

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Буряковський Сергій Геннадійович

УДК 629.429.3:621.382.2/.3

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВІ ОСНОВИ ВИБОРУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ДЛЯ ШВИДКІСНИХ ТА ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



С.Г. Буряковський

Науковий консультант
Любарський Борис Григорович,
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Буряковський С.Г. Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09 «Електротранспорт» - Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України, Харків, 2017.

Дисертація присвячена створенню теоретичних основ вибору та оцінки типу електроприводів стрілочних переводів, що працюють в оптимальних режимах з урахуванням нелінійностей навантаження та електрофізичних властивостей двигунів, на основі рішення задачі мінімізації основних показників якості як: час переводу, величин імпульсу удару гостряка об рамну рейку, величина пружної сили в робочій тязі, а також величина загальних втрат в системі.

Запропоновано узагальнений векторний критерій ефективності роботи електроприводу стрілочного переводу, компонентами якого є час переводу, величини імпульсу удару гостряка, пружної сили, а також загальних втрат потужності системи за яким проведено оцінку придатності використання конкретного типу переводу для ділянок швидкісного та високошвидкісного руху.

Розглянуто існуючі кінематичні схеми у вигляді дво- і тримасових електромеханічних систем з типовими двигунами. Показано, що на даний момент в Україні використовуються електродвигуни двох типів - постійного струму послідовного збудження й асинхронний з короткозамкненим ротором. В експлуатації перебувають системи управління розімкненого типу, тобто без контролю за основними координатами електроприводу - струму, швидкості і положення. Тому в роботі запропоновані різні системи управління для електроприводів, що знаходяться в експлуатації, постійного і

змінного струму, які забезпечують більш високі показники якості процесу переводу гостряків за швидкістю, точності позиціонування і силі зіткнення об'єкту рейку.

Для електроприводів стрілочних переводів з двигуном постійного струму синтезовані багатоконтурні системи керування на основі системи підлеглого регулювання. Використано системи модального керування та системи зі спостерігачем стану.

Для електроприводів стрілочних переводів з асинхронним двигуном синтезовані багатоконтурні системи керування на основі скалярного та векторного законів управління.

Синтезовані та досліджені системи керування для вентильно-індукторного та лінійних двигунів на основі фази-логіки і нейроконтролера.

Проведено оцінку ефективності роботи синтезованих систем керування з усіма типами двигунів і різними засобами компоновки, а також надано рекомендації щодо доцільності їх застосування.

Розроблено математичні моделі для існуючих і перспективних типів стрілочних переводів на базі двигунів ротативних і лінійного типів, що засновані на рішенні рівняння Лагранжа для електромеханічної системи з урахуванням нелінійності магнітної системи.

В роботі запропоновано використовувати більш перспективну - шпальну компоновку приводу стрілочного переводу з новими типами електродвигунів. Розглянуто передачу типу «гвинт-гайка» для стрілочного переводу на основі вентильно-індукторного двигуна, а також наведено обґрунтування переходу від електроприводів ротаційного типу з механічними перетворювачами обертального руху в поступальний до електроприводів з лінійними двигунами. Електродвигуни даного типу, здійснюючи безпосереднє перетворення електромагнітної енергії в механічну поступального руху, дозволяють виключити ряд механічних ланок (різного роду редуктори, передачі, тяги) з кінематичної лінії, що підвищує надійність

системи, знижує загальні втрати і підвищує ефективність приводу стрілочного переводу.

Створені імітаційні моделі електроприводів стрілочних переводів в середовищі MATLAB SIMULINK на базі двигуна постійного струму, асинхронного двигуна, вентильно-індукторного двигуна, лінійного двигуна електромагнітного типу і лінійного індукторного двигуна. Проведена перевірка адекватності імітаційних моделей на фізичних моделях стрілочних переводів в масштабі 1: 2 з лінійним двигуном електромагнітного типу і вентильно-індукторним двигуном, а так само на діючому залізничному устаткуванні з асинхронним двигуном і двигуном постійного струму. Сформульовано задачу аналізу по визначенню раціональної структури електроприводу стрілочного переводу на основі двигуна постійного струму, асинхронного двигуна, вентильно-індукторного двигуна, лінійного двигуна електромагнітного типу і лінійного індукторного двигуна.

