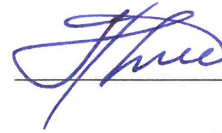


ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”



Т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛАЗКОВА

“ 28 ” 20 24 р.



ВИТЯГ

з протоколу № 2 від 9. 09. 2024 р. розширеного засідання
кафедри Прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки: зав.кафедри, к.т.н., доцент Левченко О.В., доц., к.т.н, доцент, Турик В.Н., доц., к.т.н., доцент Носко С.В., проф., д.т.н., професор, Ковальов В.А., проф. д.т.н., професор Луговський О.Ф., доц., д.т.н., доцент Струтинський С.В., проф., д.т.н, професор Губарев О.П., проф. д.т.н., професор Узунов О.В., доц. к.т.н., Галецький О.С., ст. викл., к.т.н. Костюк Д.В., доцент. к.т.н., доцент Муращенко О.М., асистент Синиця Є.Ю., аспіранти: Кривощев В.Є., Петренко О.Д., Бондар Р.О., Касьян А.В., Ситнюк Г.О., Цимбаленко Г.О., Шаргородський С.В., Юхимчук О.І.

- з кафедри конструювання машин: зав. кафедри, заступник директора ММІ з наукової роботи, д.т.н., професор, Данильченко Ю.М.

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:

технології виробництва літальних апаратів, доц., заступниця директора Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту, к.т.н., доцент Холявік О. В.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки **Лі Цяна** за матеріалами дисертаційної роботи “Електрогідравлічний позиційний привід дискретної дії з програмним керуванням”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Освітньо-наукова програма третього рівня вищої освіти Прикладна механіка.
Тему дисертаційної роботи “Електрогідравлічний позиційний привід дискретної дії з програмним керуванням” затверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового Механіко-машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 28. 12. 2020 року).

Науковим керівником затверджений д.т.н., професор Узунов О.В.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

д.т.н., проф.. Луговський О.Ф., д.т.н., проф.Губарев О.П., д.т.н., проф. Ковалев В.А., к.т.н., доц. Левченко О.В.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

рецензент, к.т.н., доц. Галецький О.С., д.т.н., проф. Губарев О.П., к.т.н., доц. Левченко О.В., керівник, д.т.н. проф. Узунов О.В.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Електрогідравлічні позиційні приводи широко використовуються в машинах та обладнанні різних галузей господарства. Основною функцією приводів такого типу є забезпечення позиціонування робочого органу відповідно до заданої програми. Приводи мають також відповідати комплекту вимог до їх експлуатаційних характеристик, таким як точність позиціонування, робочі швидкості, швидкодія та зусилля на робочому органі, значення яких залежать від конкретних задач.

В ряді задач по переміщенню рухомих елементів автоматизованих ліній або робочих органів промислових роботів, які рухають маси 17...57 кг в задані позиції зі швидкостями 0.3...1.2 м/с, вимоги до точності позиціонування не є занадто високими і становлять $\pm 0.2...0.5$ мм. Важливішим є забезпечення більших робочих швидкостей та швидкодії, які суттєво впливають на витрати часу при виконанні операцій переміщення. Враховуючи, що ці витрати часу можуть перевищувати витрати часу на виконання технологічних операцій, збільшення робочих швидкостей і швидкодії приводу дозволить підвищити загальну продуктивність обладнання.

Як засвідчила практика, використання для вирішення таких задач електрогідравлічних позиційних приводів з пропорційними або слідкуючими розподільниками не виправдане тому, що вони мають значну вартість і підвищені вимоги до стабільності умов використання і чистоти рідин.

Використання гідравлічних приводів з дискретними частотними перемикаючими клапанами не дозволяє забезпечити достатню швидкість і продуктивність обладнання з причини невеликої частоти перемикання клапанів.

Використання гідравлічних приводів з дискретними розподільниками при тому, що вони меншої вартості і мають значні потенційні можливості для забезпечення високих швидкостей і швидкодії, є обмеженим з ряду причин. Це обумовлено: малою кількістю робочих позицій штоку, які задаються упорами або кінцевими перемикачами вздовж його ходу; незначними робочими швидкостями при позиціонуванні значних мас, які обмежуються значними коливальними процесами; значним збільшенням тиску в магістралях при гальмуванні робочого органу; відсутністю можливості програмувати позиції робочого органу з потрібною дискретністю. Зняття цих обмежень або зменшення їх впливу дозволить покращити характеристики приводів такого типу, розширити область їх використання і забезпечити підвищення продуктивності обладнання.

Актуальною задачею є розроблення програмно керованого електрогідравлічного позиційного приводу дискретної дії низької вартості, який спроможний позиціонувати значні маси з програмованою дискретністю і високими робочими швидкостями.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках складової частини «Ресурсоефективне та чисте виробництво (РЕЧВ)» програми "Європейський Союз для довкілля" (EU4Environment) для країн Східного партнерства.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1) Вперше доведено, що підвищення швидкості та швидкодії електрогідравлічного позиційного приводу дискретної дії з програмним керуванням може бути досягнуто за рахунок раціонального вибору його структури та використання двоступеневого алгоритму позиціонування.

