

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МАСЛІЙ АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ



УДК 681.527.72

**СТРУКТУРНИЙ ТА ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ЛІНІЙНИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ
МОНОШПАЛЬНОГО СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, доцент
Буряковський Сергій Геннадійович,
НДПКІ «Молнія», м. Харків,
директор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Канюк Геннадій Іванович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
м. Харків,
завідувач кафедри теплоенергетики
та енергозберігаючих технологій;

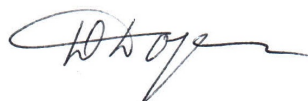
доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Державна установа
«Інститут технічних проблем магнетизму»
НАН України, м. Харків,
завідуючий відділом проблем управління
магнітним полем.

Захист відбудеться «31» травня 2018 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розіслано «25» квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Дорофєєв Ю. І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток залізничного транспорту, залізничних міжнародних транспортних коридорів, інтеграція вітчизняного залізничного транспорту в світову транспортно-логістичну систему визначені ключовими факторами економічного розвитку України, що дозволить створити умови для нарощування транзитних вантажопотоків, ефективного використання потужного транзитного потенціалу, відкрити доступ до високотехнологічних новітніх комплектуючих, забезпечуючи активізацію процесів розвитку промисловості України. Як зазначається в концепції, згідно затвердженої Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів та розпорядження КМУ від 31 грудня 2004 р, перехід на швидкість 200 км/год передбачає необхідність забезпечення повної реконструкції і модернізації пристроїв телемеханіки, зв'язку, енергетики та автоматики. Важлива роль в пристроях автоматики відводиться стрілочним переводам (СП), які можуть обмежувати експлуатаційну готовність і пропускну здатність залізниць при допустимій на них швидкості руху поїздів менше, ніж на головних або бокових коліях. В роботах Ю. М. Резнікова, О. Д. Петрушина, В. В. Смірнова, Л. В. Акімова приведено різні підходи щодо удосконалення існуючих приводів СП шляхом заміни ненадійних елементів. В той же час, світовими компаніями проводиться робота над створенням нових їх типів. Таким чином, запропонований в роботі шлях створення нових систем керування електроприводами (ЕП) СП є актуальним з точки зору необхідності переходу до нової сучасної елементної бази систем автоматики та нових конструкційних рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі електричного транспорту та тепловозобудовання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» з урахуванням положень «Концепції розвитку транспортно-залізничного комплексу України на середньотерміновий період до 2020 року» (Наказ Державної адміністрації залізничного транспорту № 764 від 05.11.2001 р.), а також відповідно до держбюджетної НДР МОН України «Розробка і дослідження роботи електроприводу стрілочного переводу моношпального типу» (ДР № 117U000643), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вдосконалення мікропроцесорної системи автоматичного керування (САК) безредукторним регульованим електроприводом стрілочного переводу моношпального типу на базі лінійного двигуна (ЛД) для отримання заданого закону керування рухом гостряків та зменшення часу переводу стрілки.

Для досягнення зазначеної мети поставлено наступні задачі:

1. Розробка і реалізація систем автоматичного керування для двох типів двигунів, що дозволяють здійснювати процес переводу з плавним доводом гостряків до рамної рейки, захист двигуна від перевантажень, а також контроль положення гостряків.

2. Розробка конструктивного рішення для стрілочного переводу моношпального типу з використанням двох типів лінійних машин та ідентифікація їх геометричних розмірів.

3. Синтез нейронного регулятора положення для електроприводу з двигуном електромагнітного типу та ПІД-регулятора швидкості для електроприводу з індукторним електродвигуном і оцінка якості їх роботи.

4. Створення математичної моделі ЕП СП моношпального типу.

5. Розробка дослідного зразка лінійного електродвигуна та оцінка адекватності створеної імітаційної моделі.

6. Реалізація мікропроцесорної САК на базі сигнального контролера, проведення лабораторних випробувань з підтвердження її працездатності.

Об'єктом дослідження є процеси керування електроприводом стрілочного переводу на основі двох типів лінійних машин.

Предметом дослідження є моделі та методи багатоцільового синтезу мікропроцесорних систем автоматичного керування електроприводом стрілочного переводу.

Методи дослідження. Теоретичною базою виконаних досліджень є фундаментальні положення теорії автоматичного керування. Методи узагальненої теорії електромеханічних перетворювачів енергії використовувалися для розрахунку електромеханічних систем; метод кінцевих елементів та комбінований коло-польовий метод – для розрахунку магнітного поля електромеханічних перетворювачів енергії; метод Чина – Хронса – Ресвіка – для синтезу регулятора швидкості; методи оптимізації – для отримання геометричних розмірів лінійних двигунів; методи наближення функцій – для апроксимації дискретних експериментальних даних цифрового моделювання; генетичні алгоритми – для синтезу нейрорегулятора; сучасні системи комп'ютерної математики – для обчислення значення параметрів систем керування та дослідження ефективності методів синтезу.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше запропоновано метод визначення параметрів моделей лінійних електродвигунів стрілочного переводу моношпального типу на основі умовної оптимізації, що дозволяє знизити витрати на виготовлення приводу та забезпечити необхідне тягове зусилля в процесі переводу стрілки;

– вперше для електроприводу моношпального безредукторного стрілочного переводу розроблено математичні моделі та визначено структуру систем автоматичного керування, що включають нейрорегулятор положення для лінійного електродвигуна електромагнітного типу (ЛДЕМТ) та цифровий ПІД-регулятор швидкості для лінійного індукторного двигуна (ЛІД), що дозволяє врахувати випадковий характер навантаження на контактній поверхні гостряк-подушка та забезпечити задані траєкторії переміщення в детермінований час;

– отримали подальший розвиток математичні моделі електродвигунів лінійного типу як об'єкту керування з урахуванням габаритних обмежень їх розміщення в шпалі та особливостей механічної частини приводу стрілочного переводу, що дозволяє враховувати вплив нелінійних властивостей об'єктів керування;

– отримали подальший розвиток методи синтезу САК на основі модифікації генетичних алгоритмів для забезпечення заданого закону керування в різних умовах експлуатації, що дозволяє підвищити показники якості розроблених систем.

Практичне значення одержаних результатів для галузі систем залізничної автоматики полягає у наступному:

- розроблено методику визначення параметрів системи керування шпальним стрілочним переводом з лінійними двигунами двох типів, що дозволяє реалізувати вимоги «Правил технічної експлуатації залізниць України» до стрілочних електроприводів магістралей швидкісного транспорту;

- для стрілочних переводів моношпального типу розроблено методику розрахунку параметрів лінійних двигунів з урахуванням особливостей їх розміщення в шпалі;

- в дослідному зразку СП реалізовано САК на базі нейрорегулятора з використанням розроблених математичних моделей.

Результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи, впроваджено в ТОВ НКП «Укртрансигнал» (м. Харків), у навчальний процес в Інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків) та в НТУ «ХПІ».

На запропоновані технічні рішення конструкцій електроприводів стрілочних переводів отримано патенти України на корисні моделі № 95497 «Електропривід стрілочного переводу», № 109159 «Безредукторний електропривід стрілочного переводу шпального типу».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: розроблено конструктивне рішення для стрілочного переводу моношпального типу з використанням двох типів лінійних машин і визначено їх геометричні розміри з використанням різних методів оптимізації; ідентифіковано параметри математичних моделей лінійних індукторних перетворювачів енергії; розроблено математичну модель стрілочного переводу; розроблено математичну модель електронного комутатора; синтезовано ПІД-регулятор швидкості, а також нейрорегулятор положення; розроблено алгоритм керування стрілочним переводом моношпального типу з ЛД на базі мікропроцесорної системи керування; створено макетний зразок лінійного двигуна, проведено фізичні експерименти, виконано аналіз отриманих результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях та семінарах: «Проблеми перетворення електроенергії на електричному транспорті» (Харків, 2014 – 2016); «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2015); «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Воловець, 2015); «Проблеми енергоресурсозбереження в електричних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2015).

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 21 науковій праці, з них: 14 – у наукових фахових виданнях України (12 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні (SCOPUS), 4 – у матеріалах конференцій та 2 патенти.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Повний обсяг дисертації складає 177 сторінок і містить 116 рисунків та 13 таблиць по тексту, 49 рисунків і 1 таблиця на 32 окремих сторінках, 92 найменування використаних джерел на 11 сторінках, 3 додатки на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дослідження, сформульована мета і визначені основні задачі роботи, дана характеристика наукової новизни і обґрунтована практична цінність отриманих результатів, показано зв'язок роботи з Державними програмами і бюджетними темами.

В **першому розділі** проведено аналіз тенденцій розвитку систем керування електроприводами стрілочних переводів на вітчизняній залізниці та за кордоном, обґрунтовано напрямки досліджень.

У пристроях електричної централізації залізничних станцій України застосовується дводротова або чотирьохдротова схема керування електродвигуном постійного струму і п'ятидротова схема керування електродвигуном змінного струму. Такі схеми керування стрілкою є релейними, розроблялися в середині минулого століття і мають ряд недоліків: відсутність зворотного зв'язку по положенню або швидкості; відсутність струмового захисту; наявність повільнодіючих реле в ланцюгах керування; застаріла контактна система автоперемикача.

Крім цього, стрілочні переводи, що експлуатуються, мають складну механічну частину з редуктором і декількома тягами, а захист переводу реалізовано тільки на фрикційному зчепленні. Відсутність в більшості схем керування стрілкою зворотних зв'язків по положенню і швидкості призводить до ударів гостряків об рамну рейку в кінці процесу переводу, що є причиною деформації робочих і контрольних тяг, збільшення відстані між рамними рейками, а також швидкого зносу всіх механічних частин СП.

Сучасні тенденції розвитку СП показують, що багато закордонних виробників переходять на їх моношпальне виконання, що дозволяє здешевити транспортування, установку або заміну СП, автоматизувати процес підбиття баласту, а також знизити витрати на обслуговування.

Відсутність контуру струму в сучасних САК стрілкою призводить до пошкодження обмоток двигуна, а також підгоряння контактів автоперемикача і керуючого реле. Застосування багатоконтурної САК дозволить контролювати стан гостряків, забезпечити необхідну криву швидкості переводу, обмежити струм, що протікає в обмотках двигуна і, як наслідок, підвищити надійність його роботи.

