

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

УДК 62-83 : 621.86-83

Стародубцев Олександр Сергійович

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ  
НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
МАШИН**

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.** Широке використання регульованих електроприводів привело до того, що сучасний електропривод є не тільки енергосиловою основою, що дозволяє забезпечити виробничі механізми необхідною механічною енергією, але і засобом керування технологічними процесами, оскільки завдання з реалізації якості виробничих процесів в більшості випадків покладаються на системи керування регульованими електроприводами в поєднанні з системами технологічної автоматики.

Рівень розвитку комп'ютерних систем керування відкриває широкі перспективи для технічної реалізації та впровадження в різні типи технологічних машин новітніх розробок мікропроцесорної техніки, проте навіть в ЕП нового покоління не вдається досягти докорінного вдосконалення їхніх динамічних якостей як електромеханічної системи, оскільки з позицій синергетичного підходу необхідно враховувати прояви специфічної особливості динамічних систем – взаємозв'язок процесів в електричній та механічній частинах приводу, тому дослідження ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості електроприводів технологічних машин зумовило актуальність і визначило напрям досліджень магістерської роботи.

**Зв'язок роботи з планами і темами кафедри.** Вибір напрямку досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від 22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року». 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 впливу електромеханічної взаємодії на показники якості ЕП технологічних машин, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- виявлення особливостей та тенденцій розвитку сучасного ЕП;
- огляд сучасного ЕП як синергетичної системи;
- аналіз систем ЕП типових технологічних машин, їх режимів роботи, особливостей функціонування та вимог, що пред'являють до ЕП;
- розгляд існуючих підходів для оцінки показників якості ЕП;
- дослідження особливостей протікання процесів в ЕМС технологічних машин;
- аналіз процесів електромеханічної взаємодії в ЕП технологічних машин;
- оцінка показників якості в ЕП технологічних машин при електро-механічній взаємодії;
- дослідження та оцінка ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості ЕП технологічних машин;
- розробка рекомендацій щодо проектування ЕП технологічних машин з оптимальними за обраним критерієм показниками якості з урахуванням процесів електромеханічної взаємодії;
- техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – системи ЕП технологічних машин.

**Предмет дослідження** – показники якості ЕП технологічних машин за умов реалізації процесів електромеханічної взаємодії.

**Методи досліджень.** В роботі використано загальні положення та методи теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь, методи чисельного моделювання зі складу програмного середовища сучасних пакетів прикладних програм.

**Наукова новизна роботи** полягає в тому, що запропоновано врахування впливу процесів електромеханічної взаємодії в ЕМС для оцінки показників якості ЕП, що дозволить для широкого класу приводів технологічних машин реалізувати перехідні процеси, що повною мірою відповідатимуть вимогам технології (швидкодія, коливальність, логарифмічний декремент загасання, демпфування, перерегулювання).

**Практична цінність роботи** полягає в тому, що запропоновані залежності та співвідношення для оцінки показників якості ЕП з урахуванням ступеня електромеханічної взаємодії функціонально зв'язують параметри електротехнічних, конструктивних, механічних і технологічних варіантів обмеження динамічних навантажень ЕП, дозволять при модернізації діючих та проектуванні нових поколінь ЕП обирати параметри та їхні сполучення таким чином, щоб в ЕМС технологічних машин із пружними зв'язками забезпечувалися обумовлені технологією показники якості та характер перехідних процесів.

**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), XLI 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.** Виконано аналіз процесів електромеханічної взаємодії в ЕП технологічних машин, здійснено дослідження впливу електромеханічної взаємодії на показники якості ЕП, отримано залежності та співвідношення для оцінки показників якості ЕП з урахуванням процесів електромеханічної взаємодії, що забезпечать протікання перехідних процесів відповідно до вимог технології, сформульовано рекомендації щодо синтезу параметрів ЕП технологічних 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 130 сторінок, в тому числі 13 таблиць по тексту, з яких 3 на 4 сторінках, 13 рисунків по тексту, також робота містить перелік посилань на використані літературні джерела зі 103 найменувань на 11 сторінках та 3 додатки на 58 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 огляд проблематики предметної області досліджень, а саме проаналізовано тенденції розвитку сучасних систем електроприводів, загальні вимоги до електроприводів сучасних технологічних машин, пропонується розгляд процесів в електроприводі з використанням синергетичного підходу, згідно якому електромеханічні системи технологічних машин є складними за структурою, містять значну кількість груп поєднаних між собою елементів і можуть мати більший енергетичний потенціал в разі виявлення взаємного впливу між групами даних елементів, тому пропонується режими роботи електромеханічних систем розглядати з урахуванням умов раціональної роботи їх окремих компонентів за умови врахування взаємозв'язку між ними.

