

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

Пересади Сергія Михайловича

на дисертаційну роботу Беляєва Олега Сергійовича

«Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми**

Дисертаційна робота виконана у рамках нового наукового напрямку, створеного на кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «Харківський політехнічний інститут» і пов'язана з широким класом машин і механізмів (прокатні стани, електровози, металорізальні верстати та ін.), навантаженням яких є пара тертя, характеристика якої містить так звану «падаючу» ділянку, на якій збільшення швидкості ковзання супроводжується зменшенням коефіцієнта тертя. У таких випадках виникають специфічні динамічні режими (в тому числі – фрикційні автоколивання), які призводять до погіршення показників технологічного процесу, втрати енергії, а іноді виникають поломки кінематичних ланок.

Електромеханічні системи з кінематичною парою тертя досліджуються протягом багатьох десятиліть з головною метою забезпечити надійне зчеплення і запобігання нелінійних режимів типу ковзання. Водночас фізика процесів у кінематичній парі тертя настільки складна, що надійних аналітичних описів не існує і це обумовлює постійно зростаючий інтерес до цього напрямку досліджень. У науковій школі кафедри «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «Харківський політехнічний інститут» запропоновано новий тип регулятора, що отримав назву «квазінейрорегулятор», який має потенціал для усунення фрикційних коливань. Дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича направлена на розвиток теорії синтезу і аналізу двомасових електромеханічних систем з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором. Враховуючи це можна стверджувати що тема дослідження, продемонстрована в роботі Беляєва О.С., є актуальною і важливою в сучасних умовах.

### ***Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій***

Провівши ретельний аналіз викладеного в дисертації матеріалу, можна зробити висновок, що наукові результати, висновки та методи, наведені в дисертації,

є повністю обґрунтованими та достовірними. Структура дисертації є логічною і демонструє системний підхід до аналізу основної теми дослідження та вибору методів. Достовірність отриманих результатів досліджень підтверджується чітко побудованою методологією, яка включає різні методи, такі як теорія електроприводу, положення теорії автоматичного керування, перетворення Лапласа, математичне моделювання.

Достовірність методів, результатів досліджень, висновків і рекомендацій перевірено на достатній кількості міжнародних і національних науково-практичних конференцій.

### ***Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання***

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

1. на підприємстві ПАТ «ФЕД» (м. Харків), при розробці сучасних зразків нової техніки;

2. у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) – при впровадженні результатів дослідження у навчальний процес кафедри автоматизованих електромеханічних систем під час викладання дисциплін «Теорія електроприводу», «Динаміка електромеханічних систем» (для бакалаврів і магістрів), а також у курсі «Актуальні проблеми сучасного електроприводу» (для аспірантів).

### ***Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях***

Результати досліджень опубліковані у 8 наукових працях, серед яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у зарубіжному періодичному виданні, 3 матеріали апробаційного характеру, опубліковані у збірниках міжнародних конференцій.

Усі основні положення дисертації оприлюднено у співавторстві або одноосібно, з чітко визначеним авторським внеском здобувача, що детально відображено у дисертації.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

### ***Структура і зміст дисертаційної роботи.***

#### ***Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам***

Структура дисертації складається з наступних частин: Вступ, п'ять розділів, висновки, списку використаних джерел та 2 додатків. Основний текст дисертації викладено на 86 сторінках, а загальний обсяг дисертації становить 103 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

У першому розділі здійснено огляд існуючих методів керування електроприводами з фрикційним навантаженням, розглянуто структури електромеханічних систем з пружними кінематичними зв'язками, проаналізовано підходи до синтезу регуляторів і обґрунтовано вибір структури квазінейрорегулятора. Сформульовано мету роботи та задачі дослідження.

У другому розділі обґрунтовано доцільність представлення математичної моделі двомасової електромеханічної системи з пружним кінематичним зв'язком та нелінійним фрикційним навантаженням у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах, що сприяє універсалізації одержаних результатів, проведено лінеаризацію фрикційної характеристики «у великому», отримано аналітичні залежності для меж стійкості системи на основі методу D-розбиття.

У третьому розділі здійснено фізичне і математичне обґрунтування принципу дії квазінейрорегулятора, запропоновано структуру регулятора зі зворотним зв'язком за швидкістю другої маси, наведено відповідні аналітичні співвідношення для обчислення його параметрів.

У четвертому розділі викладено узагальнену методику синтезу електромеханічної системи з квазінейрорегулятором, надані аналітичні вирази для розрахунку вагових коефіцієнтів регулятора в модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах, які забезпечують усунення фрикційних автоколиваний та задані динамічні показники.

У п'ятому розділі розроблено комп'ютерну модель досліджуваної системи, обґрунтовано вибір динамічних режимів для моделювання та виконано моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, проведено аналіз результатів комп'ютерного моделювання.

Список використаних джерел із 90 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Дисертація є добре структурованою, послідовною і завершеною роботою, виконаною автором самостійно. Результати досліджень представлені відповідно до встановлених вимог. Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

### ***Академічна доброчесність***

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві,

використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

### ***Наукова новизна одержаних результатів***

Дисертаційна робота направлена на розвиток теорії синтезу і аналізу двомасових електромеханічних систем з нелінійним фрикційним навантаженням, для керування якими використовується квазінейрорегулятор.