В останні роки все більше залізничних станцій України оснащуються мікропроцесорною централізованою системою керування. Заміна систем релейного типу мікропроцесорними є об'єктивною необхідністю оновлення технологічного процесу керування залізничними перевезеннями та робочого процесу структурних підрозділів залізничного транспорту на основі застосування інформаційних технологій. Реалізація САК СП із застосуванням напівпровідникової елементної бази і високопродуктивних програмованих контролерів дозволить легко інтегрувати такі СП в сучасні системи мікропроцесорної централізації. За результатами проведеного аналізу виділено наступні завдання автоматизації СП: впровадження сучасних методів і засобів автоматизації; поліпшення якості керування електроприводом СП; скорочення

витрат на обслуговування СП; збільшення ККД СП; підвищення безпеки та надійності роботи СП; інтегрованість в сучасні системи керування верхнього рівня.

В кінці розділу приведено обґрунтування вибору мети дисертаційної роботи і сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ присвячено ідентифікації параметрів електроприводу стрілочного переводу на базі двох лінійних електромеханічних перетворювачів (ЕМП) енергії та аналізу отриманих результатів.

Основним завданням при розробці конструкції СП є виключення обертових елементів та спрощення його кінематичної лінії. Для проведення порівняльного аналізу роботи ЛД в СП пропонується використовувати два типи ЛД – електромагнітного типу та індукторний. На рис. 1 наведено конструкції електроприводів СП.

Конструкція електродвигуна у вигляді електромагніту відрізняється простотою та надійністю. ЛД вимагає застосування більш складної, ніж у електромагніту, системи керування і, як наслідок, складного схемотехнічного рішення, але забезпечує реверсну роботу без застосування додаткових елементів. Конструкції двох типів двигунів показано на рис. 2.

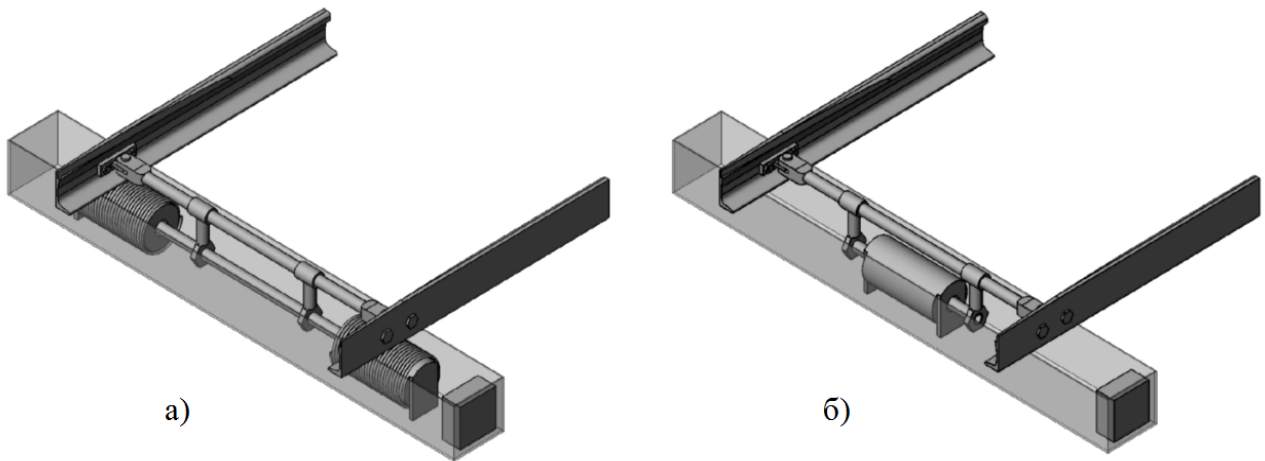


Рисунок 1 – Пропоновані конструкції електроприводів стрілочного переводу:
а) на базі ЛДЕМТ; б) на базі ЛІД

Запропоновані конструкції стрілочного переводу (рис. 1) через велику кількість параметрів, таких як діаметри статора і якоря, площа перетину котушки або розміри пружини, значення яких можуть змінюватися в досить широких межах, потребують застосування оптимізації. При цьому всі геометричні розміри електродвигунів розраховуються під конкретний стрілочний перевід.

Постановка задачі умовної оптимізації полягає в мінімізації цільової функції $f(y)$, де y – вектор змінних параметрів, який для даної задачі оптимізації включає геометричні розміри приводу:

– для ЛДЕМТ

$$y = (D_K, L_K, D_N, H_{SP}, K_{PR})^T, \quad (1)$$

де D_K – діаметр котушки; L_K – довжина котушки; D_N – діаметр направляючого стрижня; H_{SP} – ширина спинки статора; K_{PR} – коефіцієнт жорсткості пружини;
– для ЛД

$$y = (D_d, L_f, D_r, H_z, H_r)^T, \quad (2)$$

де D_d – зовнішній діаметр двигуна; L_f – довжина кожної з котушок; D_r – діаметр якоря; H_r – товщина стінок якоря; H_z – висота зубця статора.

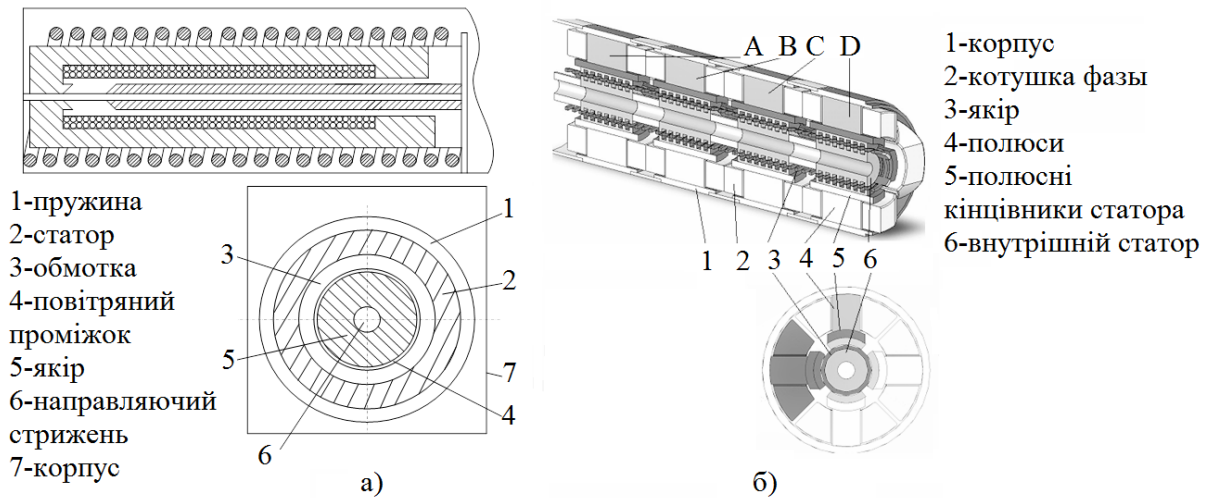


Рисунок 2 – Запропоновані конструкції ЛД:
а) – електромагнітного типу; б) – індукторний

При виборі моношпальної конструкції стрілочного переводу цільова функція з одного боку повинна пов'язувати математичними залежностями геометричні розміри електроприводу, а, з іншого боку, сили, які взаємодіють в процесі переведення стрілки. В якості цільової функції прийнято середньоквадратичне відхилення сумарної тягової сили відносно сили опору, оскільки мінімізація цієї величини в загальному випадку сприяє зменшенню металоємності при виготовленні приводу, а також отриманню більшого ККД як двигуна, так і приводу в цілому. Середньоквадратичне відхилення сил обчислюється наступним чином

$$\sigma(y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{Ti}(y) - F_{Opi})^2}{n}}$$

де F_{Ti} – i -а сумарна сила тяги електроприводу; F_{Opi} – i -а сила опору; n – кількість обчислень.

Для задачі мінімізації $\sigma(y)$ визначено два обмеження. Першому обмеженню $a_i \leq y_i \leq b_i$, $i = \overline{1, 5}$ відповідає штрафна функція

$$U_1(y) = \sum_{i=1}^5 (\max \{0; a_i - y_i\} + \max \{0; y_i - b_i\}),$$

де a_i , b_i – граничні значення геометричних розмірів двигуна.

Сумарна сила тяги повинна бути більше заданої сили опору не менше ніж на 1 %, тому другому обмеженню $1,01F_{оп} \leq F_T(y)$ відповідає штрафна функція

$$U_2(y) = \max\{0; 1,01F_{оп} - F_T(y)\}.$$

Для вирішення поставленої задачі умовної оптимізації використано пакет програм OPTLAB, розроблений в НТУ «ХП» під керівництвом проф. Северина В. П. Для знаходження оптимального рішення застосовано низку методів з використанням різних стартових точок. Найкращі результати вирішення поставленої задачі оптимізації показали метод циклічного покоординатного спуску і метод Вейля.

В ході оптимізаційного дослідження змінювалися жорсткість характеристики навантаження β і тип стрілочного переводу (вага гостряків в залежності від їх типу – F_m), в результаті чого отримано характеристики зміни основних оптимізованих параметрів (1), (2) у вигляді тривимірних поверхонь, які показано на рис. 3 для ЛДЕМТ та на рис. 4 для ЛД.

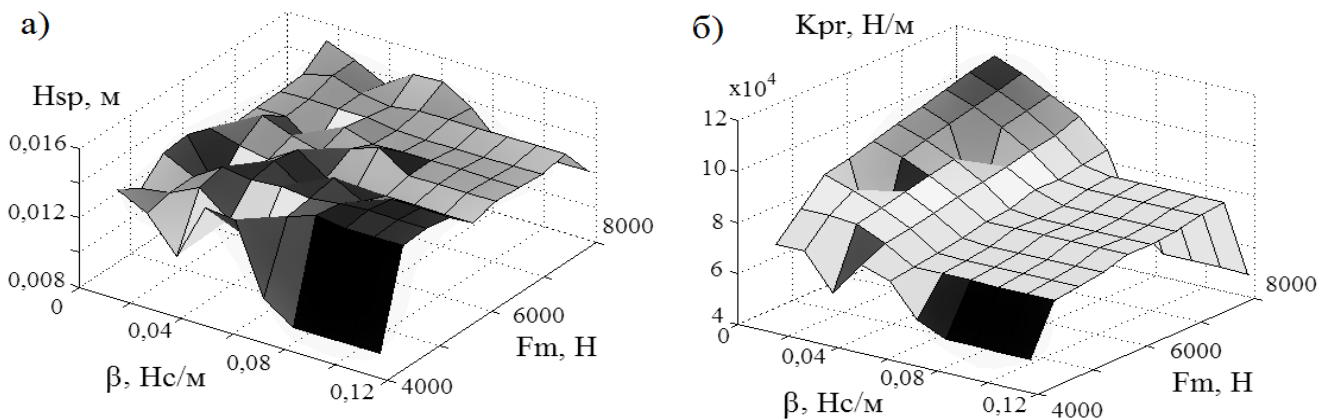


Рисунок 3 – Залежність змінних параметрів для ЛДЕМТ від жорсткості характеристики навантаження та типу стрілочного переводу:
а) – ширина спинки статора; б) – коефіцієнт жорсткості пружини