Ключові слова: електротранспорт, швидкісний та високошвидкісний рух, електромеханічні системи, колійна структура, стрілочний перевід, система керування, математична модель, критерій ефективності,

Buriakovskiy S. G. The scientific bases for the selection of electric drives of turnouts for rapid and high-speed railways – A manuscript.

Doctoral thesis, technical sciences, specialty 05.22.09 – "Electric transport." National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Kharkiv - 2017.

The dissertation is dedicated to develop of theoretical bases for the selection and evaluation of the types of electric drives of turnouts operating in optimal modes, taking into account the nonlinearities of the load and the electrophysical properties of the engines, on the basis of solving the problem of minimizing the main quality indicators such as: the transfer time , the value of the impulse of switch rail impact against a rail, the value of the elastic force in the working draft and the magnitude of the total losses in the system.

The universal vector criterion for the working efficiency of the electric drive of turnouts is proposed. Its components are the transfer time, the value of the impulse of switch rail impact against a rail, the value of the elastic force in the working draft and the magnitude of the total losses in the system. The assessment of the appropriateness of application a specific type of turnouts for rapid and high-speed traffic segments is made.

The kinematic schemes in the form of two- and three-mass electromechanical systems with standard engines are considered. Various control systems for the operated electric drives, which provide higher quality indicators for rapidity of the switching process of the switch rails, positioning accuracy and the impact force on the rail, are proposed. The railway sleeper layout of the turnout with new types of electric motors is suggested to applying.

The mathematical models for existing and prospective types of turnouts based on motors of rotational and linear types, which based on the solution of the Lagrange equation for electromechanical system taking into account the nonlinearity of the magnetic system, have been developed.

The simulation models of electric drives of turnouts in the software environment of MATLAB SIMULINK on the basis of a DC motor, an asynchronous motor, a valve-inductor motor, a linear motor of electromagnetic type and a linear inductor motor are developed. The adequacy verification on physical models was made. The problem of analysis for determining the rational structure of the electric drive of turnout based on DC motor, asynchronous motor, valve-inductor motor, linear motor of electromagnetic type and linear inductor motor is formulated.

Keywords: electric transport, rapid and high-speed traffic, electromechanical systems, track structure, turnout, control system, mathematical model, criterion of effectiveness

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Буряковский С.Г. Исследование динамических свойств электропривода стрелочного перевода с частотным управлением / С.Г. Буряковский, В.В. Смирнов, А.А. Рафальський // Вестник КДПУ, Кременчуг – 2007. – №4 (45). – С. 10-12.
2. Буряковський С.Г. Результати експлуатаційних випробувань системи керування електроприводом стрілочного переводу / С.Г. Буряковський, В.І. Мойсеєнко, В.В. Гаєвський, В.В. Смірнов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 30. – С. 324-325.
3. Буряковский С.Г. Исследование на математической модели электромеханической системы стрелочного перевода с учетом конструктивных особенностей / С.Г. Буряковский, В.В. Смирнов // Вестник КДПУ, Кременчуг. – 2009. – №4 (57). – С. 183-186.
4. Буряковський С.Г. Застосування керованого частотного електропривода в стрілочному переводі / С.Г. Буряковський, В.І. Мойсеєнко, В.В. Смірнов, Р.В. Семчук, Ф.О. Демченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків:УкрДАЗТ.– 2009. – № 4 – С. 105–108.
5. Буряковський С.Г. Дослідження роботи стрілкового електропривода з урахуванням характеристики навантаження / С.Г. Буряковський, В.В. Смірнов, І.В. Обруч // Електроінформ. – 2009. – 2. – С. 10.
6. Буряковский С.Г. Регулируемый стрелочный электропривод / С.Г. Буряковский, В.В. Смирнов // Локомотивинформ. – 2010. – №7. – С. 8-9.
7. Буряковский С.Г. Системы скалярного и нейросетевого управления электроприводом стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, И.В. Обруч, В.В. Смирнов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 28. – С. 574-576.
8. Буряковский С.Г. Математическое моделирование вентильно-индукторного двигателя для привода стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, А.С. Маслий, Б.Г. Любарский, А.Д. Петрушин // Электротехнические и компьютерные системы. – 2011 – № 3 – С. 157-158

