T_{pr} \cdot T_q \cdot (2T_{pr} a_2 + a_1)}}{24 \cdot a_1 \cdot T_{pr} \cdot T_q \cdot \lambda^2}, \quad (9)$$

де  $a_1 = J \cdot R$ ;  $a_2 = 1,5 \cdot z_p^2 \cdot \Psi^2$ ;  $a_3 = 1,5 \cdot z_p \cdot \Psi_r \cdot k_{\Pi p} \cdot k_{pr}$ ;  $k_{\Pi p}$  - коефіцієнт передачі ланки контуру струму.

Для виконання розрахунку регулятора вибрано тільки позитивні значення вираження (9) для  $J_{onm}$ . На основі (9) отримані такі співвідношення для коефіцієнтів пропорційної  $k_{\Pi}$  та інтегральної  $k_i$  частин ПІ-регулятора.

$$k_{\Pi} = \frac{(a_1 T_q J_{onm}^2 - a_1 J_{onm} + a_2)(-2T_{pr} J_{onm} + 1) + (-2 \cdot a_1 \cdot T_q \cdot J_{onm} + a_1)(T_{pr} J_{onm}^2 - J_{onm})}{-a_3}, \quad (10)$$

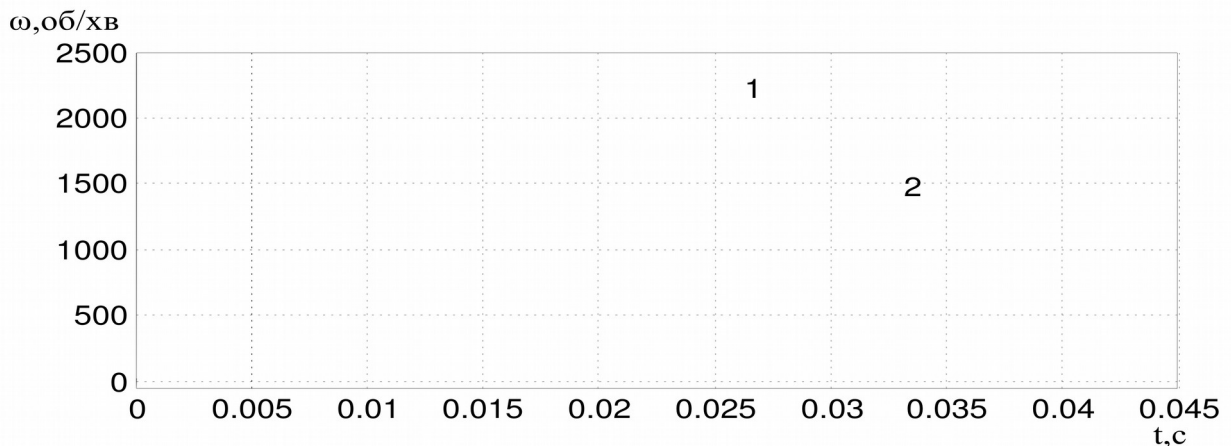
$$k_i = \frac{(a_1 T_q J_{onm}^2 - a_1 J_{onm} + a_2)(T_{pr} J_{onm}^2 - J_{onm}) - a_3 k_{II} J_{onm}}{-a_3} \quad (11)$$

Параметри настроювання регулятора, розраховані з використанням критерію максимального ступеня стійкості, є оптимальними для цієї структури керування СДПМ, що підтверджують результати моделювання.

Отримані результати по двом структурам з векторним управлінням та прямим управлінням струмом показали, що настроювання регуляторів за критерієм максимального ступеня стійкості реалізує кращі динамічні характеристики, ніж при настроюванні по модульному критерію та критерію симетричного оптимуму.

У розділі виконано порівняльний аналіз динамічних режимів функціонування запропонованих структур. При виконанні аналізу враховані такі положення: регульована величина на виході двигуна (швидкість, кут, момент і т.д.) повинна по можливості точно повторювати сигнал, що задається, а вихід двигуна не повинен залежати від впливів збурень.