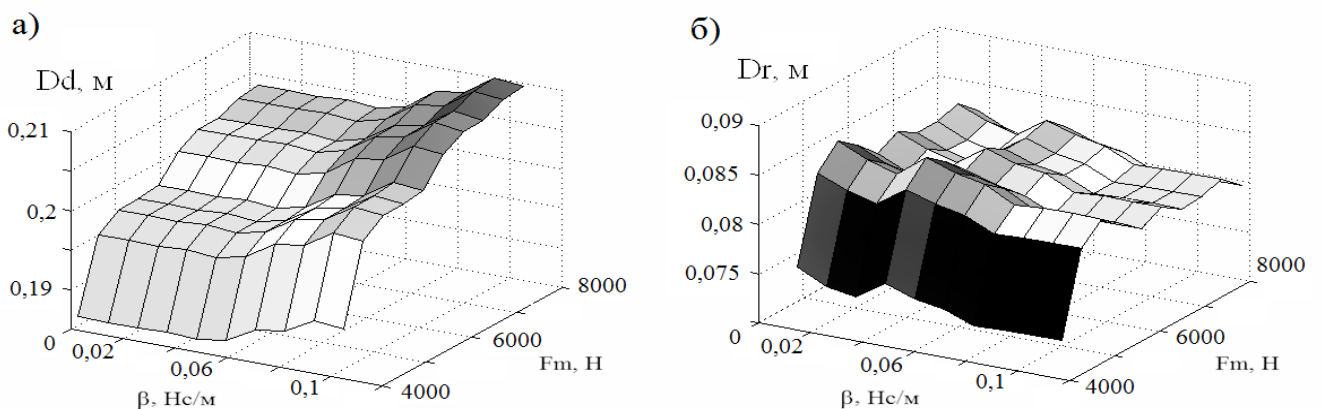


Рисунок 4 – Залежність змінних параметрів для ЛД від жорсткості характеристики навантаження та типу стрілочного переводу:
а) – діаметр двигуна; б) – діаметр якоря

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що однозначного рішення задачі оптимізації геометричних розмірів запропонованих лінійних електродвигунів для всіх стрілочних переводів не існує, а тому подальші дослідження і розробки виконано для стрілки з маркою рейки Р65.

Третій розділ присвячено розробці математичної моделі електроприводу стрілочного переводу на базі ЛДЕМТ у вигляді системи диференціальних рівнянь та системи керування з дослідження режимів роботи запропонованого електроприводу.

Для отримання математичної моделі ЛДЕМТ, схема заміщення ЕМП якої наведена на рис. 5, обрано узагальнені механічні та електричні координати, які зведено в табл. 1, та застосовано рівняння Лагранжа

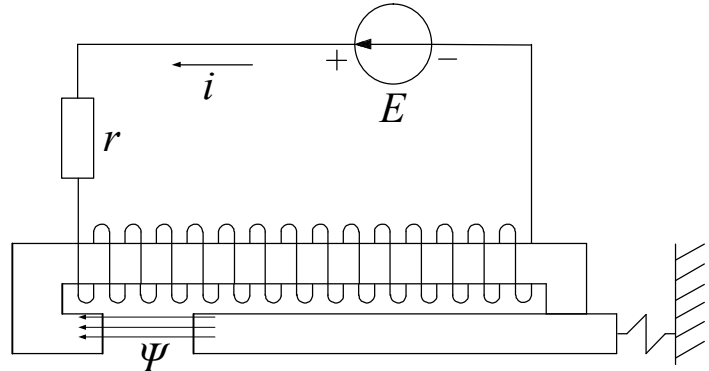


Рисунок 5 – Схема заміщення ЕМП

$$\frac{\partial L}{\partial q_k} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{q}_k} \right) + Q_k = 0, \quad (3)$$

де L – силова функція Лагранжа; F – функція втрат; Q_k – неконсервативні сили.

Таблиця 1 – Основні енергетичні координати ЛДЕМТ

Узагальнена координата	Механічна	Електрична
	$k = 1$	$k = 2$
q_k	x	q
q'_k	v	i
p_k	mv	Ψ
$-f_k$	0	0
Q_k	$F_C + 2F_{\text{ПР}}$	E

Після підстановки відповідних механічних та електричних енергетичних координат у вираз (3) отримано систему диференціальних рівнянь, які описують роботу ЛДЕМТ

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{1}{\frac{\partial \Psi(i, x)}{\partial i}} \cdot \left[E - ri - \frac{\partial \Psi(i, x)}{\partial x} \cdot v \right]; \\ \frac{dv}{dt} = \frac{F_{\text{ЕЛ}}(i, x) + 2F_{\text{ПР}} - F_{\text{ОП}}(x)}{m}; \\ \frac{dx}{dt} = v, \end{cases} \quad (4)$$

де Ψ – магнітний потік обмотки електродвигуна; i – струм обмотки; r – активний опір обмотки; x – переміщення якоря; v – швидкість руху якоря; E – напруга джерела живлення; m – маса якоря; $F_{\text{ЕЛ}}$ – сила електродвигуна; $F_{\text{ПР}}$ – сила пружини.

Для ідентифікації параметрів математичної моделі ЛДЕМТ встановлено залежності між потокозчепленням, з одного боку, та узагальненими координатами і їх похідними з іншого боку. Для отримання значень потокозчеплення

проведено розрахунок магнітного поля ЛДЕМТ в двовимірній постановці з використанням методу кінцевих елементів для плоскопаралельної задачі за допомогою програмного комплексу FEMM. На рис. 6 показано схему замикання магнітних ліній в ЛДЕМТ при зазорі 10 мм і номінальному струмі в обмотці.

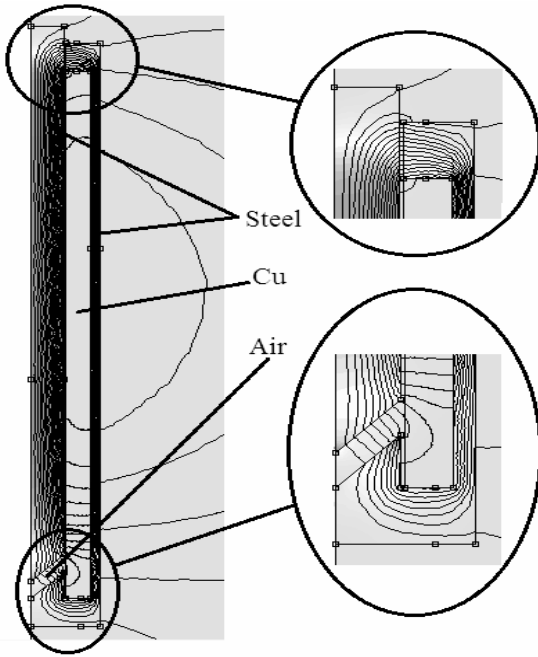


Рисунок 6 – Розподіл магнітного поля в ЛДЕМТ

Граничними областями розрахунку є положення якоря від 152 до 0 мм. Для отримання безперервних залежностей поточкозчеплення та електромагнітної сили результати цифрового моделювання апроксимовано статичними функціями на основі поліномів Чебишева. При цьому максимальне абсолютне відхилення не перевищує 2%, а середньоквадратичне – 1,5%.

На підставі диференціальних рівнянь (4) і отриманих в результаті апроксимації безперервних залежностей поточкозчеплення і електромагнітної сили побудовано структурну схему електроприводу з ЛДЕМТ, яка представлена на рис. 7.

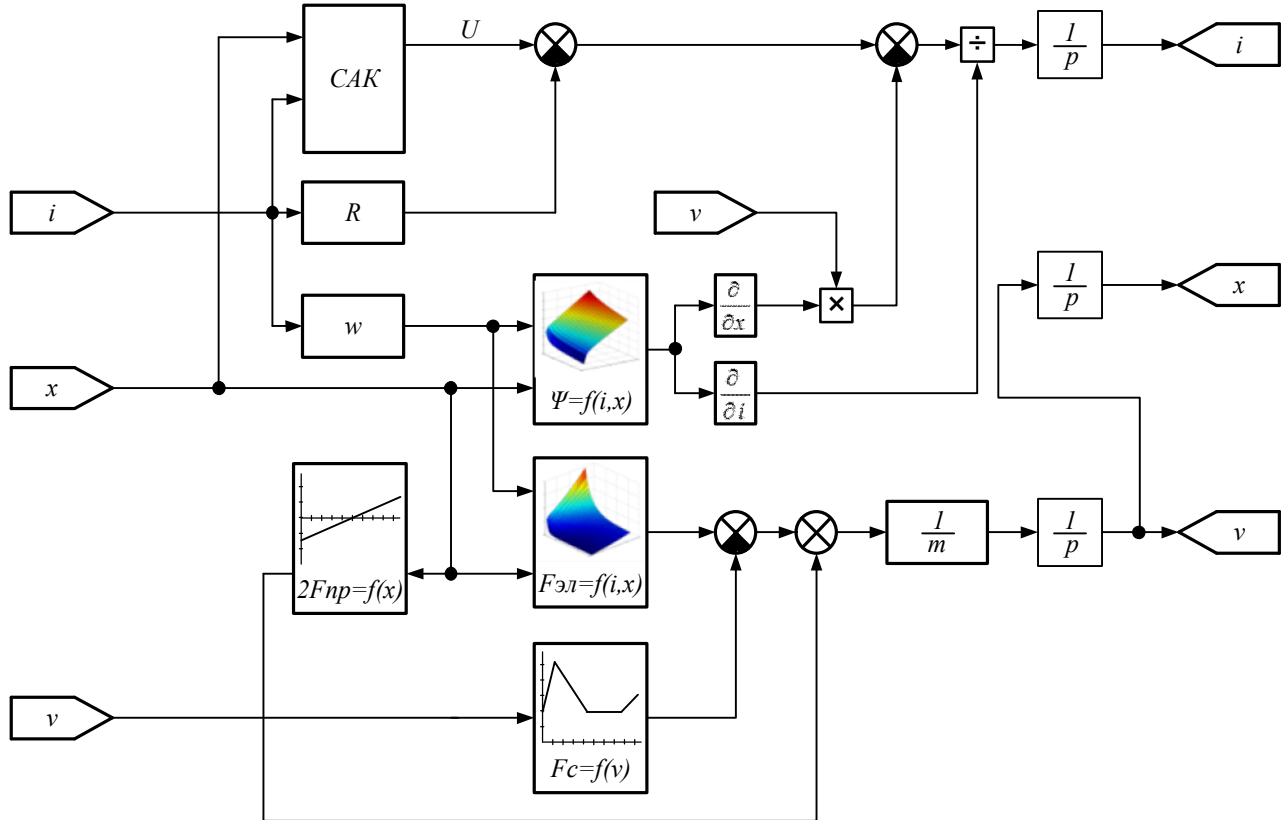


Рисунок 7 – Структурна схема електроприводу з ЛДЕМТ

САК синтезовано на основі нейрорегулятора (НК) і представлено в вигляді функціональної схеми на рис. 8. Штучна нейронна мережа має три вхідні сигнали: U_3 – сигнал завдання на переміщення ЛДЕМТ; x_i – поточне положення якоря, отримане від датчика положення ДП; x_{i-1} – попереднє положення якоря, та один вихідний, яким є керуючий вплив на вході широтно-імпульсного перетворювача. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що для ефективної роботи СП з ЛДЕМТ достатньо використовувати НК з одним внутрішнім шаром з десятьма нейронами, тобто персептрон виду 3-10-1. В якості активаційної використано кусочно-лінійну функцію з обмеженнями.