Серед наукових здобутків Беляєва О.С. на особливу увагу заслуговують такі:

1. Обґрунтовано доцільність використання математичної моделі двомасового електромеханічного об'єкта керування в модифікованих нормалізованих безрозмірних координатах з урахуванням фрикційної нелінійності для синтезу квазінейрорегулятора, завдяки чому вперше забезпечується уніфікованість і спрощення його структури.
2. Вперше, на основі алгебраїчних методів дослідження стійкості отримано аналітичні співвідношення для розрахунку меж стійкості замкненої системи керування в залежності від узагальнених безрозмірних параметрів, на основі чого обґрунтовано аналітичні співвідношення для розрахунку вагових коефіцієнтів квазінейрорегулятора у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах, які гарантують стійкість системи у процесі переміщення робочої точки по падаючій ділянці механічної характеристики фрикційного навантаження.
3. Вперше запропоновано структуру квазінейрорегулятора із значеннями його вагових коефіцієнтів за одержаними аналітичними співвідношеннями, яка забезпечує усунення фрикційних автоколивань із використанням лише однієї вимірюваної координати – швидкості другої маси.

### ***Практичне значення результатів дослідження***

Результати дисертаційного дослідження будуть сприяти розв'язанню проблеми формування зчеплення у кінематичних парах для електромеханічних систем багатьох застосувань, а також можуть бути основою для автоматичних систем формування максимального тягового зусилля транспортних засобів.

***Висновки та пропозиції, що викликають певні сумніви, зауваження на окремі суперечності та можуть слугувати підґрунтям дискусії під час захисту дисертації***

Зауважуючи високий рівень дисертаційного дослідження слід зазначити наступні зауваження та дискусійні положення.

1. Автор використовує нестандартне формулювання пунктів наукової новизни, з яких важко встановити, що ж нового в результатах роботи і чим вони відрізняються від великого обсягу принципів досліджень, які отримано вченими цієї наукової школи. Це “вперше”, чи це розвиток, це теорія, метод, або інше, що формує наукову новизну і чим отриманий результат відрізняється від існуючих. Приклад перший пункт наукової новизни “розроблено математичну модель двомасової електромеханічної системи в модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах з урахуванням фрикційної нелінійності та квазінейрорегулятором” і назва статті [14] інших авторів цієї наукової школи. За цих умов перший пункт наукової новизни бажано представити у наступному вигляді. Обґрунтовано доцільність для синтезу і аналізу електромеханічної системи з квазінейрорегулятором використовувати математичну модель двомасового електромеханічного об’єкта керування в модифікованих узагальнених безрозмірних (нормованих) координатах.
2. Сам перший пункт наукової новизни важко трактувати, це ж зберігається і по тексту, де ж мова іде про математичну модель двомасового електромеханічного *об’єкта керування*, а де про “математичну модель двомасової електромеханічної *системи* .....з квазінейрорегулятором”?
3. У третьому пункті наукової новизни спостерігається перебільшення можливостей методу D-розбиття в частині забезпечення заданих показників якості процесів регулювання. П’ятий пункт зазвичай відноситься до практичної значимості. Загальні висновки і висновки за розділами дуже обмежені і більше нагадують перелік того, що зроблено.
4. Автор використовує велику кількість спрощень і припущень, які бажано обґрунтувати. Наскільки ці припущення є критичними і обґрунтованими? В монографії керівника наведені унікальні експериментальні перехідні процеси нелінійних фрикційних коливань, чи була спроба попрацювати з ними в умовах моделювання?
5. Повноцінного дослідження динамічних процесів в електромеханічній системі при роботі на усій характеристиці зчеплення з переходами між ділянками не проводилося. Наскільки це впливає на працездатність і досягнення мети роботи?
6. В роботі є нестиковки, використання нетипової для систем керування термінології: стабільність – стійкість, корені характеристичного полінома – корені характеристичного рівняння, вільне використання визначення «оптимальний» та інші. На сторінці 17 порушено нумерацію літературних джерел, на мал. 1.1 відсутні позначення, на стор. 33 двічі надано опис змінних, використання аббревіатури КНР виглядає не дуже доцільним.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має наукову цінність та практичну значущість.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Беляєва Олега Сергійовича «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу спрямовану на створення методики синтезу у модифікованих узагальнених безрозмірних параметрах двомасової електромеханічної системи з пружним кінематичним зв'язком і нелінійним фрикційним навантаженням та квазінейрорегулятором, що забезпечує усунення фрикційних автоколиваний.

Подана дисертаційна робота «Синтез двомасової електромеханічної системи з нелінійним фрикційним навантаженням і квазінейрорегулятором» Беляєва О.С. відповідає спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Беляєв Олег Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

Професор кафедри автоматизації  
електромеханічних систем та  
електроприводу, д.т.н.

20.08.2025

Сергій ПЕРЕСАДА