Використання комплексного, взаємопов'язаного підходу дозволить як на локальному рівні, так і на рівні функціонування всього технологічного комплексу з урахуванням синергетичних властивостей обрати оптимальний за визначеним критерієм режим роботи всієї системи електроприводу з бажаними показниками якості є актуальною задачею, що визначило мету та задачі дослідження магістерської роботи.

**В другому розділі** проведено аналіз процесів електромеханічної взаємодії в електроприводах технологічних машин, зокрема розглянуто електропривод, як синергетичну систему, проаналізовано типові розрахункові та структурні схеми що дозволяють дослідити процеси електромеханічної взаємодії в електроприводах технологічних машин, визначено залежності, що дозволять здійснити оцінку

ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості електроприводів технологічних машин.

**В третьому розділі** представлено загальні підходи до оцінки показників якості електроприводів, здійснено оцінку ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості, проаналізовано умови максимального ступеня взаємодії в електромеханічних системах технологічних машин, ступень впливу електромеханічної взаємодії на показники якості електроприводу, здійснено розрахунки для системи електроприводу постійного струму без та з урахуванням процесів електромеханічної взаємодії та сформульовано рекомендації щодо проектування електроприводів технологічних машин з урахуванням процесів електромеханічної взаємодії.

**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:

- здійснено огляд тенденцій розвитку сучасного електроприводу;
- розглянуто особливості сучасного електроприводу як синергетичної системи з аналізом його типових режимів роботи, особливостей функціонування, загальних вимог, що пред'являються до електроприводів технологічних машин, та показників якості керування ними;
- розглянуто існуючі підходи для оцінки показників якості електроприводу;
- здійснено огляд протікання процесів в електромеханічних системах та проаналізовано можливості реалізації явищ електромеханічної взаємодії в ЕП технологічних машин;
- виконано обґрунтування вибору критеріїв оптимізації ЕМС та методів оцінки якості процесів в електроприводі, в тому числі і за умов електромеханічної взаємодії процесів в електромеханічних системах;
- згідно теорії електромеханічної сумісності з'ясовано, що для оцінки ступеня взаємодії електричної та механічної частин електроприводів технологічних машин потрібно керуватися умовами істотної, гранично можливої взаємодії;
- виявлено умови досягнення максимального ступеня електромеханічної взаємодії процесів в електромеханічних системах;
- визначено, що керуючись мірою – своєрідним еталоном максимуму електромеханічної взаємодії, при якій проявляються демпфувальні властивості електроприводу, можна зробити висновок про фактичні гранично досяжні

можливості електроприводу з досягнення показників якості, що відповідають вимогам технології;

– визначено, що необхідними умовами досягнення оптимальних показників якості є певна для конкретного значення коефіцієнту розподілу інерційних мас  $\gamma$  величина загасання процесів в електричній частини  $\xi_d$  і коефіцієнт електромеханічної взаємодії  $K_B$ ;

– доведено, що аналіз процесів в електромеханічних системах технологічних машин необхідно виконувати з огляду на фізичний зміст процесів електромеханічної взаємодії, оскільки бажані показники якості процесів в електроприводі залежать від інерційного зв'язку, регламентованого коефіцієнтом розподілу інерційних мас  $\gamma$ ;

– визначено, що максимальний ступінь електромеханічної взаємодії в електроприводі технологічних машин досягається відповідним вибором параметрів електромеханічної системи, співвідношення яких залежать від коефіцієнта розподілу інерційних мас  $\gamma$ , область значень якого варіюється в межах  $1 < \gamma < 5$ ;

– з'ясовано, що динамічні параметри оптимальної електромеханічної системи знаходяться у взаємозв'язку, обумовленому коефіцієнтом розподілу інерційних мас  $\gamma$ , а показники якості за вимогами технології можуть бути досягнуті тільки за умови коливального характеру електромеханічної взаємодії;

– визначено аналітичні параметри та їх співвідношень для двомасових електроприводів, що забезпечать оптимальні перехідні процеси на основі електромеханічної взаємодії;