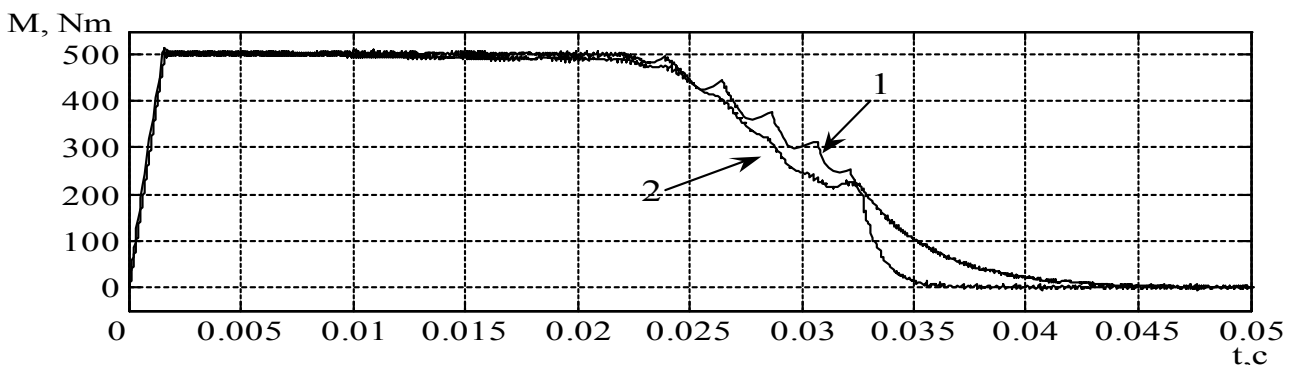
На підставі аналізу двох типів контурів керування показано, що контур з векторним керуванням більш ефективний ніж контур з прямим керуванням струмом. Хоча в системі з прямим керуванням струмом процеси протікають швидше (Рис. 2), але при завданні швидкості біля номінального значення спостерігаються значні коливання моменту (Рис. 3), що обмежує використання цього методу.



1 – структура з прямим керуванням струмом;

2 – структура з векторним керуванням.

Рис. 2 Швидкість  $\omega$ , об/хв.



1 – структура з прямим керуванням струмом;

2 – структура з векторним керуванням.

Рис. 3 Електромагнітний момент  $M$

За результатами дослідження для побудови контуру керування обрано структуру з векторним керуванням.

У ході дослідження були отримані результати, які показують, що структура контуру з векторним керуванням забезпечує коректне регулювання швидкості тільки в діапазоні від 0 до номінальної. При завданні швидкостей вище номінальної через специфіку СД нормальне функціонування неможливе через те, що після певної швидкості (назвемо її критичною) контур втрачає стійкість. Це обумовлено тим, що для СД у цьому діапазоні швидкостей статор переходить у насичення через високий рівень поданої напруги й регулювання швидкості можливо при використанні тільки ефекту «ослаблення поля».

У **четвертому розділі** розглядаються існуючі способи «ослаблення поля», а також пропонується ефективний метод «ослаблення поля» для контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД.

На підставі досліджень, викладених у розділах 2 і 3, була розроблена модель, що включає в себе модель виконавчого пристрою з СД і модель контуру керування, яка реалізує принцип векторного керування.

У ході моделювання були досліджені ситуації розгону двигуна до номінальної частоти й вище. Модель розглядалась у всіх основних режимах роботи: пуск під навантаженням, холостий хід та гальмування. До режиму холостого ходу була привернута увага, тому що цей режим є найважчим з режимів для такого типу СД. На підставі проведених досліджень визначено, що в області високих швидкостей, тобто вище номінальної, відбуваються значні коливання моменту, що може пошкодити СД.

Результати моделювання показують, що для якісного керування виконавчим пристроєм з СД у зоні високих швидкостей потрібне «ослаблення поля». Кожний тип СД вимагає індивідуального методу «ослаблення поля». Такий метод може бути обраний з аналізу статичних і динамічних параметрів СД із наступною оптимізацією підпорядкованої структури на основі методів адаптації.