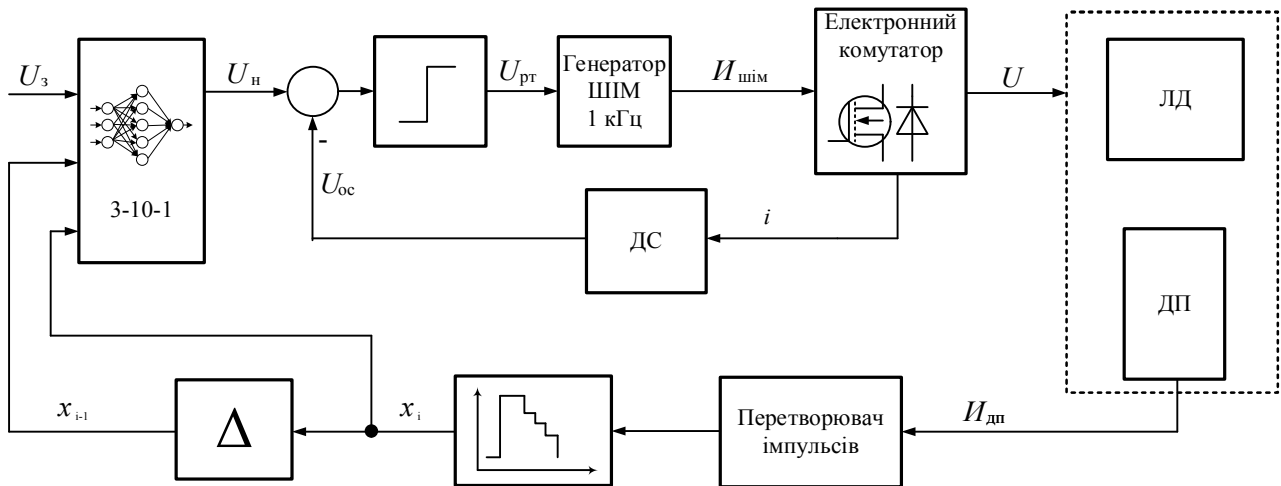


Рисунок 8 – Функціональна схема САК ЛДЕМТ з НК

Функція захисту по струму реалізована за допомогою релейного елемента, що обмежує його максимальне значення, керуючись показаннями датчика струму ДС. Датчик положення ДП формує вхідні сигнали персептрона.

Для дослідження роботи приводу СП моношпального типу на базі ЛДЕМТ з використанням синтезованої системи нейронного керування створено його узагальнену імітаційну модель, яка дозволила отримати діаграми фазного струму двигуна, розподілу електромагнітної сили, тягового зусилля на гостриках та швидкості перевodu (рис. 9-11).

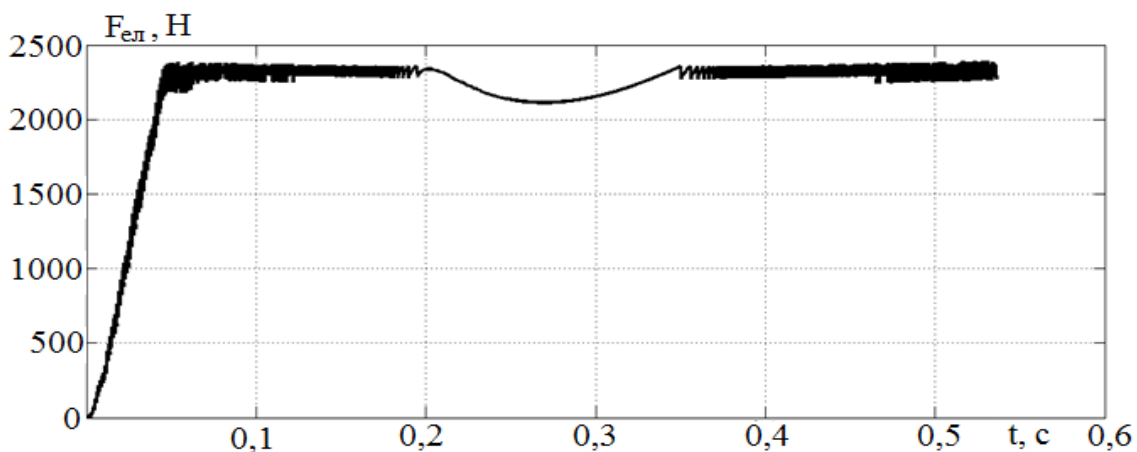


Рисунок 9 – Характеристика електромагнітної сили ЛДЕМТ при роботі СП

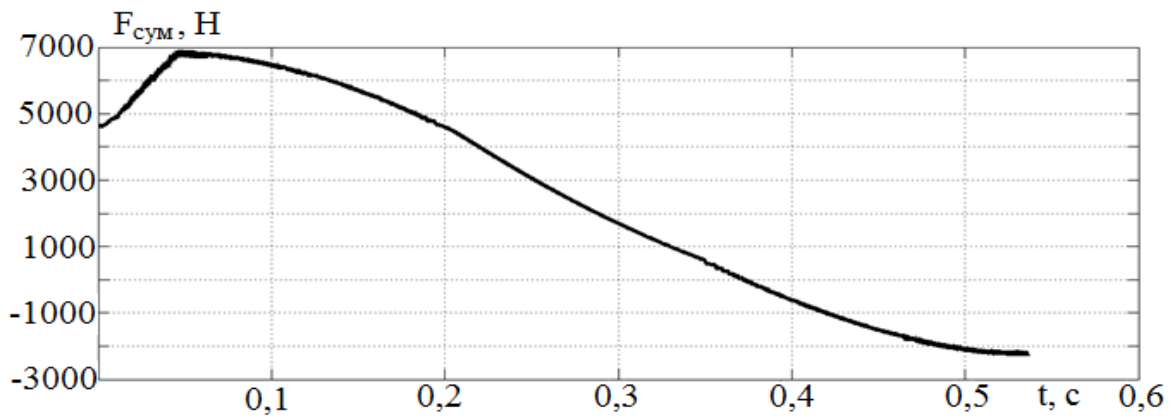


Рисунок 10 – Характеристика тягового зусилля на гостряках СП

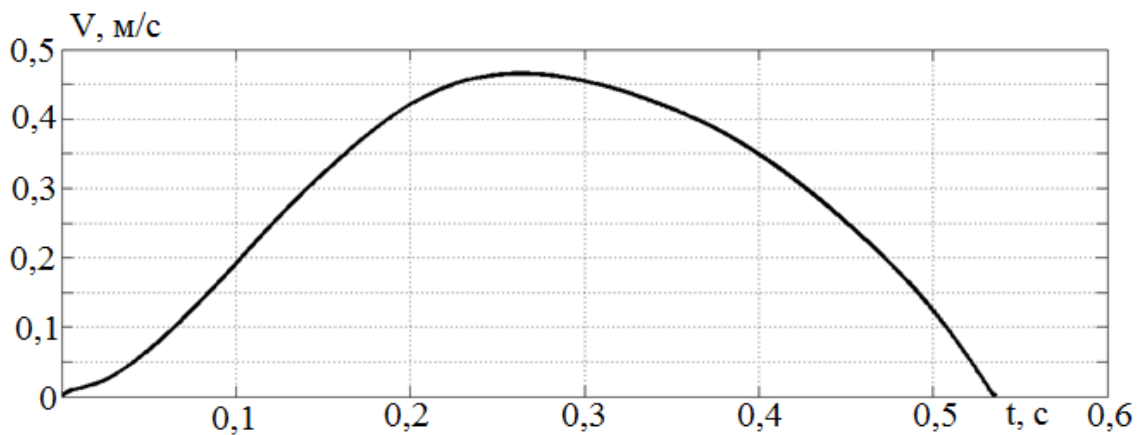


Рисунок 11 – Характеристика швидкості руху гостряків СП

Під час переведення стрілки регулятор струму обмежує його значення на рівні 5 А, при цьому значення електромагнітної сили ЛДЕМТ (рис. 9) не перевищує значення 2,5 кН, що в сумі з силою пружини на початку переходу дозволило досягти значення в 7 кН (рис. 10). Діаграма швидкості руху гостряків (рис. 11) доводить, що реалізовано безударний довід гостряків до рамних рейок (швидкість руху гостряків в кінці переходу прямує до 0). Отримані графіки підтверджують, що створений регульований привід на базі ЛДЕМТ забезпечує необхідний час переходу в межах 0,7 с.

У **четвертому розділі** проведено математичний опис чотирифазного ЛД, а також синтезовано систему керування електроприводом.

Розрахункова схема ЛД в поздовжньому розрізі показана на рис. 12.

