

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

УДК 62-83 : 681.51

Рібоженко Максим Вікторович

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН З РЕАЛІЗАЦІЄЮ  
РЕЗОНАНСНОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ДЕМПФУВАННЯ КОЛИВАНЬ**

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.* Основоположним завданням ЕП в інженерній практиці є обмеження динамічних навантажень за умов демпфування пружних механічних коливань для забезпечення заданої точності руху робочого органу технологічної машини. Сьогодні в арсеналі проєктанта ЕМС є різні способи зменшення негативного впливу пружних коливань на роботу механізмів.

Використання механічних демпфуючих пристроїв в кінематичних схемах механізмів дозволяє зменшити коливання, проте призводить до ускладнення конструкції, збільшення маси і розмірів робочих машин. Пасивні способи демпфування пружних коливань засновані на дисипації енергії коливань механізмів в силових електричних ланцюгах ЕП, але їх ефективність обмежена і часто не задовольняє технологічним вимогами функціонування сучасних ЕМС з пружними ланками.

Впровадження в експлуатацію швидкодіючих ЕП дозволяє покласти на них додаткову функцію демпфування пружних коливань та активного обмеження динамічних зусиль механізмів. Активні способи припускають організацію в системі ЕП додаткових силових керуючих впливів, здатних забезпечити зменшення динамічних навантажень в механічних передачах до необхідних значень, при цьому в САК ЕП додають канал обмеження динамічних навантажень, який при роботі використовує інформацію про реальні значення коливань в елементах пружних механічних передач, проте це вимагає завищення потужності ЕП, що знижує ефективність і обмежує область застосування активних способів.

Власне ЕП в силу фізичних властивостей здатний за рахунок посилення електромеханічного зв'язку демпфувати коливальні складові складного руху єдиної ЕМС, що збереже гарантований ресурс і забезпечить надійність функціонування обладнання при високій якості виконання технологічних операцій машини, при цьому необхідний пошук оптимальних параметрів САК ЕП

на основі особливих ефектів резонансного електромеханічного взаємозв'язку, що представляє актуальну задачу та має теоретичне і практичне значення.

**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 систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, що реалізується розв'язанням наступних задач:

- розгляд систем ЕП технологічних машин та їх особливостей з урахуванням специфіки режимів функціонування;
- аналіз динаміки ЕМС технологічних машин та способів демпфування пружних механічних коливань в ЕП технологічних машин;
- оцінка ступеня впливу параметрів ЕМС на демпфуючу здатність ЕП з урахуванням особливостей вимог технологічного процесу;
- дослідження особливості використання класичних методик синтезу САК ЕП та з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування на математичних моделях;
- визначення аналітичних параметрів та їх співвідношень для САК ЕП, що забезпечать оптимальні перехідні процеси за критерієм максимум демпфування;
- оцінка перехідних процесів та якісних показників динамічних режимів ЕМС технологічних машин з пружними ланками за умов реалізації резонансного електромеханічного демпфування;
- розробка рекомендацій щодо обрання раціональних способів демпфування коливань та рекомендацій щодо синтезу оптимальних регуляторів САК з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань;

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

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

**Об'єкт дослідження** – система автоматичного керування електроприводами технологічних машин.

**Предмет дослідження** – перехідні процеси в електромеханічній системі технологічних машин та їх показники якості за умов резонансного електромеханічного демпфування коливань.

**Методи досліджень.** В роботі використано загальні положення та методи теорії керування, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь для розрахунків параметрів ЕП та САК ЕП, перевірка ефективності отриманих теоретичних результатів здійснювалася засобами чисельного моделювання в середовищі з використанням інструментальних засобів автоматизації математичних і інженерних обчислень.

**Наукова новизна роботи** полягає в тому, що для оптимізації параметрів САК ЕП технологічних машин запропоновано метод синтезу з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, що дозволить для широкого класу приводів технологічних машин мінімізувати амплітуду коливальних складових моментів двигуна і пружної передачі механізму, а також часу дії пікових динамічних навантажень.

**Практична цінність роботи.** Запропоновані рішення з проектування САК ЕП технологічних машин дозволять збільшити термін служби їх електричного та механічного обладнання, що може бути корисним в інженерній практиці як при створенні нових, так і модернізації існуючих систем керування технологічними об'єктами.

