

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
ЦЕНТР ДИСТАНЦІЙНОЇ І ЗАОЧНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

УДК 62-83 : 621.86-83

Іванова Дар`я Денисівна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ
ВАЖКИХ МАШИН ГРАНИЧНОГО СТУПЕНЮ СТІЙКОСТІ ТА
МІНІМАЛЬНОЇ КОЛИВАЛЬНОСТІ**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат кваліфікаційної роботи магістра

КРАМАТОРСЬК – 2020

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 2020 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. Коливальні явища, що спостерігаються в електроприводах важких машин, часто супроводжується збільшенням навантажень в елементах приводу, що може приводити до неадекватної реакції системи керування. Збільшення терміну служби основних видів важких машин і металургійного устаткування, зниження їх металоємності, підвищення продуктивності залежить в значній мірі від рішення проблем динаміки.

Разом з тим, аналіз численних досліджень свідчить, що завдяки появі в експлуатації швидкодіючих електроприводів при певних поєднаннях параметрів врахування взаємозв'язку електричної і механічної підсистем електромеханічних систем приводів важких машин дозволяє ефективно використати додаткову функцію електроприводу – демпфування пружних коливань з активним обмеженням динамічних зусиль механізмів. Проте для деяких співвідношеннях параметрів електромеханічних систем важких машин реалізація граничного демпфувального ефекту може стати причиною зростання коливальності струму і збільшення теплового завантаження двигуна, при цьому оптимальна жорсткість механічної характеристики електропривода може не забезпечити необхідної точності регулювання, тому на практиці одним з ключових постає завдання «перерозподілу» можливого максимуму демпфувальної дії електроприводу для забезпечення процесів граничної стійкості та мінімальної коливальності, що і визначило актуальність кваліфікаційної 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 електромеханічних систем важких машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- розгляд особливостей сучасного стану металургійної галузі України;
- аналіз особливостей функціонування важких машин та вимоги, що пред'являють до їх електроприводу;
- огляд досліджень динамічних режимів роботи в електроприводах важких машин;
- дослідження динамічних режимів та характеру протікання перехідних процесів в електромеханічних системах важких машин;
- аналіз способів мінімізації динамічних навантажень в електроприводах важких машин;
- розгляд шляхів та напрямків забезпечення в електроприводах важких машин процесів граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності;
- оцінка впливу взаємозв'язку коливальних процесів в електромеханічних системах на динамічні процеси в електроприводах важких машин;
- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для систем електроприводів важких машин, що забезпечать процеси граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності;
- синтез параметрів електромеханічної системи з метою оптимізації динаміки електроприводів важких машин за принципом електромеханічного взаємозв'язку;
- оцінка перехідних процесів та показників якості динамічних режимів електроприводів важких машин;
- формулювання рекомендацій щодо проектування ЕП важких машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності;
- техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – електромеханічна система електроприводу важких машин.

Предмет дослідження – динамічні режими функціонування електроприводу 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 ЕП, 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 регламентації демпфуючої дії електроприводу за принципом електромеханічного взаємозв'язку, що дозволить в електромеханічній системі досягти мінімізації впливу дії пружних механічних коливань з припустимими технічними критеріями якості регулювання процесів без істотного збільшення теплового навантаження електродвигуна.

Практична цінність роботи. Запропоновані рішення з вдосконалення динамічних режимів функціонування електроприводів важких машин за рахунок використання регламентованої демпфуючої дії власне електроприводу є ефективними та не вимагають значних капітальних витрат, забезпечать істотне зниження рівня динамічних навантажень в електроприводі важких машин, підвищення стійкості та мінімізації коливальності процесів в електромеханічній системі важких машин, зниження експлуатаційних витрат, підвищення терміну служби обладнання, що може бути рекомендовано при проектуванні нових та модернізації діючих важких машин, зокрема металургійних, а саме прокатних станів.

Наукова апробація роботи. Результати досліджень доповідалися на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: XLII науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів,

магістрантів і студентів (24-27 листопада 2020 р., м. Краматорськ), V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Енергоефективність: наука, технології, застосування» (25 листопада 2020 р., м. Київ), Міжнародній науковій Інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (10 грудня 2020 р., м. Тернопіль).

Особистий вклад здобувача. Здійснено оцінку впливу взаємозв'язку коливальних процесів в електромеханічних системах на динамічні процеси в електроприводах важких машин, визначено аналітичні залежності параметрів та їх співвідношення для систем електроприводів важких машин, що забезпечать процеси граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності, виконано синтез параметрів електромеханічної системи з метою оптимізації динаміки електроприводів важких машин за принципом електромеханічного взаємозв'язку та сформульовано рекомендації з проектування електроприводів важких машин.