2) Вперше, на основі аналізу відомих схемних рішень електрогідравлічних позиційних приводів, виявлено кількісний взаємозв'язок між їх будовою та властивостями, що дозволяє використовувати комплект властивостей приводу і їх кількісні показники як критерії для визначення раціональної структури приводу.

3) Доведено, що удосконалена математична модель електрогідравлічного позиційного приводу, яка враховує нелінійне тертя на основі математичних залежностей ЛуГре, дозволяє моделювати динамічні процеси при гальмуванні, що підтверджено порівнянням з результатами фізичного експерименту при переміщенні робочого органу масою 37 кг на відстань 0.1 м зі швидкістю 1.2 м/с, при цьому, відносна середньоквадратична похибка (RRMSE), не перевищує 17% по швидкості робочого органу і 1% по переміщенню.

4) Вперше, для електрогідравлічного позиційного приводу з дискретним керуванням, визначено проектну область і її вплив на характеристики процесу гальмування при позиціонуванні для: співвідношень площ штокової та поршневої порожнин гідравлічного циліндру 0.4, 0.5, 1.64, 2.0, 2.5; початкових швидкостей в діапазоні 0.311...1.228 м/с; діапазону змін тисків живлення 2.5...12.5 МПа; діапазону змін інерційного навантаження 17...57 кг; діапазону змін величин часу відгуку золотника керуючого розподільника 0...0.05 с, що дозволило вибрати раціональні структуру і параметри приводу відповідно до необхідного комплексу властивостей та характеристик.

5) Вперше, на основі модельних досліджень електрогідравлічного позиційного приводу дискретної дії, отримано залежність впливу часу відгуку золотника розподільника на час гальмування робочого органу в діапазоні змін часу відгуку від 0.005 до 0.05 с для інерційного навантаження в діапазоні 17...57 кг та початкових швидкостей 0.311 та 1.228 м/с, яка має виражений мінімум, що дозволяє, за рахунок вибору раціонального значення часу відгуку, мінімізувати час гальмування робочого органу.

6) Вперше доведено, що двоступеневий алгоритм позиціонування порівняно з традиційним алгоритмом дозволяє покращити експлуатаційні характеристики електрогідравлічного приводу дискретної дії. При цьому, при однакових параметрах приводу і умовах експлуатації, швидкість робочого органу збільшується більш ніж в 1.9 разів при збільшенні точності позиціонування в 5...11 разів.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

- Розроблений електрогідравлічний привід дискретної дії та запропонований двоступеневий алгоритм позиціонування забезпечують можливість програмного керування позиціонування робочого органу з масами 17...57 кг з дискретністю не більше 0.5 мм і робочими швидкостями 0.311...1.228 м/с, що дозволяє підвищити продуктивність обладнання при низькій вартості приводу.
- Виявлений кількісний взаємозв'язок між будовою та властивостями електрогідравлічних позиційних приводів дозволяє скоротити терміни розробки нових технічних рішень відповідно до заданого комплексу властивостей і забезпечити потенційні можливості досягнення їх кількісних показників.
- Визначені кількісні залежності часу гальмування робочого органу від параметрів приводу та умов експлуатації дозволяють скоротити цикл проектування приводів з потрібними характеристиками та зменшити час налаштування при їх експлуатації.
- Виявлений характер впливу часу відгуку золотника розподільника на час гальмування та отримані кількісні залежності дозволяють, за рахунок раціонального вибору характеристик розподільника (час відгуку золотника в межах 0.01...0.02 с), зменшити час гальмування, з врахуванням параметрів приводу та умов експлуатації, в середньому на 50% .

- Запропонований двоступеневий алгоритм позиціонування електрогідравлічного приводу дискретної дії дозволяє підвищити його швидкість в порівнянні з традиційним алгоритмом позиціонування в 1.5...1.9 рази, що при використанні приводу в обладнанні дозволяє суттєво підвищити його продуктивність.
- Розроблена методика проектування електрогідравлічних позиційних приводів дискретної дії та надані практичні рекомендації, які враховують взаємозв'язок між заданими властивостями і будовою приводу, дозволяють використовувати потрібні експлуатаційні властивості як основу для раціонального вибору принципової схеми та значень її параметрів, що призводить до скорочення термінів проектування.

5. Апробація результатів дисертації

Результати роботи доповідались на

International Scientific Conference "UNITECH 2021", 19-20 November 2021, Gabrovo Bulgaria,

Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 30 травня – 1 червня 2023 р., м. Київ.

Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», 01 – 03 червня 2023 р., м. Вінниця.

Міжнародній науково-практичній конференції «Енергоощадні машини і технології», 22 - 24 травня 2024 р., м. Київ.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Лі Цян визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових публікацій, у тому числі:

- 2 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, 131 – Прикладна механіка,
- 1 стаття у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection із квантилем видання Q3;
- 4 тез виступів на наукових конференціях.

