

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

УДК 62-83: 075.8

Пауков Владислав В'ячеславович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ
В ДВОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З АКТИВНИМ ПРИДУШЕННЯМ
ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ**

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. Автоматизований електропривод, який споживає понад 60% виробленої в світі електроенергії, спрямований на задоволення технічних вимог, що пред'являються до нього з боку технологічного процесу. В той же час, з розвитком засобів автоматизованого електроприводу, розширенням номенклатури перетворювальної техніки і силових пристроїв, орієнтованих на конкретне виробниче застосування, а також у зв'язку зі зростанням відносної частки енерговитрат в продукції, що випускається, особливої актуальності набуває завдання отримання заданих технічних показників виробничих процесів з мінімальними енерго- та ресурсовитратами.

При всьому різноманітті реалізацій в електроприводі завжди здійснюється один і той же фундаментальний процес – електромеханічне перетворення енергії, при якому завжди частина енергії втрачається. Якщо розглядати компоненти електроприводу окремо, то економічний потенціал енергозбереження в цьому випадку не великий, оскільки вони досить досконалі завдяки використанню сучасних матеріалів, напівпровідникових приладів, мікропроцесорної техніки, проте, якщо розглядати експлуатаційні режими роботи електроприводів, питання раціонального проектування в кожному конкретному випадку, в тому числі, з урахуванням можливостей реалізації їх демпфуючих властивостей, а також з огляду на масовість використання електроприводу, залишається величезний потенціал енергозбереження, що і зумовило актуальність та 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 в двомасових електроприводах з активним придушенням пружних коливань, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- аналіз особливостей енергетичної політики України;
- розгляд загальних питань перспективного енергоспоживання енергоємних галузей промисловості України та факторів енергоефективності;
- оцінка резервів підвищення енергоефективності промислових машин;
- дослідження енергетичних властивостей ЕП, як засобу підвищення енергоефективності технологічних процесів;
- аналіз можливостей сучасних промислових машин щодо реалізації заходів з енергозбереження в ЕП;
- визначення умов для реалізації активного придушення пружних коливань в двомасовому ЕП як фактору підвищення його енергетичних можливостей;
- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для САК двомасових ЕП, що забезпечать активне придушення пружних коливань для підвищення енергетичної ефективності ЕП;
- визначення співвідношень для оцінки показників процесів перетворення енергії в двомасових ЕП при реалізації активного придушення пружних коливань, як критерію раціонального вибору електрообладнання промислових машин;
- техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – двомасовий електропривод.

Предмет дослідження – перехідні процеси, показники якості та енергоефективності в електромеханічній системі двомасового електроприводу з активним придушенням пружних коливань

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 промислових машин використання енергозберігаючих властивостей саме електроприводу, що в комплексі з оптимальним налаштуванням параметрів системи керування забезпечить зниження енергоспоживання при активному придушенні пружних коливань.

Практична цінність роботи. Запропоновані рішення з вдосконалення електромеханічних систем промислових машин з позицій енергоефективності та впровадження енергозберігаючого електроприводу дозволять раціоналізувати технологічний процес із забезпеченням оптимальних режимів роботи механізмів, знизити втрати електроенергії, підвищити ККД установки, забезпечити плавне регулювання швидкості при істотному зниженні енергоспоживання, збільшити термін служби вузлів механічних передач, підвищити надійність основного обладнання, що може бути рекомендовано до використання в інженерній практиці при проектуванні нових або модернізації діючих промислових машин.

Наукова апробація роботи. Результати досліджень доповідалися на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: XI науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2018 р., м. Краматорськ), XII науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (16-20 квітня 2019 р., м. Краматорськ), IV Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод» (17-19 червня 2020 р., м. Краматорськ), International days in National University «Zaporizhzhia Polytechnic» (18-20 листопада

2020 р., м. Запоріжжя), 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. Проаналізовано особливості реалізації державної політики енергоефективності в умовах промислових підприємств, проблеми енергозбереження та шляхи удосконалення енергетичної ефективності на різних рівнях управління, визначено резерви підвищення енергоефективності промислових машин та шляхи реалізації заходів з енергозбереження в сучасних електроприводах, виконано умови та граничні можливості електроприводу для реалізації активного придушення пружних коливань, синтезовано параметри систем керування двомасовим електроприводом, що забезпечать активне придушення пружних коливань для підвищення енергетичної ефективності електроприводу, здійснено оцінку показників процесів перетворення енергії в двомасових ЕП при реалізації активного придушення пружних коливань, що дозволить здійснити раціональний вибір електрообладнання промислових машин.