Публікації. Матеріали магістерської роботи опубліковано в двох 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 170 сторінок, в тому числі 18 таблиць по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 13 рисунків по тексту, також робота містить перелік літературних джерел зі 144 найменувань на 15 сторінках та 4 додатки на 50 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 аналіз сучасного стану металургійної галузі України, розглянуто особливості функціонування важких машин та вимоги, що пред'являють до електроприводів важких машин, зокрема, машин металургійного виробництва – прокатних станів, металургійних кранів, вібростабілізуючих установок, здійснено огляд досліджень динамічних режимів роботи в електроприводах важких машин.

Кардинальні зміни в обладнанні та системах керування сучасних важких машин свідчать про те, що сьогодні залишається актуальною для інженерної діяльності задача визначення доцільності використання того чи іншого електроприводу за сукупністю ключових показників, оскільки, розглядаючи всі можливості конкретного альтернативного електроприводу, його переваги і недоліки відносно інших електроприводів при роботі механізмів важких машин в заданих умовах експлуатації необхідно керуватися принципами синергетичного підходу, тобто оптимізація динамічних режимів важких машин з метою досягнення граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності процесів в електромеханічних системах є задачею комплексною.

В другому розділі розглянуто шляхи та напрямки забезпечення в електроприводах важких машин процесів граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності, визначено розрахункові та структурні схеми, на основі яких прийнято рішення про здійснення теоретичних досліджень динаміки перехідних процесів в електромеханічних системах важких машин, розглянуто

основні положення теорії електромеханічного взаємозв'язку коливальних процесів в ЕМС ЕП.

В третьому розділі здійснено дослідження електромеханічних систем важких машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності, а саме визначено умови реалізації екстремуму демпфуючого ефекту електроприводу з пружною механічною підсистемою для забезпечення процесів мінімальної коливальності, запропоновано для електроприводів важких машин з урахуванням номінальних режимів двигунів і необхідності виконання вимог технологічного процесу на практиці реалізувати в електромеханічних системах процеси граничної стійкості та мінімальної коливальності за рахунок «перерозподілу» можливого максимуму демпфувальної дії між підсистемами електромеханічної системи у заздалегідь заданих межах, а також синтезовано за співвідношеннями взаємозв'язку параметрів електромеханічних систем з узагальненими показниками електромеханічної взаємодії такі параметри, які забезпечують необхідний регламентований демпфувальний ефект для критерію мінімуму коливальності, що дозволяє досягти високого демпфування пружних механічних коливань з припустимими технічними критеріями якості регулювання процесів в ЕМП без істотного збільшення теплового навантаження електродвигуна, сформульовані вимоги до конструювання ЕМС важких машин з мінімальними динамічними навантаженнями.

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

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 дослідження ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості електроприводу технологічних машин.

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

- розглянуто особливості сучасного стану металургійної галузі України;
- проаналізовано особливості функціонування важких машин та вимоги, що пред'являють до їх електроприводу;
- визначено основні чинники, що суттєво впливають на якість протікання перехідних процесів в електромеханічних системах важких машин;
- виконано огляд досліджень динамічних режимів роботи та характеру протікання перехідних процесів в електромеханічних системах важких машин;
- проведено критичний аналіз шляхів та напрямків забезпечення в електроприводах важких машин процесів граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності;
- 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 забезпеченням граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності можуть бути реалізовані тільки за рахунок дорогої сучасної техніки шляхом комплексної модернізації, а й при використанні оригінальних рішень, заснованих на використанні демпфуючої дії власне ЕП;
- з'ясовано, що використання принципу електромеханічного взаємозв'язку, заснованого на ефекті демпфуючої дії ЕП, для налаштувань параметрів ЕМС дозволяє покращити динамічні характеристики ЕП важких машин без додаткових капітальних витрат;

– здійснено оцінку впливу взаємозв'язку коливальних процесів в електро-механічних системах на динамічні процеси в електроприводах важких машин;

– запропоновано для ЕП важких машин з урахуванням номінальних режимів двигунів і необхідності виконання вимог технологічного процесу на практиці реалізувати в ЕМС процеси граничної стійкості та мінімальної коливальності за рахунок «перерозподілу» можливого максимуму демпфувальної дії між підсистемами ЕМС у заздалегідь заданих межах;

– визначено аналітичні параметри та їх співвідношень для систем електроприводів важких машин, що забезпечать процеси граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності;

– виконано синтез параметрів ЕМС ЕП важких машин за принципом електромеханічного взаємозв'язку, що для компромісних критеріїв без складних обчислювальних викладень може бути виконаний на основі умови неповної тотожності процесів в окремих підсистемах ЕМС шляхом регламентації ступеня демпфувального ефекту ЕП дозволить реалізувати в ЕМС процеси граничної стійкості та мінімальної коливальності;