9. Буряковский С.Г. Разработка алгоритмов управления электроприводом стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, С.П. Иглин, В.В. Смирнов, В.И. Моисеенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків: УкрДАЗТ.– 2012. – № 6 (97). – С. 3–8.

10. Буряковский С.Г. Интеграция программного обеспечения розгалуженных телекоммуникационных та інформаційно-керуючих систем / В.І. Мойсеєнко, С.Г. Буряковський // Збірник наукових праць ДонІЗТ – Донецьк: – 2012. – №29. – С. 5–11.

11. Буряковский С.Г. Математическая модель реактивного индукторного трехобмоточного электромеханического преобразователя / Б.Г. Любарский, С.Г. Буряковский, А.С. Маслий, Н.А. Гордеева // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. – № 20. – С. 95–104.

12. Буряковский С.Г. Применение нетрадиционных регуляторов скорости для улучшения динамических характеристик стрелочного железнодорожного перевода / Л.В. Акимов, С.Г. Буряковский, В.В. Смирнов // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. – №3. – С. 70 – 74.

13. Буряковский С.Г. Идентификация параметров математической модели вентильно-индукторного трехфазного двигателя непрерывными функциями на основе полиномов Чебышева на множестве равноудаленных точек / С.Г. Буряковский, А.С. Маслий, Б.Г. Любарский // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – № 3 – С. 605-606.

14. Буряковский С.Г. Улучшение динамики железнодорожного стрелочного перевода с частотно-регулируемым электроприводом при нестационарных режимах работы / Л.В. Акимов, С.Г. Буряковский, А.С. Маслий, В.В. Смирнов // Електротехнічні і комп'ютерні системи. – 2012. – №5 (81). – С. 22-30.

15. Буряковский С.Г. Математическое моделирование вентильно-индукторного привода для стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, Б.Г. Любарский, В.И. Моисеенко, Н.П. Карпенко, А.С. Маслий //

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків:УкрДАЗТ.– 2013. – № 1 (98) – С. 67–76.

16. Буряковский С.Г. Оптимизация системы управления вентильно-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. – 2013. – № 2. – С. 61–67.

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

18. Буряковский С.Г. Мікропроцесорне керування частотним перетворювачем / С.Г. Буряковский, А.О. Габінський // Збірник наукових праць УкрДАЗТ – Харків. – 2013. №141. – С. 212-215.

19. Буряковский С.Г. 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 // Вестник НТУ «ХПИ».– 2013. – №36 – С. 198- 201.

20. Буряковский С.Г. Скоростной подвижной состав требует модернизации стрелочных переводов / Д.В. Ломотько, С.Г. Буряковский, Ар.С. Маслий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків:УкрДАЗТ.– 2013. – № 4. – С. 95–96.

21. Буряковский С.Г. 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.

22. Буряковский С.Г. 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.

23. Буряковский С.Г. Вентильно-индукторный электропривод стрелочного перевода моношпального типа / С.Г. Буряковский, В.В. Захарченко, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 15 (91). – С. 148-150.

24. Buryakovskiy S.G. Energy-Efficient Electric Drive of Multifunctional Turnout / Y.I. Sokol, S.G. Buryakovskiy, Ar.S. Masliy // Problemy Kolejnictwa, Warszawa. – 2014. – Zeszyt 165. – P. 99-107.