**Наукова апробація роботи.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня:

- Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (16-17 листопада 2017 р., м. Тернопіль),

Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Молода наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування» (9-10 квітня 2019 р., м. Краматорськ), XLI науково-технічній конференції 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 Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» (14-15 листопада 2019 р., м. Житомир).

**Особистий вклад здобувача.** Усі основні результати магістерської роботи, що виносяться на захист, здобувач отримав особисто. Зокрема, виконано аналіз способів демпфування пружних коливань в ЕП технологічних машин, теоретичні дослідження перехідних процесів, розрахунок і моделювання ЕМС технологічних машин з оптимальними параметрами, розробку рекомендацій щодо обрання раціональних способів демпфування коливань та синтезу оптимальних регуляторів САК з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, узагальнення результатів роботи.

**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 літературних джерел.

Загальний обсяг магістерської роботи становить 137 сторінок, в тому числі 18 таблиць по тексту, 24 рисунків по тексту; перелік використаних джерел зі 124 найменувань на 13 сторінках; 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 огляд та аналіз засобів демпфування коливань в електроприводах технологічних машин, зокрема, розглянуто особливості електроприводів технологічних машин з урахуванням специфіки їх режимів функціонування на прикладі металургійних та вантажопідйомних машин, металорізальних верстатів, визначено поняття про демпфування коливань та проаналізовано існуючі види демпферів, виконано огляд способів демпфування коливань в електромеханічних системах технологічних машин, що в підсумку дозволило сформулювати мету та задачі дослідження магістерської роботи.

**В другому розділі** досліджено систему автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, а саме, виявлено аспекти питання взаємозв'язку процесів в електроприводі, здійснено оцінку впливу параметрів механічної частини електроприводу на демпфування коливань в електромеханічній системі, проаналізовано умови досягнення максимального ступеня електромеханічного взаємозв'язку процесів в електромеханічних системах та визначено в загальному випадку співвідношення їх параметрів ЕМС для реалізації резонансного електромеханічного демпфування коливань.

**В третьому розділі** виконано оцінку якості перехідних процесів в системах автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань на прикладі математичної моделі електроприводу рольгангу обтискного стану. Визначено аналітичні залежності для параметрів системи автоматичного керування (регулятор швидкості) електроприводом рольгангу з використанням типових

методик синтезу та за умов реалізації резонансного електромеханічного демпфування коливань, при цьому порівняльний аналіз перехідних процесів та показників якості довів перевагу саме запропонованих налаштувань для пропорційного та пропорційно-інтегрального типу регуляторів швидкості, згідно якому досягнуто зниження коливальності основних координат приводу та часу дії навантажень.

**В четвертому розділі** виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінена їх економічна ефективність, що підтвердило конкурентоспроможність проекту, середній рівень наукової новизни та 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 магістерській роботі розглянута та розв'язана актуальна науково-практична задача дослідження систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного демпфування коливань.

Основні результати, що отримані в магістерській роботі внаслідок виконаних досліджень, наступні:

- проаналізовано системи ЕП технологічних машин та їх особливості з урахуванням специфіки їх режимів функціонування;
- розглянуто особливості динаміки технологічних машин та визначено основні чинники, що суттєво впливають на якість протікання перехідних процесів;
- виконано огляд способів демпфування коливань в ЕП технологічних машин;
- розглянуто питання взаємозв'язку процесів в ЕП та здійснено оцінку впливу параметрів ЕМС, які впливають на демпфуючу здатність ЕП;
- виявлено умови досягнення максимального ступеня електромеханічного взаємозв'язку процесів в ЕМС ;
- визначено аналітичні параметри ЕМС та їх співвідношення для реалізації резонансного електромеханічного демпфування коливань, що забезпечать оптимальні перехідні процеси за критерієм максимум демпфування;
- розроблено математичну модель ЕП на прикладі ЕП рольгангу обтискного стану для дослідження режимів функціонування ЕМС та аналізу її динаміки в режимах накиду навантаження;
- синтезовано регулятор швидкості САК ЕП рольгангу обтискного стану за умов реалізації резонансного електромеханічного демпфування, що забезпечує максимум демпфування коливань в ЕМС;

– оцінено перехідні процеси та якісні показники динамічних режимів ЕМС технологічних машин на прикладі ЕП рольгангу обтискного стану з пружними ланками за умов реалізації резонансного електромеханічного демпфування;

– запропоновано для оптимізації параметрів САК ЕП технологічних машин метод синтезу з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, що дозволить для широкого класу приводів технологічних машин мінімізувати амплітуду коливальних складових моментів двигуна і пружної передачі механізму, а також час дії пікових динамічних навантажень;

