

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

УДК 62-83:621.77.06

Сіротюк Владислав Анатолійович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВАЖКИХ МАШИН З МЕТОЮ ВДОСКОНАЛЕННЯ
ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ**

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
Задорожній Микола Олексійович
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. Прагнення до збільшення продуктивності робочих машин призводить до інтенсифікації динамічних режимів їх приводів, сприяючи збільшенню навантажень в передачах і металоконструкціях, що особливо актуально при наявності пружних передач і конструкцій робочих машин, коли максимальні значення зусиль в пружних елементах механізмів можуть в 2-3 рази перевищувати сталі значення, що веде до прискореного їх зносу, знижує надійність і продуктивність роботи обладнання, погіршуючи показники технологічних процесів.

Підвищення продуктивності та якості роботи технологічних машин вимагає інтенсифікації процесів керування, збільшення швидкодії їх електроприводів, при цьому складність створення якісних електромеханічних систем збільшується при необхідності врахування зміни параметрів об'єктів керування, пружності механічних передач, люфтів, сил тертя і інших чинників. Особливої гостроти зазначена проблема набуває для електроприводів, що піддаються впливу періодичних зовнішніх або внутрішніх збурень.

Необхідно зауважити, що інтенсифікація перехідних процесів електроприводів важких машин, можливості якої істотно розширилися в останні роки у зв'язку з розвитком технічних засобів керування, підсилює прояв пружних коливальних процесів. Як наслідок, оптимізація електроприводу за швидкодією, яка проводиться без урахування динамічних процесів в механічній частині приводу і механізмі, що має своєю метою збільшення продуктивності механізмів за рахунок формування перехідних процесів, є причиною передчасного виходу з ладу механічного обладнання та його аварійних простоїв, що в кінцевому рахунку може звести нанівець досягнутий ефект підвищення продуктивності.

У той же час дослідження показують, що при певних поєднаннях параметрів, завдяки взаємодії електричної і механічної частини, електропривод ефективно демпфує пружні механічні коливання, і визначення поєднання параметрів електромеханічної системи, що відповідають максимальній

демпфуючій здатності електроприводу, дає можливість істотно знижувати динамічні навантаження двигунів і механізмів і використовувати їх в процесі проектування і налагодження.

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи важких машин є зниження динамічних навантажень, що виникають під час пуску та суттєво впливають як на довговічність їх роботи, так і на якість продукції, що випускається, тому проблема зниження динамічних навантажень в ЕП важких машин з метою вдосконалення показників якості регулювання є однією із ключових проблем машинобудування, що визначило актуальність 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 динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин для вдосконалення показників якості регулювання, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- аналіз систем електроприводів важких машин, особливостей їх функціонування та вимог, що пред'являють до електроприводу;
- дослідження динамічних режимів та характеру протікання перехідних процесів в електромеханічних системах важких машин;
- аналіз способів мінімізації динамічних навантажень в електроприводах важких машин;
- оцінка ступеня впливу параметрів електромеханічних систем на характер протікання перехідних процесів в електроприводах важких машин;

- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для систем електроприводів важких машин, що забезпечать оптимальні показники якості перехідних процесів;
- синтез параметрів систем автоматичного керування електроприводів важких машин, що забезпечать вдосконалення показників якості регулювання;
- розробка математичних моделей для дослідження динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин;
- оцінка перехідних процесів та якісних показників динамічних режимів електроприводів важких машин;
- розробка рекомендацій щодо проектування електроприводів важких машин з вдосконаленими динамічними характеристиками та показниками якості регулювання;
- техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – електромеханічна система електроприводів важких машин.

Предмет дослідження – динамічні режими функціонування електроприводів важких машин та показники якості регулювання.

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

Наукова новизна роботи полягає в тому, що для покращення динамічних режимів функціонування важких машин запропоновано використання демпфуючої дії електроприводу на основі синергетичної стратегії керування за принципом електромеханічної симетрії, що дозволить забезпечити оптимальні показники якості регулювання.

Практична цінність роботи. Запропоновані рішення з вдосконалення динамічних режимів функціонування електромеханічних систем з оптимальними показниками якості регулювання за рахунок використання демпфуючої дії власне електроприводу є високоефективними та не вимагають значних капітальних витрат, забезпечать істотне зниження рівня динамічних навантажень в електроприводах важких машин, скорочення позапланових простоїв обладнання, зниження експлуатаційних витрат, що може бути рекомендовано при проектуванні нових та реконструкції діючих металургійних машин.

Наукова апробація роботи. Результати досліджень доповідалися на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (13 листопада 2018 р., м. Тернопіль), Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування» (9-10 квітня 2019 р., м. Краматорськ), XL науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2018 р., м. Краматорськ), XLI науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2019 р., м. Краматорськ), X Міжнародній науково-технічній 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. Виконано теоретичні дослідження перехідних процесів в електроприводі механізму пересування передавального візку безперервного прокатного стану, оцінено можливість використання додаткового демпфувального пристрою, визначено оптимальні закони регулювання та виконано синтез регуляторів САК ЕП візку з використанням положень теорії електромеханічної симетрії та надано практичні рекомендації з проектування ЕП металургійних машин.