Одним з можливих способів управління швидкістю СДПМ є його робота з максимальним значенням статорного струму  $i_q$ , що створює електромагнітний момент, тобто при  $i_q \rightarrow \max$  і  $i_d = 0$ . Це виконується за умови

$$\sin \varphi = i_s x_q / U_s, \quad (12)$$

де  $U_s$  і  $x_q$  пропорційні  $\omega$  ( $\omega = p\omega_r$ )

Виразення (12) перестає виконуватися, коли частота інвертора зростає, а швидкість ротора досягає значення  $\omega_{кр}$  (деяка критична швидкість). Це означає, що противо-ЕРС від потоку постійних магнітів перевищує напругу інвертора в рухомому режимі.

Для СДПМ вплив противо-ЕРС може бути зменшений штучно шляхом збільшення розмагнічування реакції якоря, тобто, при  $i_d < 0$ . Це забезпечує роботу СДПМ вище швидкості  $\omega_{кр}$  при цьому обертаючий момент зменшиться через розмагнічування.

Робота СДПМ у режимі вище основної швидкості, тобто у зоні «ослаблення поля» звичайно описується в термінах обмежень в осях ( $d$ - $q$ ). У розділі описаний спосіб роботи СД при  $\omega > \omega_{кр}$  з  $i_d$ , що змінюється згідно цим обмеженням за виразом

$$i_d \leq -\frac{\lambda}{L_d} \pm \frac{1}{L_d} \sqrt{\frac{U_{\max}^2}{\omega^2} - L_q^2 i_q^2}, \quad (13)$$

де  $U_{\max}$  - максимальне допустиме напруження;  $\lambda$  - електромагнітний потік.

З літератури відомі такі методи «ослаблення поля»:

1. Пряме керування струмом  $i_d$ .
2. Зміна  $i_d$  за лінійним законом.
3. Зміна  $i_d$  відповідно до інтегрального закону.
4. Керування ослабленням поля при постійній напрузі та постійній потужності (CVCP).

В розділі розроблені нові методи «ослаблення поля»:

- з оцінкою  $\omega_b$  (де  $\omega_b$  – деяка базова швидкість, яку обумовлено початком зони необхідності «ослаблення поля»);

- шляхом прямої дії на струм  $i_d$  і з додатковою реалізацією тягової характеристики.

Перші три методи незадовільні, тому що «ослаблення поля» починається пізно. Сигнал, що накопичується в інтеграторі, погіршує характер зміни струму  $i_d$ . Спосіб CVCP у літературі розглядається, як самий широко розповсюджений у промисловості, теж має недоліки. У цьому способі при  $\omega_b = \text{const}$ , струм  $i_d$  залишається більшим до того моменту, коли досягнута швидкість  $\omega_{ref}$ , хоча момент зменшується.

У ході дослідження був запропонований удосконалений метод «ослаблення поля» на основі методу CVCP. Зміни торкнулися обчислення  $\omega_b$ . Обчислення виконується за формулами

$$\omega_k = \frac{U_{DC}}{\sqrt{3} p \sqrt{\lambda^2 + (i_q L_q)^2}}; \quad \omega_b = 0,9 \omega_k. \quad (15)$$

Це дозволило реалізувати зменшення струму  $i_d$  при зменшенні моменту. Недоліком цього методу є неможливість управління потужністю.

