

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ  
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

УДК 62-83 : 681.55.03

Держановський Богдан Ігорович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ МЕТАЛУРГІЙНИХ МАШИН ПРИ  
РЕАЛІЗАЦІЇ ГРАНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ ТА МІНІМАЛЬНОЇ  
КОЛИВАЛЬНОСТІ**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

**КРАМАТОРСЬК – 2019**

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

**Науковий керівник**

кандидат технічних наук, доцент  
**Задорожня Інна Миколаївна**  
Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри електро-механічних систем автоматизації

**Рецензент**

---

---

---

---

---

Захист відбудеться " \_\_\_\_ " грудня 2019 р. о \_\_\_\_ годині на засіданні державної екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність теми.* В загальному розумінні будь-який технологічний процес є нестабільним і виражений в коливаннях основних технологічних параметрів, в роботі автоматизованих ЕП технічних систем – це струми якоря, швидкості обертання, моменти. В процесі роботи ЕП складних технічних систем піддаються різним навантаженням. Наявність коливань в технологічному процесі і різний характер (систематичний або випадковий) навантажень призводить до технічних проблем, що виражається, як правило, в підвищених коливаннях параметрів технологічного процесу і, відповідно, до зростання втрат електроенергії, що істотно впливає на енергоефективність технології, надійність і коефіцієнт корисної дії електротехнічного обладнання, якість і собівартість продукції, що випускається.

Металургійні машини, зокрема, прокатного виробництва, представляють собою великі агрегати зі складним навантаженням, де пружні властивості ліній передачі в поєднанні з велику кінетичну енергію мас, що обертаються можуть призводити до виникнення неприпустимо великих коливальних процесів. Моменти пружних коливань, що виникають в елементах механічної частини приводу, передаються електродвигуну, викликаючи при цьому коливання струму якоря, швидкості валків, натягу в міжклітьовому проміжку. Зазначені коливання, входячи в небезпечну резонансну фазу, вводять агрегати металургійних машин в аварійний режим роботи, спричиняючи перешкоди у досягненні високих швидкостей прокатки, і призводять до виникнення різних небажаних дефектів кінцевої металопродукції.

Тенденція впровадження у виробництво нових високоефективних типів електродвигунів, а також використання напівпровідникових перетворювачів з підвищеними енергетичними характеристиками вимагає вдосконалення існуючих методик синтезу систем керування ЕП, заснованих на різних критеріях оптимізації виходячи з умов забезпечення бажаних динамічних властивостей, які

визначають показники якості регулювання, що зумовило актуальність і визначило напрям досліджень магістерської роботи.

***Зв'язок роботи з планами і темами кафедри.*** Робота була виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії відповідно до тематичного плану держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0117U007402 «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації» згідно з напрямком наукової роботи кафедри.

***Мета і завдання роботи.*** Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження енергетичних можливостей електромеханічних систем металургійних машин при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- розгляд загальних питань та факторів енергоефективності;
- вивчення проблематики енергоефективності та енергозбереження промислових підприємств;
- аналіз існуючих систем електроприводів та тенденцій їх розвитку;
- дослідження особливостей протікання перехідних процесів в електромеханічних системах металургійних машин;
- аналіз способів підвищення енергетичної ефективності обладнання та принципів енергозбереження засобами електроприводу;
- розрахунок систем автоматичного керування та розробка математичних моделей для дослідження режимів функціонування металургійних машин та оцінки перехідних процесів з позицій енергозбереження;
- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для систем автоматичного керування електроприводами металургійних машин, що забезпечать оптимальні перехідні процеси при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності;
- оцінка якісних показників основних режимів функціонування електромеханічних систем та розробка рекомендацій щодо забезпечення

енергоефективності та енергозбереження в електроприводах металургійних машин;

– техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;

– розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – електромеханічна система металургійних машин.

**Предмет дослідження** – перехідні процеси в електромеханічній системі металургійних машин та їх показники якості та енергоефективності в залежності від типу системи автоматичного керування електроприводом при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

**Методи досліджень.** В роботі використано загальні положення теорії автоматичного керування та теорії електроприводу, елементи диференціального обчислення і теорії функцій комплексного змінного, методи операторного перетворення та передавальних функцій, математичного моделювання та досліджень на комп'ютерних моделях з використанням сучасних пакетів прикладних програм.