Публікації. Матеріали магістерської роботи опубліковано в трьох 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 185 сторінок, в тому числі 17 таблиць по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 9 рисунків по тексту, також робота містить перелік літературних джерел із 135 найменувань на 14 сторінках та 3 додатки на 46 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 проблем енергозбереження та шляхів удосконалення енергетичної ефективності на різних рівнях управління, зокрема розглянуто питання енергетичної політики України, перспективного енергоспоживання енергоємних галузей вітчизняної промисловості, проаналізовано резерви підвищення енергоефективності промислових машин.

Сучасний стан електрообладнання різних сфер (промисловість, житловий сектор) характеризується моральною застарілістю та фізичною зношеністю. Термін функціонування електрообладнання становить декілька десятків років, по завершенню якого воно практично вичерпує свій ресурс роботи. Поновлення роботи електрообладнання найчастіше забезпечується за рахунок електро-ремонтів, якість яких не завжди є задовільною, з огляду на що значна частина електрообладнання, зокрема ЕП, має підвищенні втрати енергії, невідповідні налаштування САК, незадовільний стан ізоляції електричних машин, до того ж встановлена потужність ЕП не завжди в повній мірі відповідає сучасним потребам промисловості та є зовнішньою. У сукупності все це призводить до суттєвого зниження енергоефективності використання електрообладнання в Україні.

Заходи з енергозбереження мають в цій галузі значний резерв, тому розгляд ЕП, як інструменту підвищення рівня енергозбереження з урахуванням його специфічних властивостей в контексті досягнення раціонального компромісу узгодження технологічних рішень та економічних можливостей при реалізації заходів з енергоефективності та енергозбереження потребує

пошуку таких алгоритмів керування технологічними процесами в різних галузях промисловості, які безумовно забезпечать кардинальне покращення енергетичних можливостей в двомасових ЕП з активним придушенням пружних коливань, що є актуальною задачею, що визначило мету та задачі дослідження магістерської роботи.

В другому розділі розглянуто енергетичні властивості електроприводу, проаналізовано підходи до реалізації заходів з енергозбереження в електроприводі, оцінено підходи та принципи забезпечення енергоефективності з використанням властивостей електроприводу, запропоновано реалізувати оптимізацію процесів енергозбереження в двомасових електроприводах промислових машин за рахунок використання демпфуючої дії власне електроприводу для реалізації активного придушення пружних коливань, для чого визначені відповідні залежності та співвідношення.

В третьому розділі визначено умови та аналітичні залежності реалізації граничних можливостей електроприводу для активного придушення пружних коливань, які є основою для розрахунку параметрів систем керування двомасовим електроприводом, здійснено синтез параметрів двомасового електроприводу з підпорядкованим регулюванням координат, що забезпечує активне придушення пружних коливань, здійснено відповідні розрахунки для системи електроприводу постійного струму з урахуванням процесів електро-механічної сумісності, що дозволяють оцінити енергетичні можливості в двомасових електроприводах з активним придушенням пружних коливань за умов раціонального вибору електрообладнання, як одного з напрямів енергозбереження з використанням властивостей електроприводу.

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'язаною з 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 енергетичної політики України, загальні питання та фактори енергоефективності;

- досліджено проблематику енергоефективності та енергозбереження промислових підприємств та можливостей перспективного енергоспоживання енергоємних галузей промисловості України;

- здійснено оцінку резервів підвищення енергоефективності промислових машин;

- проаналізовано енергетичні властивості електроприводу, як засобу підвищення енергоефективності технологічних процесів;

- запропоновано використання положень теорії електромеханічної сумісності для реалізації активного придушення пружних коливань в двомасовому електроприводі та відповідних співвідношень для досягнення максимального ефекту демпфування коливань електроприводом;

- визначено аналітично параметри та їх співвідношення для систем керування двомасових електроприводів, що забезпечать активне придушення пружних коливань для підвищення енергетичної ефективності електроприводу;

- для практики проектування або налагодження діючих електроприводів з СПР запропоновано налаштування параметрів регуляторів, що дозволяють мінімізувати коливальність ЕМС з реалізацією активного придушення пружних коливань шляхом використання демпфуючого ефекту електроприводу;

– рекомендовано для реалізації максимально можливого демпфування електроприводом пружних механічних коливань при проектуванні або модернізації електромеханічних систем промислових машин при аналізі проектних рішень здійснювати раціональний вибір відповідного електрообладнання з врахуванням динамічних можливостей керованого перетворювача – додаткових складових струму (моменту) електродвигуна;