Публікації. Матеріали магістерської роботи опубліковано в чотирьох 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 джерел та додатків.

Обсяг загальної частини магістерської роботи становить 139 сторінок, в тому числі 21 таблиця по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 26 рисунків по тексту, також робота містить перелік літературних джерел зі 159 найменувань на 18 сторінках та 1 додаток на 8 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 режимів функціонування електроприводів важких машин, представлено загальний аналіз систем електроприводів важких машин, особливостей їх функціонування та вимог, що пред'являють до електроприводу, розглянуто причини появи додаткових динамічних перевантажень в електромеханічних системах важких машин та виявлено, що вони не мають єдиного рішення щодо їх мінімізації, а вимагають пошуку таких підходів, які з точки зору системного аналізу сприятимуть значному вдосконаленню показників якості регулювання електроприводів важких машин, що в підсумку дозволило сформулювати мету та задачі дослідження магістерської роботи.

В другому розділі досліджено динамічні режими функціонування електроприводів важких машин, а саме, проведено критичний аналіз загальних принципів та способів зниження рівня динамічних навантажень механічного та електричного обладнання в електроприводах важких машин, здійснено обґрунтування підходів до їх математичного опису, виконано розрахунок параметрів та синтезовано систему автоматичного керування електроприводом механізму пересування передавального візку безперервного стану гарячої прокатки за типовими методиками, аналіз показників якості якої підтвердив необхідність пошуку засобів вдосконалення показників якості регулювання.

В третьому розділі обґрунтовано запропонований напрямок оптимізації динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин, здійснено оптимізація параметрів системи автоматичного керування електроприводом механізму пересування передавального візку на основі синергетичної стратегії

керування за принципом електромеханічної симетрії, при цьому порівняльний аналіз перехідних процесів та показників якості довів перевагу саме запропонованих налаштувань для регулятора швидкості пропорційного типу з використанням додаткового демпфуючого пристрою, згідно чому досягнуто зниження коливальності основних координат приводу.

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

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 науково-практична задача оптимізації динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин та вдосконалення показників якості регулювання.

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

- проаналізовано системи ЕП важких машин, особливості їх функціонування та вимоги, що пред'являють до ЕП;
- розглянуто особливості динамічних режимів важких машин та визначено основні чинники, що суттєво впливають на якість протікання перехідних процесів;
- виконано огляд та критичний аналіз способів мінімізації динамічних навантажень в ЕП важких машин;
- здійснено оцінку ступеня впливу параметрів ЕМС на характер протікання перехідних процесів в ЕП важких машин;
- визначено аналітичні параметри та їх співвідношення для ЕП механізму пересування передавального візку, що забезпечать оптимальні показники якості перехідних процесів;
- здійснено синтез параметрів ЕМС допоміжних механізмів безперервного стану гарячої прокатки за типовими методиками налаштування;
- синтезовано регулятор швидкості САК типу ТП-Д ЕП механізму пересування передавального візку на основі синергетичної стратегії керування за принципом електромеханічної симетрії, що забезпечує мінімум коливальності основних координат ЕП в ЕМС та в цілому покращує показники якості регулювання, сприяє металургійного обладнання, сприяючи підвищенню якості прокату;
- складено математичні моделі на основі яких досліджено динамічні режими функціонування ЕП важких машин на прикладі ЕП механізму пересування передавального візку безперервного стану гарячої прокатки та проаналізовано

перехідні процеси в режимах накиду навантаження;

- виконано оцінку показників якості динамічних режимів ЕМС ЕП механізму пересування передавального візку для випадку настройки САК за типовими методиками синтезу та отриманих на основі синергетичної стратегії керування за принципом електромеханічної симетрії;

- для САК ЕП, параметри якої синтезовано за типовими методиками налаштування, запропоновано використання додаткового демпфуючого пристрою з величиною в'язкого тертя, розрахованого згідно співвідношенням відповідно до принципу електромеханічної симетрії, що теоретично дозволять покращити показники якості;

- встановлено, що діючі системи ЕП, що використовуються в головних та допоміжних механізмах металургійного виробництва, не задовольняють вимогам обмеження динамічних навантажень, проте заходи зі зниження рівня динамічних навантажень з одночасним вдосконалення показників якості регулювання може бути здійснено не тільки за рахунок дорогої сучасної техніки шляхом комплексної модернізації, а й при використанні оригінальних рішень, заснованих на використанні демпфуючої дії власне ЕП;

- запропонована методика синтезу параметрів САК ЕП механізму пересування передавального візку безперервного прокатного стану забезпечить зниження рівня динамічних навантажень на 25% при мінімізації коливальності;

- результати магістерської роботи стосовно досліджень динаміки важких машин та отриманих рішень можуть бути використані при проектуванні нових металургійних машин з вдосконаленими динамічними характеристиками та показниками якості регулювання для оптимізації параметрів технологічного процесу і умов експлуатації устаткування прокатних станів.

- виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і здійснено оцінку їх економічної ефективності, а саме, визначено оцінку конкурентоспроможності проекту, практичну значущість результатів проекту, вклад магістру 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Особливості синтезу параметрів систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин за умов астатичності / І.М. Задорожня, М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, О.С. Шелудяков // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 33)» / Збірник тез доповідей: випуск 33. – Частина 1. – Тернопіль. – 2018. – С. 28–30.

2. Аспекти оптимізації електромеханічного перетворення енергії в електроприводах технологічних машин з урахуванням пружних зв'язків / Ізмайлов М.М., Сіротюк В. А., Тунгасова К.В., Задорожній М.О. // Молода наука – роботизація і нано-технології 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. 100-102.

3. Використання технології модульного програмування при проектуванні систем керування електроприводами / М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, М. В. Рібоженко, Є. С. Волошин, І. М. Задорожня // Тези доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р.). – Житомир: ЖДТУ, 2019. – С. 124-125.

4. Шляхи оптимізації параметрів систем автоматичного керування електроприводами важких машин на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії / М. М. Ізмайлов, В. А. Сіротюк, М. В. Рібоженко, Б. І. Держановський, І. М. Задорожня // Тези доповідей II 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

Сіротюк В.А.. Дослідження динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин з метою вдосконалення показників якості регулювання.

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

Магістерська робота присвячена актуальному питанню дослідження динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин з метою пошуку раціональних шляхів вдосконалення показників якості регулювання.

Основною причиною динамічних перевантажень є інтенсивні повторно-короткочасні режими роботи важких машин в складних умовах навколишнього середовища виробництва при наявності пружних механічних зв'язків системи, зазорів і недосконалості системи електроприводу, які в переважній більшості випадків негативно впливають на роботу електроприводу, викликаючи підвищення динамічних навантажень, зменшення точності роботи механізму, появу механічних вібрацій і небезпечних резонансних явищ, що в сукупності є причиною погіршення стійкості систем автоматизованого електроприводу та ускладнення отримання необхідної якості перехідних процесів, що обумовлює необхідність комплексного вирішення завдання проектування і реалізації електромеханічних систем виробничих машин.

В роботі для вдосконалення показників якості регулювання ЕП важких машин запропоновано метод синтезу параметрів САК на основі синергетичної стратегії керування за принципом електромеханічної симетрії, що дозволить для приводів важких машин мінімізувати амплітуду коливальних складових моментів двигуна і пружної передачі механізму та коливальність динамічних навантажень.

Запропоновані рішення з проектування САК ЕП важких машин дозволять подовжити термін експлуатації обладнання, підвищити точність, надійність та довговічність його функціонування, що у сукупності позитивно вплине на хід технологічного процесу та може бути корисним в інженерній практиці як при створенні нових, так і модернізації існуючих САК ЕП важких машин, зокрема, металургійного виробництва.

Ключові слова: електропривод, електромеханічна система, синтез, система керування, регулювання, демпфування, показники якості, електромеханічна симетрія.

ABSTRACT

Sirotyuk V.A. Investigation of the dynamic modes of operation of heavy machines electric drives in order to improve the quality of regulation.

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

Master's thesis is devoted to the investigation of the dynamic modes of operation of heavy machines electric drives in order to improve the quality of regulation.

The main reason for dynamic overloads is the intensive, intermittent operation of heavy machines in difficult production environments in the presence of elastic mechanical connections of the system, gaps and imperfections in the electric drive system. Elastic mechanical bonds negatively affect the operation of the electric drive, cause an increase in dynamic loads, a decrease in the accuracy of the mechanism, the appearance of mechanical vibrations and dangerous resonance phenomena, cause a decrease in the stability of automated electric drive systems and make it difficult to obtain the required quality of transients, which necessitates a comprehensive solution to the design problem and implementation of electromechanical systems of production machines.

A method for synthesizing the parameters of an automatic control system for an electric drive based on a synergistic control strategy based on the principle of electromechanical symmetry is proposed, which will allow for electric drives of heavy machines to minimize the amplitude of vibrational components of the engine moments and elastic transmission of the mechanism and the oscillation of dynamic loads.

The proposed solutions for the design of electric drives of heavy machines will extend the life of the equipment, increase the accuracy, reliability and durability of its operation, will have a positive impact on the process, will be useful in engineering practice when creating new and modernizing existing heavy machines.

Keywords: electric drive, electromechanical system, synthesis, control system, regulation, damping, quality indicators, electromechanical symmetry.

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж ____ прим.

Замовлення №

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