**Наукова новизна роботи** полягає в тому, що запропоновано для зниження споживання енергії електромеханічними системами металургійних машин використання енергозберігаючих властивостей саме електроприводу, що в комплексі з раціональним вибором системи керування з оптимальними налаштуваннями її параметрів забезпечить зниження енергоспоживання та досягнення граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

**Практична цінність роботи.** Запропоновані рішення з вдосконалення електромеханічних систем металургійних машин з позицій енергоефективності та впровадження енергозберігаючого електроприводу дозволять знизити втрати електроенергії, підвищити ККД промислової установки, забезпечити плавне регулювання швидкості при істотному зниженні енергоспоживання, збільшити термін служби вузлів механічних передач, підвищити комфортність керування, що може бути рекомендовано до використання в інженерній практиці при проектуванні нових або модернізації діючих металургійних машин.

**Наукова апробація роботи.** Результати досліджень доповідалися на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: XL науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2018 р., м. Краматорськ), Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології» 20-21 квітня (2018 р., м. Житомир), Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (11 грудня 2018 р., м. Тернопіль), Міжнародна молодіжна науково-технічна конференція «Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування» (9-10 квітня 2019 р., м. Краматорськ, XLI науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2019 р., м. Краматорськ), X Міжнародна науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р., м. Житомир), II Всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» (14-15 листопада 2019 р., м. Житомир).

**Особистий вклад здобувача.** Проаналізовано особливості реалізації політики енергоефективності та енергозбереження в умовах промислових підприємств, визначено шляхи підвищення енергетичної ефективності обладнання та принципи енергозбереження засобами електроприводу, виконано розрахунок та синтезовано параметри систем керування електроприводом, що забезпечили граничні показники стійкості та мінімальної коливальності, надано рекомендації з проектування технологічних машин з енергозберігаючими властивостями.

**Публікації.** Матеріали магістерської роботи опубліковано в п'яти тезах доповідей регіональних та міжнародних науково-технічних конференцій.

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел та додатків.

Обсяг загальної частини магістерської роботи становить 176 сторінок, в тому числі 23 таблиці по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 25 рисунків по тексту, також робота містить перелік літературних джерел із 76 найменувань на 8 сторінках та 2 додаток на 48 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовані актуальність і доцільність магістерської роботи, показаний зв'язок з науковими програмами, темами, сформульовано мету і задачі наукового дослідження. Відзначений особистий внесок здобувача, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію, публікацію та впровадження.

**В першому розділі** проведено аналітичний огляд проблематики енерго-ефективності та енергозбереження, розглянуто загальні аспекти енерго-ефективності, акцентовано уваги на питаннях перспективного енергоспоживання металургійних підприємств, а в якості основного фактору енергозбереження в промисловості уваги сконцентровано саме на можливостях електроприводу, що в підсумку дозволило сформулювати мету та задачі дослідження магістерської роботи.

**В другому розділі** досліджено енергетичні можливості електромеханічних систем металургійних машиндинамічні, розглянуто різні системи регульованих електроприводів і тенденції їх розвитку, оцінено шляхи підвищення енергетичної ефективності обладнання та визначено ключові принципи енергозбереження засобами електроприводу, а саме, на прикладі електроприводу сталевозу досліджено перехідні процеси в електромеханічній системі з релейно-контакторною системою керування, аналіз показників якості та енергетичних можливостей якої підтвердив необхідність пошуку напрямів вдосконалення показників якості та підвищення енергоефективності системи.

**В третьому розділі** обґрунтовано запропонований напрямок оптимізації перехідних процесів в електроприводах металургійних машин на прикладі реалізації заходів комплексної модернізації електроприводу сталевозу, запропоновано методика синтезу параметрів його системи керування, при цьому порівняльний аналіз перехідних процесів та показників якості довів перевагу саме запропонованих налаштувань для регулятора швидкості, згідно чому досягнуто граничні показники стійкості та мінімальної коливальності при одночасному забезпеченні енергозбереження.

**В четвертому розділі** виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінена їх економічна ефективність, що підтвердило конкурентоспроможність проекту, високий рівень наукової новизни та високий рівень практичної значущості проекту, великий рівень вкладу магістра у наукові дослідження по магістерській роботі.

**В п'ятому розділі** проаналізовано небезпечні і шкідливі виробничі фактори, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці на робочих місцях, оцінено ефективність заходів з охорони праці.



## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі на основі виконаних досліджень розглянута та розв'язана актуальна задача дослідження енергетичних можливостей електромеханічних систем металургійних машин та їх оптимізація при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

Основні результати, що отримані в магістерській роботі внаслідок дослідження, наступні:

- розглянуто загальні питання та фактори енергоефективності;
- досліджено проблематику енергоефективності та енергозбереження промислових підприємств;
- здійснено аналіз існуючих систем ЕП та тенденцій їх розвитку;
- дослідження особливостей протікання перехідних процесів в електромеханічних системах металургійних машин;
- детально проаналізовано способи підвищення енергетичної ефективності обладнання та принципів енергозбереження засобами електроприводу;
- розраховано систему ЕП типу РКСК механізму пересування сталевозу;
- розраховано систему ЕП типу ПЧ-АД механізму пересування сталевозу;
- розроблено математичні моделі для дослідження режимів функціонування ЕП механізму пересування сталевозу з реалізацією різних систем керування здійснено оцінку перехідних процесів в цих системах з позицій енергозбереження;
- визначено параметри САК ЕП механізмом пересування сталевозу, які забезпечать оптимальні перехідні процеси при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності;
- виконано оцінку якісних показників основних режимів функціонування електромеханічних систем металургійних машин на прикладі сталевозу та сформульовано рекомендації щодо забезпечення енергоефективності та енергозбереження в ЕП металургійних машин;
- підтверджено, що економічним варіантом з позицій енергозбереження при проектуванні нових та модернізації діючих систем ЕП є використання

енергозберігаючих асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором, що є складовим компонентом системи типу ПЧ-АД;

– енергоефективність, надійність машин і технологій в промисловості можна забезпечити при використанні частотно-регульованого ЕП з енерго-ефективними асинхронними електродвигунами і перетворювачами частоти з відповідними оптимальними налаштуваннями системи керування;

– перехід від нерегульованого ЕП до регульованого є генеральним напрямом енергозбереження, який забезпечує найбільший ефект як в частині економії електроенергії, так і в інших показниках технологічного процесу, а поряд з головним ефектом – істотним зниженням втрат в технологічній машині, яку обслуговує ЕП, і в інших елементах силового каналу досягається ряд додаткових, часто не менш важливих ефектів (раціоналізація всього технологічного процесу, економія інших ресурсів, зниження шуму, збільшення терміну служби обладнання), при цьому істотним в даному випадку є вибір раціонального з технічної та економічної точок зору способу керування величинами, що утворюють споживану технологічними машинами потужність;

– система ПЧ-АД стає головним технічним рішенням масового регульованого ЕП, яка особливо приваблива на стадії модернізації, тому що зберігається все існуюче обладнання, а між мережею і двигуном включається новий елемент – ПЧ, який радикально змінює весь технічний і економічний вигляд системи;

– виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінена їх економічна ефективність, що підтвердило конкурентоспроможність проекту при середньому рівні наукового ефекту, високому рівні практичної значущості та великому рівні особистого вкладу у наукові дослідження;

– в рамках розділу з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях проаналізовано небезпечні і шкідливі виробничі фактори, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці на робочих місцях, оцінено ефективність заходів з охорони праці.

– результати магістерської роботи стосовно досліджень енергетичних можливостей електромеханічних систем можуть бути використані при проектуванні металургійних машин для оптимізації параметрів технологічного процесу та енергозбереження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Держановський Б.І. Питання удосконалення проектування систем керування електроприводами технологічних машин / Б.І. Держановський, М.А. Сердюк, Д.С. Пономарьов, В.Т. Лебідь, М.О. Задорожній // Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2018». – Житомир: Вид. О.О. Євенок, 2018. – С. 154–155.

2. Аспекти синтезу систем кранових електроприводів граничного ступеня стійкості за критерієм загасання коливань / М.О. Задорожній, Є.В. Чеботарьов, Б.І. Держановський, Д.О. Мітяєв // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 34)» / Збірник тез доповідей: випуск 34. – Частина 1. – Тернопіль. – 2018. – С. 27–29.

3. Держановський Б.І., Чеботарьов Є.В., Рібоженко М.В., Задорожня І.М. Особливості дослідження динамічних властивостей устаткування для вібро-стабілізуючої обробки деталей // Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – С. 79-81.