– активне придушення пружних коливань можливо при певних значеннях коефіцієнтів електромеханічної взаємодії K_B і відносного демпфування ξ_D , при цьому екстремум демпфуючої дії електроприводу визначається значенням коефіцієнта розподілу інерційних мас γ і близькістю частот ЕМП та МП повної електромеханічної системи;

– вибір керованого перетворювача електроприводу необхідно здійснювати з урахуванням максимуму перевантаження за струмом і часу досягнення цього максимуму, що визначає можливість реалізації активного придушення пружних коливань в електроприводі з додатковим запасом за ЕРС перетворювача, що залежать як від параметрів електромагнітної, так і від параметрів механічної підсистем (Ω_{12}, γ);

– запропонована методика оцінки показників процесів електромеханічного демпфування пружних коливань дозволить на етапах проектування ЕМС правильно вибрати на підставі розрахунку силову частину електричного і механічного обладнання із заданими експлуатаційними характеристиками або при модернізації електромеханічної системи оцінити можливості електроприводу з реалізації активного придушення пружних коливань;

– мінімізація коливальності основних координат двомасового електроприводу сприяє зменшенню теплового навантаження електродвигуна при скороченні додаткових втрат на нагрівання та забезпечує збільшення коефіцієнту потужності електродвигуна $\cos\phi$ при зменшенні споживання реактивної складової потужності;

– 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 згідно з реалізацією демпфуючої дії електроприводу;

– 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 можуть бути використані при проектуванні промислових машин для оптимізації параметрів технологічного процесу та енергозбереження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Концепція проектування системи електроприводу технологічних машин за принципом резонансної електромеханічної взаємодії з мінімізацією впливу пружних механічних коливань / І.М. Задорожня, М.О. Задорожній, О.С. Стародубцев, В.В. Пауков // Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції, 17-19 червня 2020 року р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – С. 142-144.

2. 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.

3. 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

Пауков В.В. **Дослідження енергетичних можливостей в двомасових електроприводах з активним придушенням пружних коливань.**

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

Об'єкт дослідження – двомасовий електропривод.

Предмет дослідження – підходи та засоби оцінки енергетичних можливостей в двомасових електроприводах з активним придушенням пружних коливань.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є енергетичних можливостей в двомасових електроприводах з активним придушенням пружних коливань.

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 мінімізації енергетичних втрат електромеханічних системах промислових машин запропоновано використання демпфуючих властивостей власне електроприводу, що шляхом оптимізації параметрів систем керування дозволить мінімізувати втрати електроенергії, забезпечити оптимальні режими функціонування машин, а також здійснити раціональний вибір електрообладнання для реалізації активного придушення пружних коливань.

Запропоновані рішення з вдосконалення електромеханічних систем промислових машин з позицій енергоефективності та впровадження енергозберігаючого електроприводу дозволять раціоналізувати технологічний процес із забезпеченням оптимальних режимів роботи механізмів, знизити втрати електроенергії, підвищити ККД установки, забезпечити плавне регулювання швидкості при істотному зниженні енергоспоживання, збільшити термін служби

вузлів механічних передач, підвищити надійність основного обладнання, що може бути рекомендовано до використання в інженерній практиці при проектуванні нових або модернізації діючих промислових машин.

Ключові слова: електропривод, енергозбереження, енергоефективність, електромеханічна система, керування, демпфування, пружні коливання

ABSTRACT

Paukov V. Research of energy capabilities in two-mass electrical drives with active elastic oscillations damping.

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 two-mass electrical drives.

A subject of the study is the approaches and means of assessing energy capabilities in two-mass electric drives with active elastic oscillations damping.

The aim of qualifying master's degree work is investigation of energy capabilities in two-mass electrical drives with active elastic oscillations damping.

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 minimization of energy losses in electromechanical drive systems of industrial machines, it is proposed to use the damping properties of an electric drive itself by optimizing the parameters of control systems, which will minimize power losses, provide optimal operating modes of machines, as well as make a rational choice of electrical equipment, and will allow active suppression of elastic oscillations.

The proposed solutions for improving the electromechanical systems of industrial machines from the standpoint of energy efficiency and the introduction of an energy-saving electric drive will allow to rationalize the technological process with ensuring optimal operating modes of mechanisms, reduce energy losses, increase the efficiency of the installation, ensure smooth speed control with a significant reduction in energy consumption, increase the service life of mechanical components. gears, to improve the reliability of the main equipment, 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, control, damping, elastic oscillations

Пауков Владислав В'ячеславович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ
В ДВОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З АКТИВНИМ ПРИДУШЕННЯМ
ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж ___ прим.

Замовлення №

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