25. Буряковский С.Г. 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.

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

27. BuryakovskiyS. Mathematical modeling of the electricdrive turnouts based on a linear motor / S. Buryakovskiy, B. Lyubarskiy, Ar. Masliy, An. Masliy // Electrotechnic and computer systems Science and Technical, Odessa. – 2015. – № 19 (95). – P. 75-78.

28. Буряковский С.Г. Исследование работы электропривода стрелочного перевода на базе линейного двигателя / С.Г. Буряковский, Б.Г. Любарский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2015.–№ 12 (1121). – С. 209-213

29. Буряковский С.Г. Математическая модель работы электропривода стрелочного перевода на базе линейного двигателя / С.Г. Буряковский, Б.Г. Любарский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий // Інформаційно-керуючі

системы на залізничному транспорті – Харків: УкрДАЗТ.– 2015. – № 3(112). – С. 59-65.

30. Буряковский С.Г. Использование модального регулятора в системе управления электродвигателем стрелочного перевода / С.Г. Буряковский // Збірник наукових праць УкрДУЗТ- Харків. – 2015. –№153. – С. 54-60.

31. Буряковский С.Г. Сравнение эффективности современных систем управления для привода постоянного тока стрелочного перевода / С.Г. Буряковский, А.А. Рафальский, В.В. Смирнов // Международный сборник научных трудов. Рынок транспортных услуг – Гомель: БГУТ. – 2015. – №. 8. – Часть 3. – С. 227-236.

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

33. Буряковский С.Г. Применение системы подчиненного регулирования положения остряков на базе эксплуатируемого стрелочного перевода постоянного тока / С.Г. Буряковский, Ар.С. Маслий, А.А. Рафальский, В.В. Смирнов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків:УкрДАЗТ.– 2016. – № 2(117). – С. 47–51.

34. Buriakovskiy S. Determining parameters of electric drive of a sleeper-type turnout based on electromagnet and linear inductor electric motor / S. Buriakovskiy, An. Masliy, Ar. Masliy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies and computer systems Engineering technological systems. – 2016. – № 4/1 (82). – P. 32-41.

35. Буряковский С.Г. Разработка системы управления вентильно-индукторного двигателя / С.Г. Буряковский, Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, Шахин Исам Хусейн // Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – № 4 (1), Том 1. – С. 10-13.

36. Буряковський С.Г. Регульований стрілочний перевід з двигуном постійного струму на базі мікропроцесорного тиристорного перетворювача / С.Г. Буряковський // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. – 2017. – №1 (41) – С. 55–58..

37. Буряковський С.Г. Електропривід стрілкового переводу. Патент України № 25058 / С.Г. Буряковський // Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25 липня 2007 р.

38. Буряковський С.Г. Електропривід стрілочного переводу. Патент України № 95497/ С.Г. Буряковський, Ар.С. Маслій, Ан.С. Маслій // Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25 грудня 2014 р.

39. Буряковський С.Г. Безредукторний електропривід стрілочного переводу шпального типу. Патент України № 109159 / С.Г. Буряковський, Б.Г. Любарський, Ар.С. Маслій, Ан.С. Маслій // Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10 серпня 2016 р.

40. Буряковський С.Г. Використання частотнокерованого асинхронного електроприводу для стрілочного переводу // Тези 10-й Міжнародною наукової конференції «Implementing of information systems in computerization and controlling transportation means Arabic and international participation», Сирія, м. Тартус. – 2006. – С. 7-9.

41. Буряковский С.Г. Модернизация стрелочных переводов постоянного тока путем применения частотно-управляемого асинхронного привода / С.Г. Буряковский, В.И. Моисеенко, В.В. Смирнов, А.А. Рафальський // Тез. докл. науч.-техн. конф. с межд. уч. «Проблемы автоматизированного электропривода», Днепродзержинск. – 2007. – № 7 – С. 338-339.