– визначено, що не тільки значення параметрів електромеханічної системи забезпечують бажаний характер ПП згідно показникам якості, що відповідають вимогам технології, але важливі також і співвідношення між ними, при цьому електрична частина та механічна частина повної електромеханічної системи постійно знаходяться у взаємозв'язку;

– доведено, що за умов врахування електромеханічної взаємодії в електромеханічній системі ще на етапі проектування технологічних машин,

обладнаних електроприводом із пружною механічною частиною, можна визначити оптимальні параметри, які забезпечать бажані показники якості перехідних процесів (коливальність, ступінь загасання, логарифмічний декремент загасання, перерегулювання, швидкодія);

– результати магістерської роботи можуть бути корисні з практичної точки зору при проектуванні електроприводів нового покоління або модернізації діючих електроприводів з покращеними показниками якості, що дозволить реалізувати технологічні машини з підвищеними показниками надійності (безвідмовна напрацювання в певні проміжки часу, термін служби з моменту введення в експлуатації до першого капітального ремонту, певний ресурс до першого середнього ремонту, час відновлення і коефіцієнт технічного використання);

– 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. 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

**Стародубцев О.С. Дослідження ступеня впливу електромеханічної взаємодії на показники якості електроприводів технологічних машин.**

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

Концепція синергетичного керування є одним із прикладів інтеграції, що базується на гармонійному поєднанні сформованих методів проектування як складних об'єктів. Для електроприводів технологічних машин є задача забезпечення оптимальних показників якості, при цьому електропривод розглядається як цілісна активна система, в якій повинно забезпечуватися керування не тільки деякими вихідними – технологічними змінними, характерне для традиційних систем, а й іншими, які визначають загальний стан складного об'єкта і його характеристики.

Синергетичний підхід при оцінці властивостей електроприводів зумовлює значне розширення завдань, що вирішуються системою керування, яка на локальному рівні, так і на рівні функціонування всього технологічного комплексу, спрямованих на забезпечення необхідних показників якості. Широкі можливості і перспективи для вирішення проблеми забезпечення необхідних показників якості електроприводу відкриваються при використанні сучасних швидкодіючих електроприводів з урахуванням процесів електромеханічної взаємодії, оскільки в деяких випадках завдяки раціональному вибору параметрів незмінної частини системи і регуляторів або організації додаткових керуючих впливів з використанням демпфуючих властивостей електроприводу вдається практично без додаткових економічних витрат забезпечити бажану якість регулювання координат електромеханічних систем.

В роботі були запропоновані та в результаті досліджень були визначені параметри електромеханічної системи та їх співвідношення, які умови

електромеханічної взаємодії забезпечать оптимальний перехідний процес з бажаними показниками якості.

*Ключові слова:* електропривод, електромеханічна система, показники якості, електромеханічна взаємодія, швидкодія, декремент загасання, коливальність, перерегулювання

## ABSTRACT

Starodubtsev Oleksandr **Research of the influence degree of electromechanical interaction on the technological electric drives quality indicators.**

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

The concept of synergetic management is one example of integration based on a harmonious combination of prevailing methods for designing complex objects.

For electric drives of technological machines and their auxiliary mechanisms, the task of ensuring optimum indicators of quality directly in transient conditions is relevant, while the electric drive is considered as an integral active system in which not only some initial variables must be controlled – technological variables that are characteristic of traditional systems, but also others, which determine the general condition of a complex object and its characteristics.

The synergetic approach to the synthesis of automatic control systems of two-mass electric drives leads to a significant expansion of the tasks solved by the control system, which is at the local level and at the level of functioning of the entire complex, aimed at increasing its performance and survivability.

Broad opportunities and prospects for solving the problem of ensuring the necessary dynamic qualities of the electric drive are opened using modern high-speed electric drives, because in some cases, due to the rational choice of the parameters of the invariable part of the system and the regulators or the organization of additional control actions, it is possible to provide the desired quality of coordinate control of electromechanical systems with virtually no additional economic costs by reducing negatively about the influence of the elastic ties.

As a result of the research, the parameters of the electromechanical system and their relationships were determined, which conditions of electromechanical interaction will provide the optimal transition process with the desired quality indicators.

*Keywords:* electric drive, electromechanical systems, quality indicators, electromechanical interaction, speed action, damping decrement, oscillation, overshoot





Стародубцев Олександр Сергійович

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ  
ВЗАЄМОДІЇ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН**

---

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж \_\_\_ прим.

Замовлення №

---

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