- Li, Q., & Uzunov, O. (2022). Quantitative evaluation of properties of structural solutions of electrohydraulic positioning actuators. *Mechanics and Advanced Technologies*, 6(3), 254–261. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.3.267700>

(Стаття, Фахове видання України). Здобувачем виконане збирання та аналіз даних, розвинення теорії та формування висновків виконано сумісно з керівником, підготовлено матеріали для публікації.

• **Li, Q., & Uzunov, O.** (2024). Study on the relationship between structure and properties of electro-hydraulic positioning actuators. *Archive of Mechanical Engineering*, 71(1), 87–107. <https://doi.org/10.24425/ame.2024.149186> (Стаття, Scopus Q3). Здобувачем виконане збирання та аналіз даних, розвинення теорії та формування висновків виконано сумісно з керівником, підготовлено матеріали для публікації.

• **Лі, Ц., & Узунов, О.** (2024). Прогнозування характеристик процесу гальмування дискретного гідроприводу. *Mechanics and Advanced Technologies*, 8(1(100)), 73–79. [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.1\(100\).299707](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.1(100).299707) (Стаття, Фахове видання України). Здобувачем виконане математичне моделювання, представлення та аналіз результатів, розвинення теорії та формування висновків виконано сумісно з керівником, підготовлено матеріали для публікації.

Li Qiang, Uzunov Oleksandr “General analysis of scheme for electrohydraulic positioning actuators”. *International Scientific Conference “UNITECH 2021”*, 19-20 November 2021, Gabrovo Bulgaria, С.276-279. <https://unitech-selectedpapers.tugab.bg/unitech-2021/thematic-sessions/hydraulics-pneumatics-and-heat-engineering-and-mechatronics-metrology-and-quality-management> (Тези, Наукова конференція). Здобувачем написано базову версію тез доповіді, підготовлено презентацію та зроблено доповідь на конференції.

Узунов, О., & Лі, Ц. “Взаємозв’язок між структурою і властивостями електрогідравлічних позиційних приводів”. *XXVII Матеріали науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці»*, 30 травня – 1 червня 2023 р., м. Київ. <https://conf.pgm.kpi.ua/proc/article/download/281966/276185> (Тези, Наукова конференція). Здобувачем сумісно з керівником написано тези доповіді, самостійно підготовлено презентацію та зроблено доповідь на конференції зроблено.

• **Лі, Ц. & Узунов, О.** “Дослідження процесу гальмування гідроприводу дискретної дії”. *III Міжнародна науково-технічна конференція “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту”*, 01 – 03 червня 2023р., м.Вінниця.

<https://publish.vntu.edu.ua/index.php/prmt/index/schedConfs/archive> (Тези, Наукова конференція). Здобувачем сумісно з керівником написано тези доповіді, самостійно підготовлено презентацію та зроблено доповідь на конференції.

• **Лі, Ц.** & Узунів, О. “Підвищення продуктивності електрогідравлічного позиційного приводу дискретної дії”.
V Міжнародної науково-практичної конференції “Енергоощадні машини і технології”, 22 - 24 травня 2024 р., м. Київ.
http://esmt.knuba.edu.ua/?page_id=82 (Тези, Наукова конференція). *Здобувачем написано базову версію тез доповіді, самостійно підготовлено презентацію та зроблено доповідь на конференції.*

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота **Лі Цяна**

“Електрогідравлічний позиційний привід дискретної дії з програмним керуванням”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КІІ ім. Ігоря Сікорського третього рівня вищої освіти Прикладна механіка.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Електрогідравлічний позиційний привід дискретної дії з програмним керуванням”, подану **Лі Цяном** на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КІІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.т.н., професор, проф. кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки НН ММІ КІІ ім. Ігоря Сікорського,

Губарев Олександр Павлович.

Члени:

Рецензенти:

к.т.н., доц., зав. кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, КІІ ім. Ігоря Сікорського,

Левченко Олег Васильович.

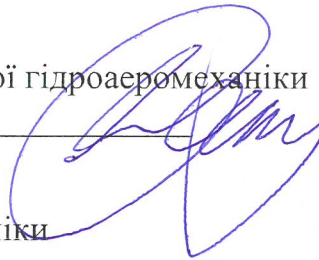
к.т.н., доц., доцент каф. прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки,
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Галецький Олександр Сергійович.

Офіційні опоненти:

д.т.н., проф., зав. кафедри технологічного обладнання та комп'ютерних
технологій проектування Національного університету харчових
технологій,
Якимчук Микола Володимирович.

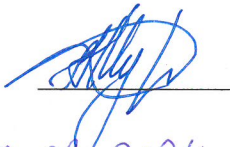
к.т.н., доц. кафедри технологій та автоматизації машинобудування
Вінницького національного технічного університету.
Петров Олександр Васильович.

Головуючий на засіданні
к.т.н., доцент, зав кафедри прикладної гідроаеромеханіки
і механотроніки ННММІ



Олег ЛЕВЧЕНКО

Вчений секретар
кафедри прикладної гідроаеромеханіки
і механотроніки
к.т.н., доц.



Альона МУРАЩЕНКО

20.09.2024