– налаштування САК ЕП рольгангу забезпечить підвищення строку служби вузлів механічних передач технологічних машин в 1.25 рази за рахунок зниження коефіцієнту динамічності в 1.7 рази та коливальності в 2 рази при використанні методики синтезу САК ЕП з реалізацією резонансного демпфування коливань;

– запропоновані рішення з проектування САК ЕП технологічних машин за умов реалізації резонансного електромеханічного демпфування дозволять збільшити термін служби їх електричного та механічного обладнання;

– отримані в результаті досліджень висновки можуть бути корисними в інженерній практиці при створенні нових та модернізації існуючих систем керування технологічними об'єктами;

– виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень і оцінка їх економічної ефективності, а саме, оцінка конкурентоспроможності проекту, практичної значущості результатів проекту, вкладу 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. Задорожня І.М Оптимізація роботи кранових електромеханічних систем з метою енергозбереження / І.М Задорожня, А.В. Шапаренко, А.С. Новицький, С.М. Москвін, М.В. Рібоженко // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей МНТК молодих учених та студентів. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – С. 107–108.

2. 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 Х Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2019» (18–20 квітня 2019 р.). – Житомир: ЖДТУ, 2019. – С.124-125.

3. Особливості дослідження динамічних властивостей устаткування для вібростабілізуючої обробки деталей / Задорожня І.М., Держановський Б.І., Чеботарьов Є.В., Рібоженко М.В. // 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. 79-82.

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 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

**Рібоженко М.В. Дослідження систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань.**

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

Магістерська робота присвячена актуальному питанню дослідження систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань.

Синтез якісних та ефективних систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин пов'язаний з багатьма труднощами, оскільки доводиться вирішувати завдання керування виконавчим органом, який пов'язаний з приводним пристроєм за допомогою кінематичної передачі, що має пружні властивості. Пошук комплексного рішення зниження рівня коливань в електроприводі вимагає оцінки взаємозв'язку та взаємовпливу механічних і електромагнітних коливань, тому дієвим способом демпфування коливань вважається використання властивостей саме електроприводу

В роботі для оптимізації параметрів систем автоматичного керування електроприводами технологічних машин запропоновано метод синтезу з реалізацією резонансного електромеханічного демпфування коливань, що дозволить для широкого класу приводів технологічних машин мінімізувати амплітуду коливальних складових моментів двигуна і пружної передачі механізму, а також час дії пікових динамічних навантажень.

Запропоновані рішення з проектування САК ЕП технологічних машин дозволять збільшити термін служби їх електричного та механічного обладнання, що може бути корисним в інженерній практиці як при створенні нових, так і модернізації існуючих систем керування технологічними об'єктами.

*Ключові слова:* електропривод, електромеханічна система, синтез, система керування, демпфування, електромеханічний взаємозв'язок, резонансне електромеханічне демпфування коливань.

## ABSTRACT

Ribozenko M. V. **Research of electric drives automatic control systems of technological machines with realization of resonant electromechanical oscillations damping.**

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 automatic control systems for electric drives of technological machines with realization of resonant electromechanical oscillations damping.

The synthesis of high-quality and efficient automatic control systems for electric drives of technological machines is associated with many difficulties, since it is necessary to solve the problem of controlling the executive body, which is connected to the drive unit using a kinematic transmission with elastic properties.

The research is aimed at the determining a comprehensive solution to reduce the level of oscillations in the electric drive, requires an assessment of the relationship and mutual influence of mechanical and electromagnetic vibrations, while the use of the properties of the electric drive is considered to be an effective way of damping vibrations.

To optimize the parameters of the control system of the electric drive for technological machines, a synthesis method with realization of resonant electromechanical oscillations damping is proposed, which will allow for a wide class of technological machine drives to minimize the amplitude of the vibrational components of the engine moments and elastic transmission of the mechanism, as well as the duration of peak dynamic loads. The proposed solutions for the design of control systems for electric drives of technological machines will increase the life of their electrical and mechanical equipment. The developed recommendations for the development of control systems can be useful in engineering practice when creating new and modernizing existing control systems for technological objects.

*Keywords:* electric drive, electromechanical system, synthesis, control system, damping, electromechanical relationship, resonant electromechanical oscillations damping.

---

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,6

Тираж \_\_\_ прим.

Замовлення №

---

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