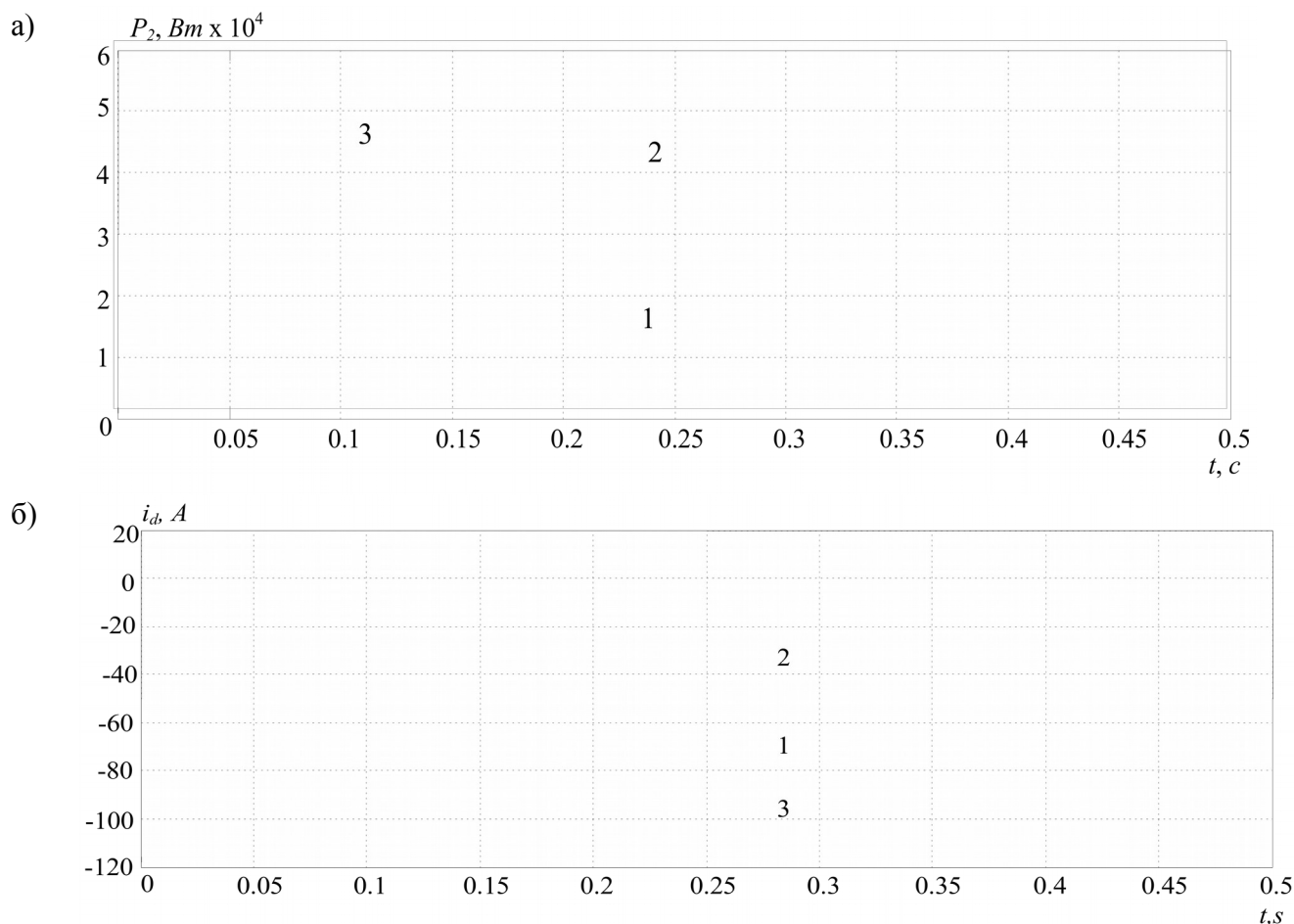
У результаті досліджень був розроблений метод, що реалізує струм  $i_d$ , близький до номінального відповідно до статичних розрахунків. При цьому струм  $i_d$  визначається за формулою:

$$i_d = \begin{cases} -0,5b \left[ \left| \omega_r - \omega_b \right| + \left( \left| \omega_r - \omega_b \right| \right) \right] & \text{для } -0,5b \left[ \left| \omega_r - \omega_b \right| + \left( \left| \omega_r - \omega_b \right| \right) \right] < -i_{d\max} \\ -i_{d\max} & \text{для } -0,5b \left[ \left| \omega_r - \omega_b \right| + \left( \left| \omega_r - \omega_b \right| \right) \right] \geq -i_{d\max} \end{cases} \quad (16)$$

де  $b = \frac{i_{d\max} - i_{dnom}}{\omega_{\max} - \omega_{nom}}$ ;  $i_{d\max}$  - максимальний припустимий струм по  $d$ -вісі;  $i_{dnom}$  – номінальний струм по  $d$ -вісі;  $\omega_{\max}$  - максимальна швидкість ротора;  $\omega_{nom}$  - номінальна швидкість ротора.

До моделі введено блок для регулювання потужності. Цей метод заснований на реалізації тягових характеристик привода.