4. Держановський Б. І. Вибір методів оптимізації параметрів систем автоматичного керування технологічних машин з використанням демпфірувального ефекту електроприводу Є. В. Чеботарьов, К. В. Тунгасова, Я. М. Куриленко, М.О. Задорожній // Тези доповідей Х Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р.). – Житомир: ЖДТУ, 2019. – С. 122-123.

5. Шляхи оптимізації параметрів систем автоматичного керування електроприводами важких машин на основі ефекту резонансної електро-механічної взаємодії / М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, М. В. Рібоженко, Б. І. Держановський, І. М. Задорожня //Тези доповідей ІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення», м. Житомир, 14 – 15 листопада 2019 р. – Житомир: Житомирська політехніка, 2019. – С. 119-120.

## АНОТАЦІЯ

**Держановський Б.І. Дослідження енергетичних можливостей електромеханічних систем металургійних машин при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.**

Магістерська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота присвячена актуальному питанню енергетичних можливостей електромеханічних систем металургійних машин при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

Об'єкт дослідження – електромеханічна система металургійних машин.

Предмет дослідження – перехідні процеси в електромеханічній системі металургійних машин та їх показники якості та енергоефективності в залежності від типу системи автоматичного керування електроприводом при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження енергетичних можливостей електромеханічних систем металургійних машин при реалізації граничних показників стійкості та мінімальної коливальності.

В роботі використано загальні положення теорії автоматичного керування та теорії електроприводу, елементи диференціального обчислення і теорії функцій комплексного змінного, методи операторного перетворення та передавальних функцій, математичного моделювання та досліджень на комп'ютерних моделях з використанням сучасних пакетів прикладних програм.

В роботі для досягнення граничних показників стійкості та мінімальної коливальності в електромеханічних системах металургійних машин запропоновано використання енергетичних можливостей власне електроприводу, що шляхом оптимізації параметрів систем керування дозволить мінімізувати втрати електроенергії, забезпечити оптимальні режими функціонування машин.

Запропоновані рішення з вдосконалення електромеханічних систем металургійних машин з позицій енергоефективності та впровадження енергозберігаючого електроприводу дозволять знизити втрати електроенергії,

підвищити ККД промислової установки, забезпечити плавне регулювання швидкості при істотному зниженні енергоспоживання, збільшити термін служби вузлів механічних передач, підвищити комфортність керування, що може бути рекомендовано до використання в інженерній практиці при проектування нових або модернізації діючих металургійних машин.

*Ключові слова:* електропривод, енергозбереження, енергоефективність, електромеханічна система, система автоматичного керування, регулювання, показники якості

## ABSTRACT

**Derzhanovskiy B.I. Investigation of energy possibilities of electromechanical systems of metallurgical machines at realization of limit values of stability and minimum fluctuation.**

Master's thesis on the specialty 141 «Electric power, electrical engineering and electromechanical» Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

A research object is the electromechanical systems of metallurgical machines.

A subject of the study is the transient processes in the electromechanical system of metallurgical machines and their quality and energy efficiency indicators, depending on the type of automatic electric drive control system when implementing limit indicators of stability and minimal oscillation.

The aim of qualifying master's degree work is investigation of energy possibilities of electromechanical systems of metallurgical machines at realization of limit values of stability and minimum fluctuation.

The general principles of automatic control theory and electric drive theory, elements of differential calculus and theory of functions of a complex variable, methods of operator transformation and transfer functions, mathematical modeling and research on computer models using modern application software packages were used.

To achieve the ultimate stability and minimal oscillation indices in electromechanical systems of metallurgical machines, it is proposed to use the energy capabilities of the electric drive by optimizing the parameters of control systems, which will minimize energy losses and ensure optimal operating modes of the machines.

The proposed solutions to improve the electromechanical systems of metallurgical machines from the standpoint of energy efficiency and the introduction of an energy-saving electric drive will reduce energy losses, increase the efficiency of an industrial installation, provide smooth speed control with a significant reduction in energy consumption, increase the service life of mechanical transmission units, and improve control comfort, which can be recommended for use in engineering practice in the design new or modernization of existing metallurgical machines.

*Keywords:* electric drive, energy saving, energy efficiency, electromechanical systems, automatic control systems, regulation, quality indicators



---

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж \_\_\_ прим.

Замовлення №

---

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72