42. Буряковський С.Г. Векторні та скалярні системи керування асинхронним електроприводом стрілочного переводу // Тези 12-й Міжнародною наукової конференції «Implementing of information systems in

computerization and controlling transportation means Arabic and international participation», Сирія, м. Тартус. – 2008. – С. 35-37.

43. Буряковський С.Г. Модернізація системи керування стрілковим приводом з двигуном постійного струму / С.Г. Буряковський, В.І. Мойсеєнко, О.Ф. Майборода // Тези доповідей 20-й Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективныe системы контроля и управления на железнодорожном транспорте», Алушта – 2007. – №4. –С. 29.

44. Буряковский С.Г. Перспективныe системы управления железнодорожной автоматики / С.Г. Буряковский, В.И. Моисеенко, В.В. Смирнов // Тезисы XVI научно-технической конференции с международным участием «Проблемы автоматизированного электропривода», Львов. – 2009. – №7 . – С. 205-206.

45. Буряковський С.Г. 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. – 2015. – № 151. – С. 86.

46. Буряковский С.Г. Электропривод стрелочного перевода моношпального типа на базе линейного электродвигателя / С.Г. Буряковский, Ар.С. Маслий, Ан.С. Маслий // Тезисы VI Международной конференции «Энергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості», Воловець. – 2015. – С. 33-34.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	Ошибка! Закладка не определена.
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1 Класифікація, побудова та робота стрілочних переводів	
1.2 Стрілочні переводи залізниць	5
1.3 Електроприводи стрілочних переводів	46
1.4 СПорівняльний аналіз електроприводів стрілочних переводів та критерії їх оцінки	51
1.5 Мета і завдання дослідження	55
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПРИВІД СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ З ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	1
2.1 Вихідні положення	1
2.2. Математична модель електроприводу стрілочного переводу, як багатомасова електромеханічна система	3
2.3 Система керування і принципи її побудови	34
2.4 Математична і імітаційна моделі системи керування	45
2.5 Синтез системи модального керування положення гостряків	52
2.6 Синтез системи модального керування зі спостерігачем стану положення гостряків	66
2.7 Висновки по розділу	93
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПРИВІД СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ	1
3.1 Вихідні положення	1
3.2. Математична і імітаційна моделі	3
3.3. Скалярна та векторна системи керування	8
3.4. Процеси переводу гостряків зі скалярною та векторною системами керування в стаціонарному та нестаціонарному режимах	17
3.5 Система модального регулювання електроприводу	40

3.6 Синтез аналітичних залежностей оптимального керування методом регресійного аналізу.	51
3.7. Експериментальні дослідження	74
3.8 Висновки по розділу	79
РОЗДІЛ 4 ЕЛЕКТРОПРИВІД СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА	1
4.1 Вихідні положення.....	1
4.2. Математична і імітаційна моделі.....	3
4.3. Дослідження режимів роботи переводу.....	24
4.4. Електропривід стрілочного переводу шпального типу.....	37
4.5. Експериментальні дослідження	59
4.6 Висновки по розділу	72
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОПРИВІД СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ НА БАЗІ ЛІНІЙНИХ ДВИГУНІВ.....	1
5.1 Вихідні положення.....	1
5.2 Вибір типу і конструкції лінійного двигуна.....	2
5.3. Багатокритеріальна оптимізація геометричних параметрів лінійних двигунів	16
5.4 Математичне моделювання робочих процесів у лінійних двигунах	38
5.5 Синтез систем керування для електроприводів з лінійними двигунами	77
5.6 Експериментальні дослідження	106
5.7 Висновки по розділу	126
ВИСНОВОК	
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	
ДОДАТОК А.....	366
ДОДАТОК Б	367
ДОДАТОК В.....	368
ДОДАТОК Г	368
ДОДАТОК Д.....	368