За результатами моделювання можна сказати, що перші три методи «ослаблення поля» програють запропонованому комбінованому методу через їхні істотні недоліки. Для порівняльного аналізу по енергетичних характеристиках були обрані останні три методи. З графіків рис. 4 видно, що запропонований нами метод (криві 3 на графіках потужності  $P_2$  і струму  $i_d$ ) реалізує керування з максимальними потужністю й негативним струмом  $i_d$ .



- 1 - Керування «ослабленням поля» при постійній напрузі та постійній потужності (CVCP); 2 - Метод ослаблення поля с оцінкою  $\omega_b$  ;  
 3 - Метод «ослаблення поля» прямою дією на струм  $i_d$  та реалізацією тягової характеристики

Рис. 4 - Механічна потужність  $P_2$  (а) та струм  $i_d$ (б).

Таким чином розроблений у дисертації метод ослаблення більше ефективний у порівнянні з іншими відомими методами. Він дозволяє реалізувати уніфікований контур управління різними виконавчими пристроями, тому що реалізує струм  $i_d$ , близький до номінального відповідно до статичних розрахунків. Цей метод забезпечує отримання найбільшого значення модулю  $|i_d|$  ( $i_d < 0$ ) у порівнянні з іншими розглянутими методами, бо при цьому підвищуються енергетичні параметри. Він заснований на реалізації тягових характеристик і дозволяє регулювати потужність, виходячи з можливостей контуру керування. А також дозволяє реалізувати регулювання швидкості обертання ротора у всьому діапазоні швидкостей від 0 до максимальної, чого не забезпечують інші методи. Запропонований метод дозволяє підвищити механічну потужність на 10% - 30% у порівнянні з перерахованими вище методами, і його покладено в основу уніфікованого контуру керування виконавчими пристроями ОЗТД.

У п'ятому розділі розглядаються аспекти використання технології нейронних мереж у керуванні виконавчими пристроями ОЗТД. Обґрунтовується вибір структур нейронних регуляторів, а також визначається метод їхнього навчання.

Результати досліджень показали, що застосування нейронних мереж для задач керування виконавчих пристроями ОЗТД з СД дає можливість більш якісно здійснювати керування цими процесами.

У ході аналізу моделей підтверджено ефективність використання комбінованого регулятора струмів  $i_q$  та  $i_d$  на базі нейронних мереж, що дозволяє підвищити якість процесів на 9%.

У якості нейрорегулятора використано багат шаровий перцептрон, що має поліпшені апроксимуючі властивості. Це дозволяє навіть при наявності одного схованого шару реалізувати ефективне керування таким об'єктом, як виконавчий пристрій.

Наведений порівняльний аналіз методів навчання показав, що при рішенні задачі навчання метод зворотного поширення помилки гірше методу навчання, заснованому на генетичному алгоритмі. Якість процесів зміни струму краща на 10% при використанні генетичного алгоритму.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу удосконалення методів керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності, які розповсюджені на залізничному транспорті.

На підставі проведеного аналізу технології керування виконавчими пристроями ОЗТД отримано нові науково обґрунтовані теоретичні й практичні результати, які є істотними для побудови уніфікованих контурів керування виконавчими пристроями в широкому діапазоні швидкостей та навантажень, що дозволяє удосконалити технологічні процеси керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному.

1. З метою розробки удосконалених моделей, методів керування виконавчими пристроями та створення оптимальних контурів керування в дисертації:

- Обґрунтовано доцільність використання модуляції вектору поля для виконавчих пристроїв. У порівнянні з прямим керуванням струмом модуляція вектору поля реалізує більш ефективне керування моментом і близькі до оптимальних статичні та динамічні характеристики контурів. Якість процесів поліпшується до 10%.

- Для розрахунку параметрів настроювання регуляторів контурів керування виконавчими пристроями на основі СД використано критерій максимального ступеня стійкості, що дозволило спростити процедуру вибору параметрів регуляторів. Отримані з використанням критерію максимального ступеня стійкості параметри настроювання регуляторів дозволили зменшити перерегулювання швидкості з 10% до 1% і поліпшити якість керування моментом двигуна. Це дає змогу спростити технологію експлуатації виконавчих пристроїв.