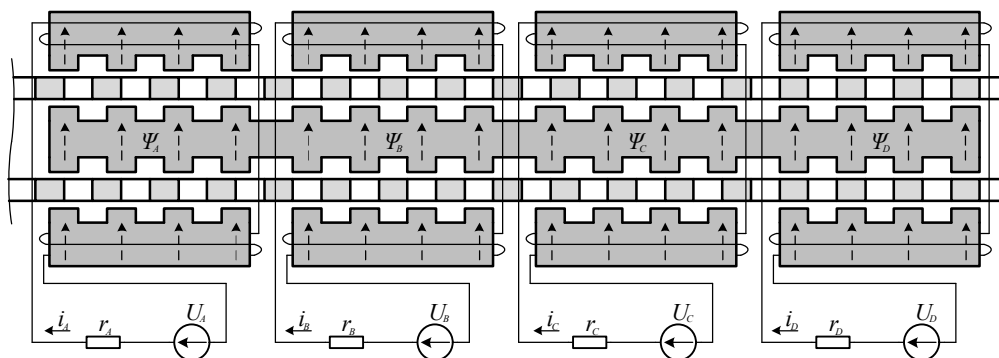


Рисунок 12 – Розрахункова схема чотирифазного ЛД

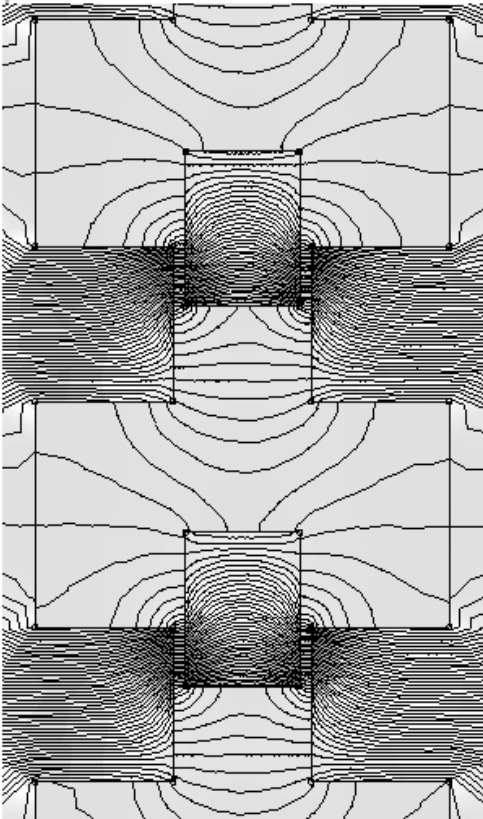


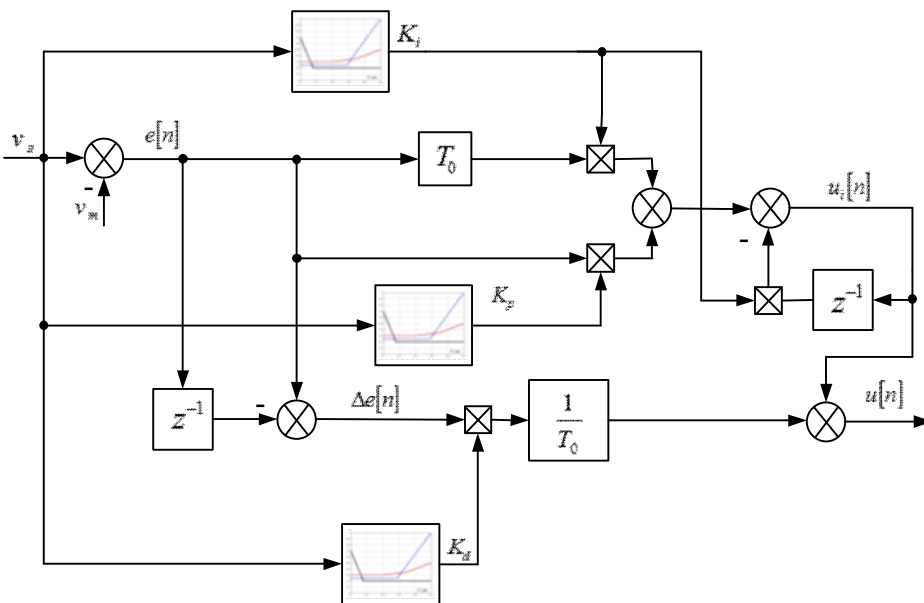
Рисунок 14 – Схема розподілення магнітного поля в зубцях статора

Аналогічно методиці з використанням рівняння Лагранжа (3) отримано систему диференціальних рівнянь для ЛД

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_A}{dt} &= \frac{1}{\frac{\partial \Psi_A(i_A, x)}{\partial i_A}} \left(U_A - r_A i_A - \frac{\partial \Psi_A(i_A, x)}{\partial x} v \right); \\ \frac{di_B}{dt} &= \frac{1}{\frac{\partial \Psi_B(i_B, x)}{\partial i_B}} \left(U_B - r_B i_B - \frac{\partial \Psi_B(i_B, x)}{\partial x} v \right); \\ \frac{di_C}{dt} &= \frac{1}{\frac{\partial \Psi_C(i_C, x)}{\partial i_C}} \left(U_C - r_C i_C - \frac{\partial \Psi_C(i_C, x)}{\partial x} v \right); \\ \frac{di_D}{dt} &= \frac{1}{\frac{\partial \Psi_D(i_D, x)}{\partial i_D}} \left(U_D - r_D i_D - \frac{\partial \Psi_D(i_D, x)}{\partial x} v \right); \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{F_{EM}(i_A, i_B, i_C, i_D, x) - F_{оп}(x)}{m}; \\ \frac{dx}{dt} &= v, \end{aligned} \right. \quad (5)$$

де $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_D$ – магнітні потоки в обмотках електродвигуна; i_A, i_B, i_C, i_D – струм обмоток; r_A, r_B, r_C, r_D – активний опір обмоток; U_A, U_B, U_C, U_D – напруга на обмотках.

Для визначення потокозчеплення та електромагнітної сили проведено розрахунок магнітного поля ЛД з використанням програмного комплексу FEMM.



Розподіл магнітних ліній в зубцевій зоні при включеній фазі А наведено на рис. 14. Результати цифрового моделювання апроксимовано безперервними функціями методом поліномів Чебишева на множині рівновіддалених точок.

Для керування ЕП з ЛД синтезовано ПД-

Рисунок 15 – Структурна схема ПД-регулятора швидкості

регулятор швидкості, структурну схему якого представлено на рис. 15. При керуванні досліджуваним ЛІД, який є нелінійним об'єктом, коефіцієнти ПІД-регулятора є нелінійними функціями швидкості руху якоря, для визначення яких обрано метод Чина – Хронса – Ресвіка.

На рис. 16 представлено функціональну схему САК ЛІД, яка є двоконтурною системою підлеглого керування, де контур струму підпорядкований контуру швидкості.

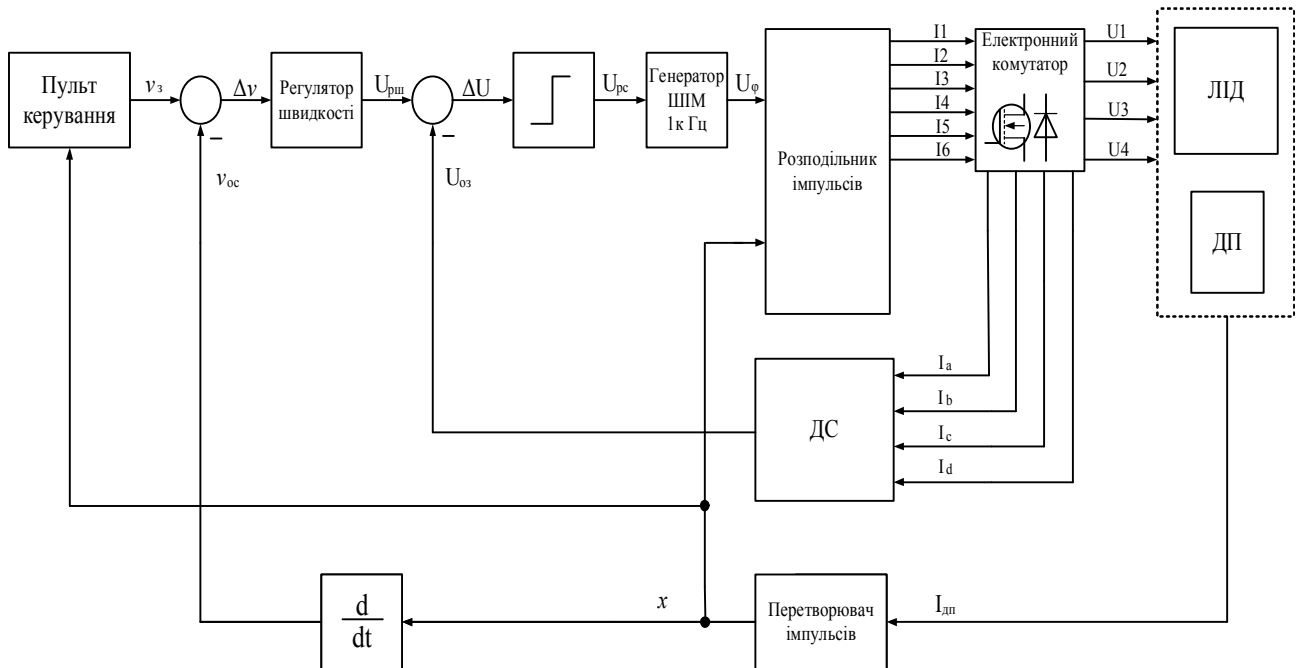
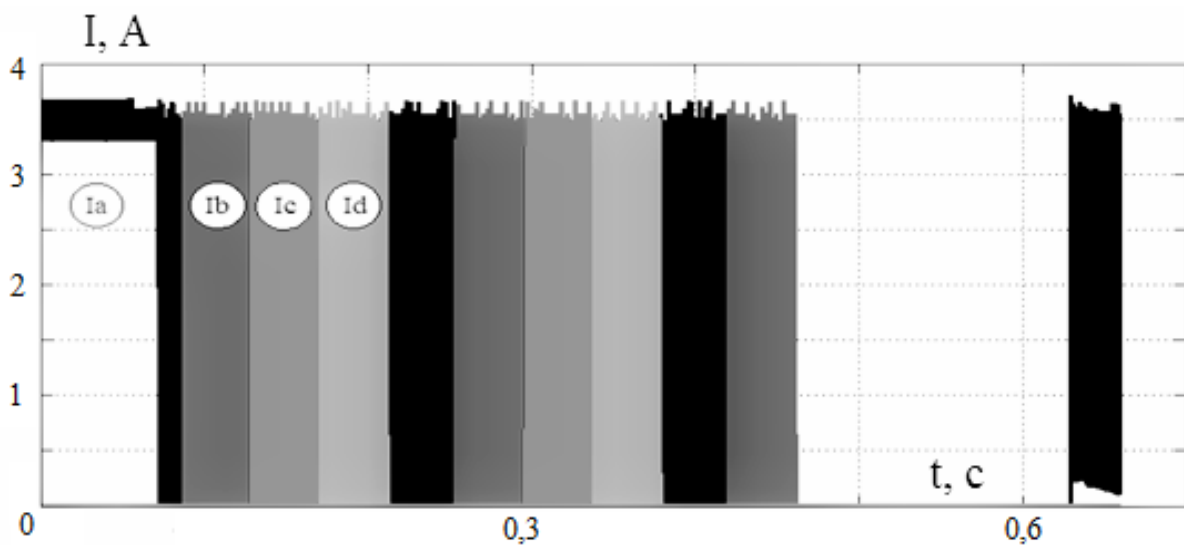
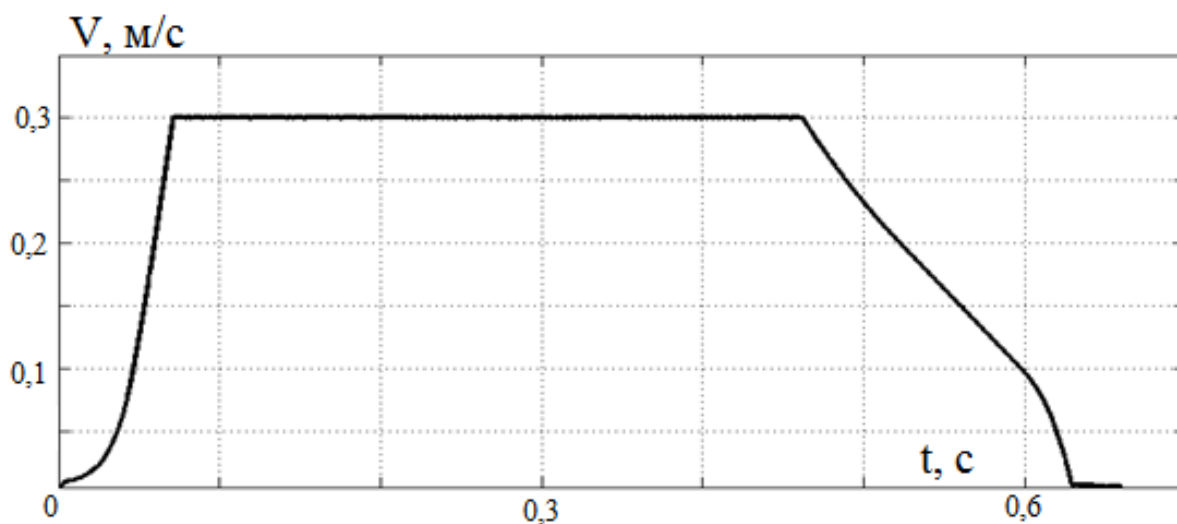