– запропоновано за співвідношеннями взаємозв'язку параметрів ЕМС з узагальненими показниками електромеханічної взаємодії обирати такі значення параметрів, які забезпечать необхідний демпфувальний ефект для критерію мінімуму коливальності, причому в загальному випадку такі компромісні рішення дозволяють в ЕМС досягти високого демпфування пружних механічних коливань з припустимими технічними критеріями якості регулювання процесів в ЕМП без істотного збільшення теплового навантаження електродвигуна;

– запропонована методика синтезу параметрів ЕМС важких машин забезпечить безумовне зниження рівня динамічних навантажень на 25% при мінімізації коливальності;

– синтез параметрів ЕМС важких машин за принципом електромеханічного взаємозв'язку забезпечить підвищення строку служби вузлів механічних передач машин в 1,25 рази за рахунок зниження коливальності в 2 рази при реалізації регламентованої демпфувальної дії ЕП;

– результати магістерської роботи стосовно досліджень динаміки важких машин та отриманих рішень можуть бути використані при проектуванні нових металургійних машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності для оптимізації параметрів технологічного процесу і умов експлуатації устаткування прокатних станів;

– на основі принципу електромеханічного взаємозв'язку процесів а ЕП сформульовані вимоги до конструювання ЕМС важких машин з мінімальними динамічними навантаженнями;

– 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 КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Вдосконалення енергетичних можливостей двомасових електроприводів технологічних машин за умов реалізації процесів електромеханічної взаємодії з активним придушенням пружних механічних коливань / О.С. Стародубцев, В.В. Пауков, Д.Д. Іванова, І.М. Задорожня // Енергоефективність: наука, технології, застосування: Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції. Частина I. Київ, 25 листопада 2020 р. – Київ: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2020. – С. 37-41.

2. Аспекти енергозбереження засобами електроприводу з використанням ефекту електромеханічної взаємодії для покращення показників якості регулювання [Електронний ресурс] / М.О. Задорожній, О.С. Стародубцев, В.В. Пауков, Д.Д. Іванова // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: Технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 54)» / Збірник тез доповідей: випуск 54. – Електронні дані. – [Тернопіль, 2020]. – Частина 1. – Режим доступу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy10-12-2020> (дата звернення 10.12.2020 р.) – Назва з екрану.

АНОТАЦІЯ

Іванова Д.Д. Дослідження електромеханічних систем важких машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності

Магістерська робота зі спеціальності: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2020.

Об'єкт дослідження – електропривод важких машин.

Предмет дослідження – динамічні процеси в електромеханічних системах електроприводів важких машин.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є дослідження електромеханічних систем важких машин граничного ступеню стійкості та мінімальної коливальності.

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

В роботі для забезпечення в ЕМС ЕП важких машин процесів граничної стійкості та мінімальної коливальності запропоновано використання синергетичної стратегії керування за принципом електромеханічного взаємозв'язку, що дозволить для приводів важких машин мінімізувати амплітуду коливальних складових моментів двигуна і пружної передачі механізму та коливальність динамічних навантажень за рахунок використання регламентованої демпфувальної дії ЕП.

Запропоновані рішення з проектування ЕП важких машин дозволять продовжити 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 діючих ЕП важких машин, зокрема, металургійного виробництва.

Ключові слова: електропривод, електромеханічна система, система керування, демпфування, електромеханічний взаємозв'язок, стійкість, коливальність

ABSTRACT

Ivanova D. **Electromechanical systems of heavy machines with extreme degree of stability and minimum oscillation research.**

Master's degree work in specialty 141 «Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics», Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2020.

A research object is the electric drive of heavy machines.

A subject of the study is the dynamic processes in electromechanical systems of electric drives of heavy machines.

The aim of qualifying master's degree work is investigation of heavy machines electromechanical systems with extreme degree of stability and minimum oscillation.

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

A method for synthesizing the parameters of electromechanical system for an electric drive based on a synergistic control strategy based on the principle of electromechanical interconnection is proposed, which will allow for electric drives of heavy machines to ensure the processes of maximum stability and minimum oscillation.

The proposed solutions for the design of electric drives of heavy machines will extend the life of the equipment, improve the accuracy, reliability and durability of its operation, together will have a positive effect on the course of the technological process and can be useful in engineering practice both in the design of electric drives for new and in the modernization of existing heavy metallurgical machines.

Keywords: electric drive, electromechanical systems, control system, damping, electromechanical interconnection

Іванова Дар'я Денисівна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ
ВАЖКИХ МАШИН ГРАНИЧНОГО СТУПЕНЮ СТІЙКОСТІ ТА
МІНІМАЛЬНОЇ КОЛИВАЛЬНОСТІ**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж ___ прим.

Замовлення №

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