- Запропоновано новий ефективний метод «ослаблення поля» у контурі керування виконавчим пристроєм в режимі швидкостей вище номінальної, заснований на формуванні



струму  $i_d$  за законом, який використовує обчислення базової швидкості та враховує тягову характеристику, що забезпечує розширення області стійкості. При цьому механічна потужність, що розвивається на валу виконавчого пристрою при однакових параметрах двигуна, перевищує вдвічі аналогічну потужність при використанні відомих методів «ослаблення поля». Також забезпечується регулювання швидкості обертання ротора у всьому припустимому діапазоні швидкостей (від 0 до максимальної) (підтверджено актом впровадження ВАТ «Ізюмський тепловозоремонтний завод»).

- Удосконалено процедуру синтезу контурів керування ОЗТД на основі нейронних мереж як регуляторів контуру керування, які навчаються на підставі модифікованого генетичного алгоритму, що дозволило поліпшити динаміку системи керування до 10%.

2. Розроблено удосконалені математичні та комп'ютерні моделі контурів керування, які доповнені ланкою, що враховує інерційність перетворювача, використовують новий метод «ослаблення поля», критерій максимального ступеню стійкості та нейронні мережі, що дає змогу одержати більш достовірну інформацію про характеристики контурів керування в статичних та динамічних режимах (підтверджено актом впровадження ВАТ «Електромашина»).

3. Сукупність удосконалених математичних моделей, розроблених процедур настроювання параметрів регуляторів являють собою нові методи керування виконавчими пристроями ОЗТД, що забезпечують оптимізацію їх швидкісних та механічних характеристик у широкому діапазоні зміни навантажень (підтверджено актом впровадження ВАТ «Ізюмський тепловозоремонтний завод»).

4. Сформульовані рекомендації щодо створення уніфікованих контурів керування виконавчими пристроями ОЗТД різної потужності на основі класичних та нейрорегуляторів:

- Розроблено структури контурів керування з класичними ПІ-регуляторами. Для таких контурів отримані аналітичні залежності для настроювання параметрів регуляторів на основі критерію максимального ступеню стійкості, що спрощує процедуру настроювання та підвищує якість процесів керування.

- Розроблено структуру контуру керування із сполученим нейрорегулятором струмів  $i_q$  та  $i_d$  на основі нейронної мережі, навчання якої здійснюється на основі модифікованого генетичного алгоритму. Ця структура забезпечує поліпшення динамічних характеристик контуру керування виконавчим пристроєм: перехідні процеси при регулюванні швидкості мають аперіодичний характер при скороченні часу перехідних процесів на 30%.

5. Сукупність отриманих наукових та практичних результатів дисертації дають змогу створити уніфіковані контури керування виконавчими пристроями ОЗТД різної потужності, що удосконалює технологію їх експлуатації. Основні результати дисертації впроваджені у виробництво та навчальний процес, що підтверджено відповідними актами.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Демченко Ф.О. Управление движением электропоезда метрополитена. Часть 1. Задача совершенствования технологии управления электропоездом метрополитена // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. - № 3 - С.10-12.

2. Демченко Ф.О. Управление движением электропоезда метрополитена. Часть 2. Моделирование нагрузок электроподвижного состава // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. - № 4,5 – С. 31-33.

3. Демченко Ф.О. К разработке дискретно-непрерывной модели электропривода. Часть 1. Выбор методов моделирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. - № 1. С. 43-47.

4. Управление синхронными двигателями с постоянными магнитами в области скоростей выше номинальной / Ю.И. Гусевский, Ф.О. Демченко, Г.И. Загарий и др. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. - № 4. - С. 74-79.

5. Моделирование тягового частотного управляемого электропривода на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами/ Ф.О. Демченко, Г.И. Загарий, А.К. Дука и др. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. - № 5,6. - С. 80-86.

6. Демченко Ф.О., Дука А.К. Оптимальное управление автономными электротранспортными средствами // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. - № 1. С. 80-86.

7. Демченко Ф.О. Оптимизация параметров системы управления электроприводом переменного тока с синхронными двигателями с постоянными магнитами // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. №9. – С. 74 – 86.

#### Тези

8. Демченко Ф.О. Моделирование электромеханического преобразователя поезда метрополитена (17 міжнародна науково-практична конференція «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті»).-№4,5. – Алушта. – 2004. – С. 107.