Рисунок 16 – Функціональна схема системи керування ЛІД

За допомогою імітаційної моделі СП отримано діаграми розподілу фазного струму двигуна (рис. 17), переміщення гостряків (рис. 19) та швидкості переміщення при заданій 0,3 м/с (рис. 18).



Рисунгк 17 – Діаграма струму ЛІД



Рисунгк 18 – Характеристика швидкості руху гостряків СП

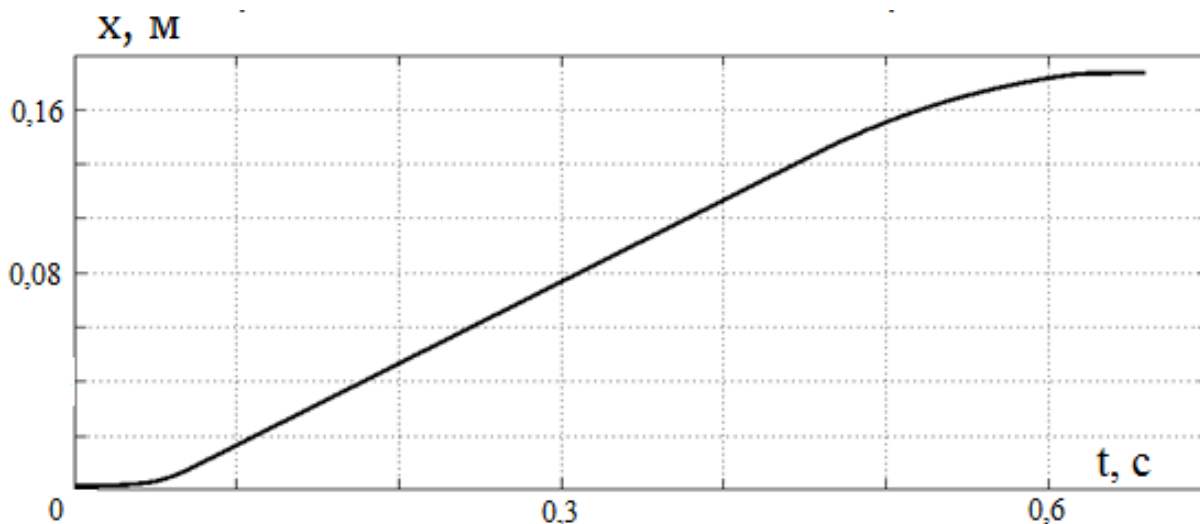


Рисунок 19 – Характеристика переміщення гостряків СП

Отримані результати підтверджують, що створена САК з електроприводом на базі ЛДД забезпечує необхідну якість процесу переводу з плавним доводом гостряків до рамної рейки та часом переводу в межах 0,7 с при номінальній швидкості роботи двигуна.

На відміну від ЛДЕМТ обмеження струму здійснювалося на рівні 3,5 А, при цьому значення електромагнітної сили ЛДД не перевищує 15 кН. На графіку переміщення гостряків видно, що ПД-регулятор підтримує швидкість руху гостряків на заданому рівні 0,3 м/с.

П'ятий розділ присвячено експериментальним дослідженням на діючому обладнанні, які спрямовано на синтез СК ЛДЕМТ, перевірку ефективності системи керування з НК, а також на вивчення специфіки роботи ЛД в електроприводі СП моношпального типу.

Із застосуванням викладених вище методів оптимізації створено дослідний зразок ЛДЕМТ в якості об'єкта керування в масштабі 1:2 (рис. 20). Розроблено стенд для дослідження роботи ЛДЕМТ (рис. 21), який включає в себе: лабораторний автотрансформатор типу ЛАТР-9А; трансформатор ПОБС-3А; ос-

цилограф RIGOL DS1052E; динамометр ДПУ-0,01-2; прилад Ц4352-М1; джерело живлення ІПС-1; мультиметр цифровий MASTECH MS8050.

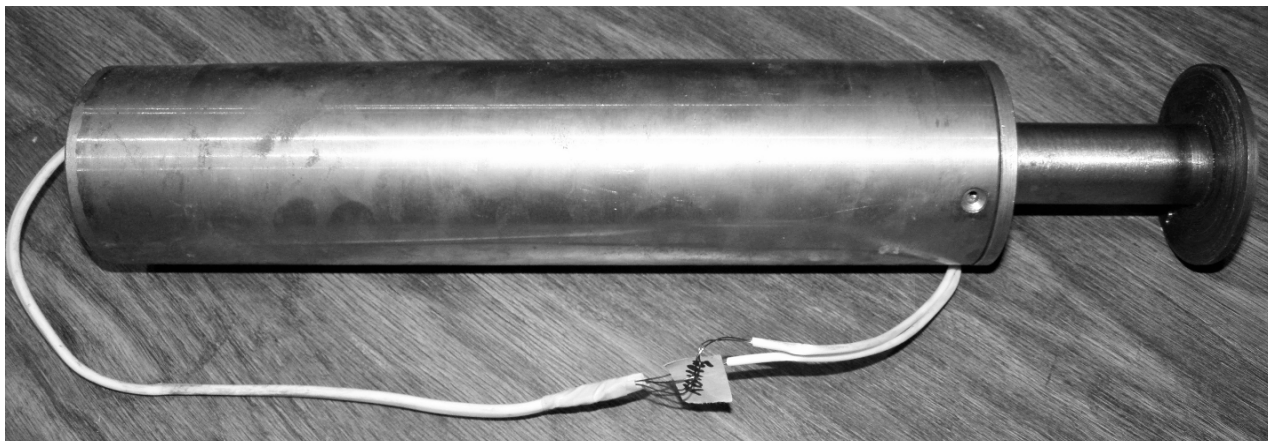


Рисунок 20 – Загальний вигляд дослідного ЛДЕМТ

При проведенні випробувань використаний динамометр, що дозволило створювати та вимірювати навантаження для ЛДЕМТ. Динамометр з'єднувався з двигуном через важільну передачу з можливістю зміни величини плеча. Частота ШІМ становила 1 кГц.

В результаті проведення експериментів отримано сімейство тягових характеристик. Результати порівняльного аналізу адекватності математичної моделі зведено в табл. 2.

Найбільші розбіжності в значеннях між характеристиками, які отримано в результаті математичного моделювання та в результаті експерименту, спостерігаються при ШІМ на рівні 50%, а найменші – при номінальній напрузі. Також спостерігається збільшення помилки зі зменшенням електромагнітної сили, що свідчить про наявність похибок вимірювань.



Рисунок 21 – Загальний вигляд робочого місця

Таблиця 2 – Результати аналізу адекватності математичної моделі ЛДЕМТ згідно тягових характеристик

Величина зазору, мм	Експериментальні значення, Н	Обчислені значення, Н	Відхилення, %
Величина ШІМ – 50 %			
4,3	61	62,7237	2,75
7,9	19	18,6203	2,04
9,7	13	12,3611	5,17
Величина ШІМ – 70 %			
5,9	63	64,8902	2,91
7,4	42	41,8928	0,25
13,6	13	12,1307	7,17
Величина ШІМ – 100 %			
6,9	84	81,9041	2,56
11,9	27	27,5365	1,95
19,1	11	10,6891	2,91

За допомогою цифрового осцилографа отримано перехідну характеристику струму в обмотці ЛДЕМТ (рис. 22). Вимірювання струму проводилися на шунті опором 47 мОм, який включено послідовно обмотці ЛД.