9. Демченко Ф.О. Моделирование алгоритмов управления электроприводом маневрового тепловоза // Автоматика-2005: Материалы 12-й Международной конференции по автоматическому управлению, - г. Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», - 2005. – Т.2. - С. 57-58.

Додаткова опублікована праця:

Тлумачний російсько-англо-український словник з залізничної автоматики та зв'язку: Навчальний посібник для ВНЗ / За ред. М.Д. Гінзбурга, Г.І. Загарія, Ю.В. Соболева. – Харків: ПП Видавництво «Нове слово», 2004. – 512 с.

#### АНОТАЦІЯ

Демченко Ф.О. Удосконалення методів керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. - Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2008 р.

Дисертація присвячена удосконаленню методів керування виконавчими пристроями об'єктів забезпечення транспортної діяльності з використанням уніфікованих контурів керування. Проведено аналіз методів керування виконавчими пристроями ОЗТД з синхронними двигунами. Запропоновано моделі для реалізації методів векторного керування й прямого керування струмом. Проведено синтез регуляторів на основі широко використовуваних

критеріїв симетричного й модульного оптимумів, а також критерію максимального ступеня стійкості. За результатами дослідження встановлено, що при настроюванні ПІ-регуляторів з використанням критерію максимального ступеня стійкості керування більш ефективне. Обґрунтовано вибір структури для реалізації ефективного керування синхронними двигунами на основі принципу векторного керування.

Проведено аналіз методів керування «ослабленням поля». Встановлено, що існуючі методи «ослаблення поля» не забезпечують заданої якості керування. Для поліпшення характеристик контуру керування був розроблений метод «ослаблення поля», заснований на прямому керуванні струмом і реалізації тягової характеристики приводу виконавчого пристрою. Цей метод дозволив забезпечити більш високі механічні характеристики в порівнянні з іншими методами при ідентичних витратах енергії.

Запропоновано варіанти заміни класичних ПІ-регуляторів нейронними мережами на основі багатослоєвого перцептрона. Проведено аналіз методів навчання нейронних мереж

Ключові слова: об'єкт забезпечення транспортної діяльності, виконавчий пристрій, синхронний двигун, «ослаблення поля», критерій модульного оптимуму, критерій симетричного оптимуму, критерій максимального ступеня стійкості, нейронна мережа, генетичний алгоритм, метод зворотного поширення помилки.

## АННОТАЦИЯ

Демченко Ф.О. Совершенствование методов управления исполнительными устройствами объектов обеспечения транспортной деятельности. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2008 г.

Диссертация посвящена совершенствованию методов управления исполнительными устройствами объектов обеспечения транспортной деятельности с использованием унифицированных контуров управления.

В работе выполнен анализ объектов обеспечения транспортной деятельности (ООТД) на железнодорожном транспорте. Для анализа выбраны объекты, которые в качестве исполнительного устройства используют синхронные машины. Представлена обобщенная структура контура управления исполнительным устройством. Произведен сравнительный анализ структур существующих контуров управления исполнительными устройствами. На основании анализа предложена унификация основных составляющих контуров управления. Для реализации таких контуров управления проведен анализ существующих методов управления исполнительных устройств ООТД с синхронными двигателями. Проанализированы критерии оптимизации, такие как: интегральные критерии, модульный критерий, критерии симметричного оптимума и критерий максимальной степени устойчивости. Предложено использование критерия максимальной степени устойчивости для синтеза регуляторов контуров управления. Рассмотрены вопросы использования нейронных сетей и нейрокибернетического подхода к управлению исполнительными устройствами ООТД.

Предложены две компьютерные модели синхронной машины. Первая позволяет моделировать физические процессы, а вторая - является приведенной к координатам  $dq$  и предназначена для выполнения расчетов. Для инвертора также созданы следующие модели: компьютерная модель для моделирования физических процессов и модель в виде передаточных функций для расчетов. Разработана компьютерная модель исполнительного устройства, которая включает в себя модели: синхронного двигателя, инвертора и источника питания. С использованием этой модели получены модели контуров, реализующие регулирование на основе модуляции пространственного вектора поля и прямого управления током.

Проведен синтез регуляторов на основе широко используемых критериев симметричного и модульного оптимумов, а так же критерия максимальной степени устойчивости. Получены выражения для настройки регуляторов. При использовании критерия максимальной степени устойчивости получены простые алгебраические соотношения, которые связывают параметры исполнительного устройства и регуляторов.

Приведен сравнительный анализ результатов моделирования контуров управления, использующих модуляцию пространственного вектора поля и прямое управление током. Также установлено, что при настройке ПИ-регуляторов с использованием критерия максимальной степени устойчивости управление более эффективно. Обоснован выбор структуры для реализации эффективного управления синхронными двигателями на основе принципа векторного управления. Сформулированы рекомендации для создания унифицированных контуров управления исполнительными устройствами разной мощности на основе классических регуляторов с использованием современной микропроцессорной техники.

Проведен анализ методов реализации «ослабления поля». Установлено, что существующие методы «ослабления поля» не обеспечивают заданного качества управления. Для улучшения характеристик контура управления был разработан метод «ослабления поля», основанный на прямом управлении током и реализации тяговой характеристики привода исполнительного устройства. Этот метод позволил обеспечить более высокие механические характеристики по сравнению с другими методами при идентичных затратах энергии.

Предложены варианты замены классических ПИ-регуляторов нейронными сетями на основе многослойного персептрона. Проведен анализ методов обучения нейронных сетей. Для обучения были выбраны методы обратного распространения ошибки и модифицированный генетический алгоритм. В диссертации был проведен анализ вариантов исполнения нейронных сетей, которые используются для замены классических регуляторов. На основании моделирования предложено использовать совмещенный нейрорегулятор для управления токами, которые являются проекциями тока статора на продольную и поперечную оси вращающейся системы координат. Уточнены рекомендации для создания унифицированных контуров управления с использованием нейрорегуляторов.

Ключевые слова: объект обеспечения транспортной деятельности, исполнительное устройство, синхронный двигатель, «ослабление поля», критерий модульного оптимума, критерий симметричного оптимума, критерий максимальной степени устойчивости, нейронная сеть, генетический алгоритм, метод обратного распространения ошибки.

### **THE SUMMARY.**

Demchenko F. O. Improvement of the methods of management executive device object of the provision to transport activity - Manuscript.

The thesis on competition the science degree of Candidate of Technical Science on profession 05.22.20 – Exploitation and repair of transport – The Ukrainian state academy of the railway transport; Kharkiv, 2008.

The thesis is devoted to improvement of the methods of management executive device object of the provision to transport activity with use unified sidebar management. The organized analysis of the methods of management executive device OPTA brought into operation synchronous engine. The offered models for realization of the methods of vector management and direct management current. The organized syntheses regulator on base broadly used criterion symmetrical and module optimum, but in the same way criterion maximum degree to stability. On result of modeling is installed that when adjusting PI-regulator with use criterion maximum degree to stability management is realized more effectively. Also choice of the structure is motivated on the grounds of result of modeling for realization of efficient management synchronous engine on base of the principle of vector management.

The organized analysis of the methods of governing the weakening of the current. It Is Installed that existing methods of the weakening of the field do not provide the givened quality of management. The method of the weakening of the field was designed For improvement of the features of the sidebar of management, founded on direct current management and realization of the tractive feature of the drive executive device. This method has allowed to provide the more high mechanical features in contrast with the other methods under identical expenses of the energy.

The offered variants of the change classical PI-regulator neural networks on base laminated perceptron. Organized analysis of the methods of the education neural networks

Key words: object of the provision to transport activity, executive device, synchronous engine, weakening of the field, criterion module optimum, criterion of the symmetrical optimum, criterion maximum degree to stability, neural network, genetic algorithm, method of the inverse spreading the mistake.

Демченко Федір Олегович

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ  
ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ ОБ'ЄКТІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ТРАНСПОРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

д.т.н., проф. Лістровий С.В.

---

Підписано до друку „\_\_\_” .\_\_\_\_\_ .2008.

Формат 60x84 1/16. Папір для множних апаратів.

Ум. друк. арк.0.9. Обл.-вид.арк.1,15. Безкоштовно.

Замовлення № \_\_\_\_\_ Тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000р.  
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.