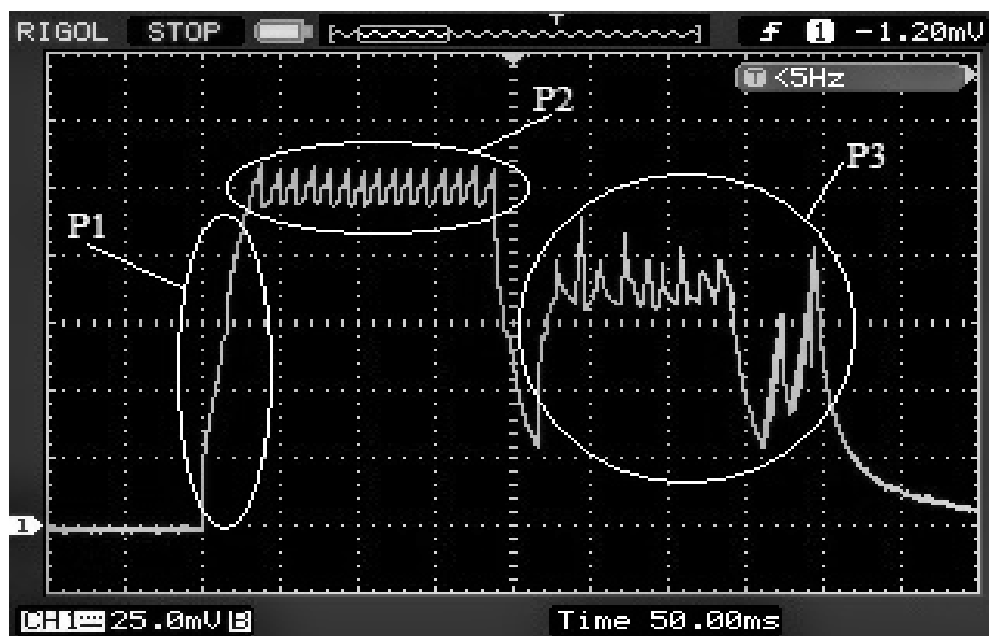


Рисунок 22 – Осцилограма струму в обмотці

На осцилограмі виділено три режими роботи приводу: P1 – розгін; P2 – підтримання номінальної швидкості руху гостряків; P3 – гальмування і плавний довід гостряків до рамної рейки.

На рис. 23, 24 наведено графіки переміщень і швидкості, які

отримано в результаті експериментальних досліджень.

На рис. 23 виділено три часові інтервали, що відповідають трьом режимам P1, P2 і P3 на осцилограмі струму в обмотці ЛДЕМТ.

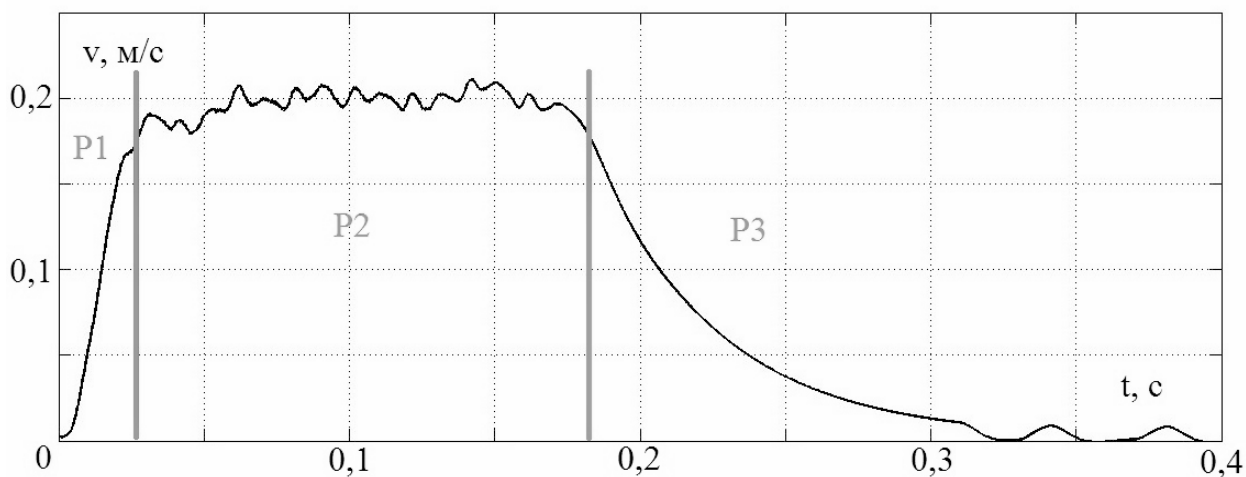


Рисунок 23 – Осцилограма швидкості руху якоря

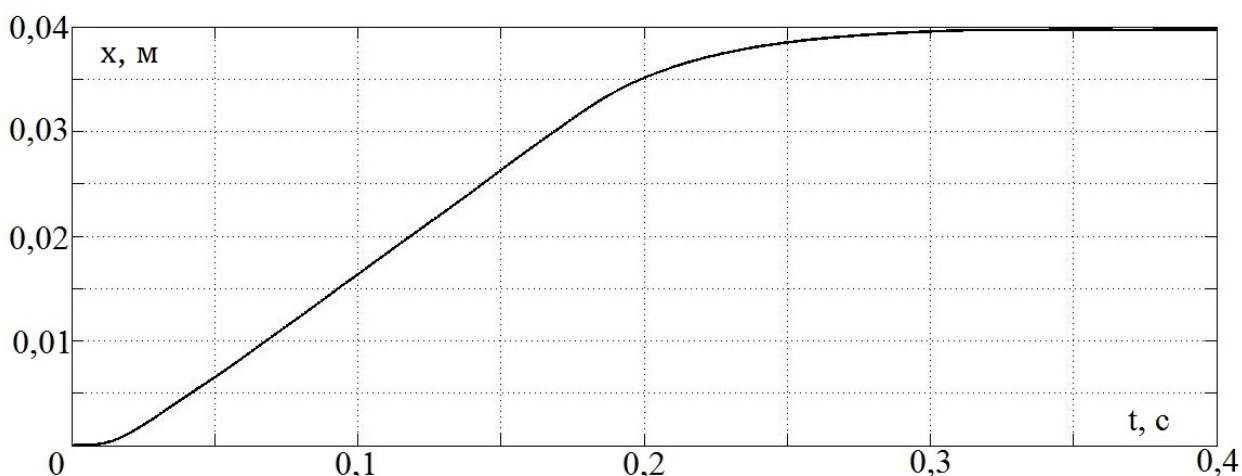


Рисунок 24 – Осцилограма переміщення якоря

Результати показали, що практична реалізація НК дозволяє підтримувати номінальну (задану в процесі навчання) швидкість руху якоря (0,2 м/с), здійснити безударний довід гостряків (швидкість руху гостряків в кінці переводу прямує до 0) і забезпечити час переводу до 0,4 с. Розрахунковий час переводу співпадає з експериментальним. При цьому сила струму дорівнює 2,7 А, а сила в кінці переводу не перевищила величину 5 Н, що підтверджує працездатність системи.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи вирішена науково-практична задача вдосконалення мікропроцесорної системи автоматичного керування безредукторним регульованим електроприводом стрілочного переводу моношпального типу на базі лінійного двигуна для зменшення часу переводу стрілки та отримання заданого закону керування рухом гостряків. Перевагою запропонованої системи є застосування мікропроцесорної техніки, що дозволяє контролювати положення гостряків, здійснити безударний довід стрілки, захис-

тити елементи електродвигуна від пошкодження, а також здійснити реверс при потраплянні сторонніх предметів між гостряком та рамною рейкою.

1. Розроблено і реалізовано систему автоматичного керування СП для двох типів двигунів, що дозволяє здійснювати процес переводу з плавним доводом гостряків до рамної рейки, захистити двигун від перевантажень, а також контролювати положення гостряків.

2. Розроблено конструктивне рішення для стрілочного переводу моношпального типу з використанням двох типів лінійних машин. Розроблено методику ідентифікації параметрів електроприводу стрілочного переводу на базі двох лінійних ЕМП енергії, що дозволило вирішити наступні задачі: виконано розрахунок конструкцій лінійних ЕМП і електроприводу СП; здійснено умовну оптимізацію геометричних розмірів ЕМП; проведено порівняльний аналіз отриманих результатів для запропонованих типів лінійного електродвигуна.

3. Синтезовано нейрорегулятор положення для електроприводу з двигуном електромагнітного типу та ПД-регулятор швидкості для електроприводу з індукторним електродвигуном та проведено оцінку якості їх роботи. Розроблено методику визначення параметрів системи керування шпальним стрілочним переводом з лінійними двигунами двох типів, що дозволяє реалізувати сучасні вимоги до стрілочних електроприводів магістралей швидкісного транспорту за рахунок зменшення часу переводу.

4. Створено математичну модель ЕП СП моношпального типу, для чого вирішено наступні завдання: розроблено математичні моделі САК електроприводів СП на базі двох лінійних ЕМП енергії; створено математичний опис електроприводу СП; побудовано математичні моделі ЛДЕМТ та ЛІД, що дозволило отримати динамічні характеристики роботи електроприводів.

5. Розроблено дослідний зразок лінійного електродвигуна в масштабі 1:2, проведено порівняльний аналіз результатів цифрового моделювання з фізичним експериментом, що дозволило довести адекватність створеної імітаційної моделі.

6. Реалізовано мікропроцесорну САК на базі сигнального контролера та проведено лабораторні випробування, які підтвердили працездатність як системи, так і об'єкта керування, показали можливість зменшення часу переводу з 3-5 с до 0,7 с, забезпечення безударного доводу гостряків до рамної рейки, а також використання запропонованого стрілочного переводу на станціях зі швидкісним рухом поїздів.

7. Теоретичні результати досліджень впроваджено у ТОВ НКП «Укр-трансигнал», а також у навчальні процеси Українського державного університету залізничного транспорту та НТУ «ХПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маслий Ан. С. Оптимизация системы управления вентиляционно-индукторного двигателя для стрелочного перевода / С. Г. Буряковский, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий, А. В. Шевкунова // Вестник

Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов-На-Дону : РГУПС, 2013. – № 2. – С. 61-67.

Здобувач запропонував шляхи та методи вирішення задачі оптимізації.

2. Маслий Ан. С. Разработка электропривода стрелочного перевода с вентильно-индукторным электродвигателем и исследование на математической модели режимов его работы / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий, А. Д. Петрушин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 36. – С. 198-201.

Здобувач дослідив роботу електроприводу на математичній моделі та провів аналіз отриманих результатів.

3. Маслий Ан. С. Разработка и исследование системы управления вентильно-индукторным электродвигателем / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий, Б. Г. Любарский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – № 5 (102). – С. 68-74.

Здобувач провів аналіз можливих варіантів реалізації системи керування електродвигуном.

4. Маслий Ан. С. Синтез регуляторов скорости вентильно-индукторного электропривода стрелочного перевода / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДАЗТ, 2014. – № 1 (104). – С. 31-40.

Здобувач провів синтезу регулятора швидкості.

5. Маслий Ан. С. Вентильно-индукторный электропривод стрелочного перевода моношпального типа / С. Г. Буряковский, В. В. Захарченко, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса : ОНПУ, 2014. – № 15 (91). – С. 148-150.

Здобувач отримав експериментальні результати роботи системи автоматичного керування вентильно-індукторним електроприводом.

6. Маслий Ан. С. Расчет тяговой характеристики линейного двигателя для стрелочного перевода / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий, Б. Г. Любарский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДАЗТ, 2015. – № 1(110). – С. 83-87.

Здобувачем запропоновано конфігурацію лінійного двигуна електромагнітного типу.

7. Masliy An. Mathematical modeling of the electricdrive turnouts based on a linear motor / S. Buryakovskiy, B. Lyubarskiy, Ar. Masliy, An. Masliy // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса : ОНПУ, 2015. – № 19 (95). – С. 75-78.

Здобувач провів аналіз результатів математичного моделювання.

8. Маслий Ан. С. Исследование работы электропривода стрелочного перевода на базе линейного двигателя / С. Г. Буряковский, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 12 (1121). – С. 209-213.

Здобувач провів аналіз результатів роботи електроприводу стрілочного переводу при різних навантаженнях.

9. Маслий Ан. С. Математическая модель работы электропривода стрелочного перевода на базе линейного двигателя / С. Г. Буряковский, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – № 3 (112). – С. 59-65.

Здобувач створив математичну модель механічної частини стрілочного переводу в програмному середовищі MATLAB.

10. Masliy An. Determining parameters of electric drive of a sleeper-type turnout based on electromagnet and linear inductor electric motor / S. Buriakovskiy, An. Masliy, Ar. Masliy // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 4/1 (82). – С. 32-41.

Здобувач розв'язав запропоновані задачі оптимізації.

11. Маслий Ан. С. Исследование адекватности математической модели вентильно-индукторного двигателя / Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 54-60.

Здобувач запропонував і розробив методіку оцінки адекватності математичної моделі.

12. Маслий Ан. С. Разработка и исследование системы управления вентильно-реактивным электродвигателем / С. Г. Буряковский, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – Вип. 36. – С. 195-197.

Здобувач розробив основи методіки для побудови математичної моделі двигуна та запропонував загальну форму математичної моделі.

13. Маслий А. С. Разработка нейрорегулятора для системы автоматического управления стрелочным переводом на базе линейного двигателя электромагнитного типа / А. С. Маслий // Електрифікація транспорту. – Дніпро : ДНУЗТ, 2017. – Вип. 13. – С. 92-98.

Здобувач розробив та розрахував параметри нейронного регулятора положення для системи керування.

14. Пат. 95497 Україна. МПК (2015.01) B61L 5/00. Электропривід стрілочного переводу / С. Г. Буряковський, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій. – № u201407676 заявл. 08.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.

Здобувач розробив алгоритм роботи системи автоматичного керування.

15. Пат. 109159 Україна. МПК (2015.01) B61L 5/00, VL61 7/06 (2006.01). Безредукторний електропривід стрілочного переводу шпального типу / С. Г. Буряковський, Б. Г. Любарський, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій. – № u201602492 заявл. 14.03.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

Здобувач ідентифікував параметри електроприводу з лінійним електродвигуном.

16. Маслий Ан. С. Перспективы модернизации электроприводов стрелочных переводов / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук : КрНУ, 2013. – № 2 (22). – С. 124-127.

Здобувач провів аналіз існуючих електроприводів вітчизняних та закордонних стрілочних переводів.

17. Маслій Ан. С. Расчет и оптимизация геометрических размеров линейного привода стрелочного перевода моношпального типа / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій // Проблеми енергоресурсобереження в електротехнічних системах. – Кременчук : КрНУ, 2015. – № 1 (3). – С. 65-67.

Здобувач провів оптимізацію розмірів лінійного двигуна різними методами оптимізації.

18. Маслій Ан. С. Математическое описание линейного электродвигателя индукторного типа для стрелочного перевода / С. Г. Буряковский, Н. П. Карпенко, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. – Кременчук : КрНУ, 2016. – № 1 (4). – С. 258-260.

Здобувач зробив опис математичної моделі лінійного двигуна.

19. Маслій Ан. С. Оптимізація геометричних розмірів лінійного двигуна для шпального стрілочного переводу / С. Г. Буряковський, А. С. Маслій // Тези 77-ї науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків : УкрДАЗТ, 2015. – № 151. – С. 86.

Здобувач провів оптимізацію геометричних розмірів різними методами.

20. Маслій Ан. С. Электропривод стрелочного перевода моношпального типа на базе линейного электродвигателя / С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій // Тезисы VI Международной конференции «Энергобережения на железнодорожном транспорте та в промисловості». – Воловець : ДНУЗТ, 2015. – С. 33-34.

Здобувач провів аналіз розрахунків конструкції стрілочного переводу шпального типу у з лінійним двигуном.

21. Маслій Ан. С. Определение параметров линейного привода стрелочного перевода / С. Г. Буряковский, Б. Г. Любарский, Ар. С. Маслій, Ан. С. Маслій // Труды Международной научно-практической конференции «Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи». – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. – С. 85-90.

Здобувач визначив параметри лінійного електродвигуна стрілочного переводу.

АНОТАЦІЇ

Маслій А. С. Структурний та параметричний синтез систем автоматичного керування лінійними електродвигунами моношпального стрілочного переводу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичної задачі вдосконалення мікропроцесорної системи автоматичного керування безредукторним регульованим електроприводом стрілочного переводу моношпального типу на ба-

зі лінійного двигуна для отримання заданого закону керування рухом гостряків та зменшення часу перевodu стрілки.

Стрілочний перевід є основним виконавчим елементом систем залізничної автоматики. Системи, розроблені в 70-80 роках минулого століття, в багаторічній практиці роботи показали себе з позитивного боку, але на сьогоднішній день вони не можуть впоратися з новими проблемами, функціями і завданнями. Вирішення цього завдання вимагає застосування нових двигунів, а також створення спеціалізованих систем автоматичного керування.

Крім того, розвиток мікросхемотехніки дає можливість створення мікропроцесорних систем керування, а також розширення функціональних можливостей приводу, використання безконтактних датчиків нового покоління, застосування електронної перетворювальної техніки, захисту двигуна під час перевodu без використання фрикційного зчеплення.

У дисертаційній роботі розроблено математичну модель стрілочного перевodu з урахуванням характеристики навантаження. Ідентифіковано параметри лінійних двигунів для стрілочного перевodu з урахуванням габаритів шпали. Обґрунтовано рекомендації щодо зміни конструкції стрілочного перевodu, а саме – повний перехід до поступального руху, що дозволяє значно знизити коливальний процес в кінематичній лінії. Синтезовано ПД-регулятор швидкості для індукторної лінійної машини методом Чина – Хронса – Ресвіка, а також нейронний регулятор положення для машини електромагнітного типу методами генетичних алгоритмів. Це дозволило поліпшити динаміку роботи електроприводу стрілочного перевodu в різних режимах та захистити елементи електродвигуна від пошкодження.

У розробленому макетному зразку реалізовано запропоновані алгоритми управління електроприводом стрілочного перевodu моношпального типу.

Ключові слова: система автоматичного керування, стрілочний перевід, лінійний електродвигун, умовна оптимізація, генетичні алгоритми, нейрорегулятор.

Маслий А. С. Структурный и параметрический синтез систем автоматического управления линейными электродвигателями моношпального стрелочного перевода. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи совершенствования микропроцессорной системы автоматического управления безредукторным регулируемым электроприводом стрелочного перевода моношпального типа на базе линейного двигателя для получения заданного закона управления движением острия и уменьшения времени перевода стрелки.

Стрелочный перевод является основным исполнительным элементом систем железнодорожной автоматики. Основные конструктивные и технические решения эксплуатируемых в настоящее время основных железнодорожных

электроприводов и схем управления были разработаны в 70-80 годах прошлого века на основе существующей тогда элементной базы. Эти системы в многолетней практике работы показали себя с положительной стороны, но на сегодняшний день они не могут справиться с новыми проблемами, функциями и задачами. В виду развития полупроводниковой техники назрела необходимость создания современного стрелочного перевода. Решение этой задачи требует применения новых двигателей (объектов управления), а также создание специализированных систем автоматического управления с возможностью интеграции исполнительных устройств железнодорожного транспорта в современные микропроцессорные системы централизации.

Кроме того, развитие микросхемотехники дает возможность создания микропроцессорных систем управления, а также расширение функциональных возможностей привода, использование бесконтактных датчиков нового поколения, применение электронной преобразовательной техники, защиты двигателя при переводе без использования фрикционного сцепления.

В диссертационной работе разработана математическая модель стрелочного перевода с учетом характеристики нагрузки. Идентифицированы параметры линейных двигателей для стрелочного перевода с учетом габаритов шпалы. Обоснованы рекомендации по изменению конструкции стрелочного перевода, а именно – полный переход к поступательному движению, что позволяет значительно снизить колебательный процесс в кинематической линии. Синтезирован ПИД-регулятор скорости для индукторной линейной машины методом Чина – Хронса – Ресвика, а также нейронный регулятор положения для машины электромагнитного типа методами генетических алгоритмов. Это позволило улучшить динамику работы электропривода стрелочного перевода в различных режимах и защитить элементы электродвигателя от повреждения.

В разработанном макетном образце реализованы предложенные алгоритмы управления электроприводом стрелочного перевода моношпального типа. Испытания системы автоматического управления показали возможность уменьшения времени перевода до 0,7 с, а также обеспечения безударного довода остряка к рамному рельсу.

Ключевые слова: система автоматического управления, стрелочный перевод, линейный электродвигатель, условная оптимизация, генетические алгоритмы, нейрорегулятор.

Maslii A. S. Structural and parametric synthesis of automatic control systems for linear motors of a sleeper-type turnout. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of engineering science on speciality 05.13.07 – automation of control processes. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to solving the problem of multipurpose synthesis of automatic control systems of a sleeper-type point machine based on two types of linear electric motors using various optimization methods and genetic control algorithms.

In the thesis a mathematical model of the point machine with the characteristic of the load is developed. The parameters of linear motors for the point machine are

identified taking into account the size of the sleepers. The recommendations for changing the switch design are justified, namely, a complete transition to the translational motion, which made it possible to significantly reduce the oscillatory process in the kinematic line. The PID speed controller for the inductor linear machine was synthesized by the Chien-Hrones-Reswick method. Also the neuron position controller for the electromagnetic-type machine was synthesized by genetic algorithm methods.

In the developed model prototype, the proposed algorithms for controlling the electric drive of the sleeper-type point machine are implemented. The tests of the automatic control system showed the possibility of reducing the transfer time to 0.7 seconds.

Keywords: automatic control system, turnout, linear electric motor, conditional optimization, genetic algorithms, neuro-regulator.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Підписано до друку 26.01.2018 р. Формат 60x90/16
Папір офсетний. Друк – цифровий. Ум. друк. арк. – 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. №18012501

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М. В., свідоцтво ВОН№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1, тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua