

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**Гаврилюка Сергія Івановича** «Системи автоматичного керування  
безредукторними асинхронними електроприводами з аеродинамічним  
навантаженням», яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних  
наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

### **Обґрунтування вибору теми дослідження**

З огляду на стрімке зростання світового флоту та необхідність підвищення безпеки судноплавства, сучасні судна обладнуються більш якісними та складними радіонавігаційними системами і комплексами, за допомогою яких вирішуються питання безпеки плавання та зв'язку. Навігаційні радіолокаційні станції (РЛС) забезпечують визначення місця судна за орієнтирами, розпізнавання берегової лінії, орієнтування в умовах обмеженого простору, виявлення суден та безпечно розходження з ними. Однією із основних вимог до навігаційних судових РЛС є робота в секторному режимі. Цей режим призначений для огляду ближньої надводної обстановки, що обумовлює підвищені вимоги до швидкодії і точності визначення можливих перешкод по курсу судна. Тому система автоматичного керування електроприводом антенного поста навігаційних судових РЛС повинна забезпечити максимальну швидкодію відпрацювання заданої швидкості обертання при переході від неробочого до робочого сектора та необхідний рівень динамічної точності відпрацювання задання частоти обертання, особливо в умовах змінного вітрового навантаження.

До електроприводів антенних постів судових РЛС пред'являються високі вимоги по надійності та безаварійному строку служби. Цим вимогам відповідають безредукторні електроприводи, в тому числі і з використанням дугостаторних асинхронних двигунів, які застосовуються в існуючих РЛС. Використання безредукторних електроприводів для антенних постів судових навігаційних РЛС дозволяє позбутися люфтів та пружностей, властивих механічним передачам і, завдяки цьому, покращити показники якості регулювання робочого органу РЛС.

Одним із способів розширення діапазону регулювання швидкості робочого органу антенних постів є застосування принципу електромеханічного диференціалу, а для підвищення динамічної точності відпрацювання керуючої дії – застосування двоканальних систем, замкнених за швидкістю.

Розгляд цих питань в комплексі дозволяє підвищити показники якості керування в електромеханічних системах РЛС. Тому створення систем



автоматичного керування безредукторними електроприводами із стохастичним аеродинамічним навантаженням, з розширеним діапазоном регулювання швидкості та з покращеними динамічними показниками якості керування є актуальною науковою задачею, вирішенню якої і присвячена дисертаційна робота.

### **Наукова новизна.**

Новизна наукових дисертаційної роботи полягає в розробці нових методів керування безредукторним електроприводом на основі дугостаторних асинхронних двигунів, встановленні нових співвідношень в безредукторному електромеханічному диференціалі, обґрунтуванні можливості побудови спеціальної електричної машини для реалізації безредукторного електромеханічного диференціалу, що в сукупності дозволяє підвищити показники якості регулювання координат електромеханічних систем РЛС. До основних наукових результатів слід віднести наступне:

1. Запропоновано метод керування електроприводом із стохастичним аеродинамічним навантаженням та компенсуючим зв'язком за невимірюваним збуренням шляхом його непрямого визначення з використанням нової встановленої залежності моменту навантаження на валу електропривода антенного поста РЛС від швидкості повітряного потоку, кута повороту та швидкості обертання антени.

2. Удосконалено метод підвищення стабільності і рівномірності руху робочих органів РЛС шляхом використання безредукторного електроприводу з двоканальним керуванням, який забезпечує розширення діапазону регулювання швидкості.

3. Встановлено співвідношення швидкостей та моментів в безредукторному електромеханічному диференціалі, що дало змогу здійснити синтез двоканальної системи автоматичного керування швидкістю, яка забезпечує компенсацію кінематичної похибки при відпрацюванні лінійно-наростаючого задання швидкості.

4. Обґрунтовано можливість побудови спеціальної електричної машини з обмотками на статорі та роторі та механічним розділенням основного і проміжного роторів, яка забезпечує основу для створення безредукторного електромеханічного диференціалу з двоканальним керуванням.

**Практична цінність** результатів роботи полягає в тому, що запропоновані методи керування, нові залежності та розроблена конструкція спеціальної електричної машини для електромеханічного диференціалу дозволяють підвищити точність стабілізації кутової швидкості РЛС, динамічні показники якості при секторному режимі роботи, підвищити надійність електромеханічної системи за рахунок відмови від редуктора, що в сукупності дозволить підвищити рівень



безпеки судноплавства. Практична цінність результатів досліджень дисертації підтверджується наведеними в додатках актами про їх впровадження у ТОВ «Науково-технічна фірми ТЕМС» та ТОВ «НВП «Техносервіспривод».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна**

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних аналітичних та чисельних методів, збігом теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на загальновідомих фундаментальних положеннях електродинаміки та теоретичної електротехніки, теорії електричних машин, теорії електроприводу, теорії автоматичного керування, теоретичної механіки, засобів математичного моделювання.

**Мова і стиль дисертації та автореферату** в повній мірі відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та об'єктивно відображає основні результати роботи. Використання чужих наукових результатів без посилання на авторів у дисертації не виявлено.

### **Структура та зміст роботи**

Дисертаційна робота викладена на 150 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків.

**У вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність виконання роботи, сформульовано мету та задачі наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів дисертації та наведено дані про їх апробацію і публікації.

**У першому розділі** розглянуто та проаналізовано сучасний стан розвитку систем керування безредукторними електроприводами в електромеханічних системах з аеродинамічним навантаженням. Встановлено, що основним завданням для таких систем є збільшення діапазону регулювання швидкості при одночасному забезпеченні підвищеної статичної і динамічної точності.

На основі аналізу існуючих систем електроприводів антен РЛС встановлено, що існуючі системи, зокрема на основі дугостаторних двигунів, не забезпечують



необхідного рівня динамічної точності, що є важливим для секторного режиму огляду.

На підставі викладеного у розділі матеріалу та аналізу обґрунтовано важливість та доцільність розробки нових методів підвищення швидкодії та точності регулювання безредукторними електроприводами із стохастичним аеродинамічним навантаженням, розширеним діапазоном регулювання швидкості та покращеними динамічними показниками якості керування.

**У другому розділі** проведено розрахунок енергетичних показників торцевого дугостаторного асинхронного двигуна для електроприводу антен РЛС, який складається з чотирьох розімкнутих по магнітному потоку індукторів потужністю 500 Вт кожен.

Отримано функціональну залежність моменту навантаження на валу електроприводу антени від трьох змінних: кута повороту антени, швидкості повітряного потоку і кутової швидкості обертання антени. Розроблено функціональну схему системи керування швидкістю обертання антени РЛС з пропорційно-інтегральним нечітким логічним контролером. Здійснено синтез комбінованої системи керування та проведено аналіз її графіків перехідних процесів пуску електроприводу антени без навантаження з подальшим прикладенням моменту навантаження.

**Третій розділ** присвячено розробці математичної моделі та синтезу системи керування безредукторним електроприводом з електромеханічним диференціалом. Запропоновано нове технічне рішення на основі використання безредукторного електромеханічного диференціалу. Також встановлено співвідношення швидкостей та моментів в безредукторному електромеханічному диференціалі, яке враховує перехресні зв'язки між його електродвигунами. Проведено синтез замкненої за швидкістю системи керування для безредукторного електроприводу з електромеханічним диференціалом та аналіз усталених і динамічних режимів роботи.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню статичних та динамічних режимів двоканальної системи керування безредукторним електроприводом з електромеханічним диференціалом, замкненої за кутовою швидкістю. Представлено метод підвищення динамічної точності системи керування на основі спільного використання електромеханічного диференціалу та принципу двоканального керування, що дало змогу зменшити динамічну похибку при відпрацюванні задання швидкості.

У п'ятому розділі розроблено функціональні схеми для реалізації системи керування електроприводом обертання антени на основі дугостаторних двигунів та конструкцію дослідного зразка безредукторного електроприводу з електромеханічним диференціалом.

У додатку представлено зовнішній вид розробленого стенду та експериментально зняті механічні характеристики асинхронного тихохідного двигуна, на основі якого здійснювалися дослідження, список публікацій автора, акти впровадження та апробація результатів дисертації.

### **Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях**

За напрямком дисертаційних досліджень здобувачем опубліковано 12 наукових праць, зокрема 8 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 – у виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS), 3 патенти на корисну модель України, 1 авторське право на науковий твір.

Перелічені роботи повною мірою відображають наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

**Автореферат** ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст по розділах та висновки. Дисертаційна робота та реферат оформлені у відповідності з вимогами МОН України, що ставляться до кандидатських дисертацій.

### **Зауваження по роботі.**

1. Системи векторного керування асинхронними двигунами забезпечують діапазон регулювання кутової швидкості на рівні 1:1000 і вище. Безредукторні електроприводи на їх основі можуть забезпечити ефективне керування кутовою швидкістю антени РЛС. Тому в роботі було б доцільно більш вагомо обґрунтувати необхідність застосування нестандартних електричних машин і методів частотного керування.
2. Корекція по каналу збурення дійсно може підвищити динамічні показники якості системи керування, якщо її ввести в рівняння для моментотворюючого струму системи векторного керування. В роботі ж така корекція використовується при формуванні завдання на кутову швидкість



- для системи частотного керування (рис. 2.16), що ставить під сумнів її ефективність через відомі недоліки систем частотного керування.
3. В роботі замість нелінійної моделі асинхронного двигуна використано спрощену лінійну модель, яка, в тому числі, не враховує крайові ефекти, про які автор згадує в другому розділі. Це є суттєво спрощуючим припущенням, яке дещо знижує цінність отриманих результатів.
  4. Назва «пропорційно-інтегральний нечіткий логічний контролер» викликає непорозуміння. По перше на рис. 2.16 представлено лише блок нечіткого регулятора, без ПІ-регулятора. Чому цей контролер названо логічним? В роботі не обґрунтовано використання методу нечіткої логіки, а його реалізація представлена тільки у вигляді функціональних схем.
  5. Є певні неузгодження у вихідних даних, які стосуються швидкості вітру. Зокрема в таблиці 1.1 вказується, що четвертий індуктор підключається при швидкості вітру на рівні 40 – 50 м/с. Проте по шкалі Бофорта, швидкість вітру більше 33 м/с відповідає урагану, при якому судноплавство є неможливим. Зокрема це підтверджує і автор на стор. 69, коли говорить що під час шторму (швидкість вітру по шкалі Бофорта на рівні 20 – 24 м/с) антена примусово зупиняється.
  6. Не зрозуміло, чому автор в розділі 2.1 порівнює енергетичні показники електричних машин такої різної потужності – 1 МВт та декілька кіловат. Також не зрозуміло, результати, які зведено в таблиці 2.1 та 2.2 – це результати розрахунків автора чи взяті з літературних джерел?
  7. Як свідчать результати математичного моделювання та їх аналіз на стор. 74,75, динамічна похибка регулювання швидкості знаходиться у межах 1.2 – 5 % в залежності від величини моменту навантаження, що не відповідає вимогам до електроприводу, вказаним на стор. 34.
  8. У розділі 5 практична реалізація розробленої системи керування представлена тільки на рівні функціональних схем.
  9. По тексту роботи зустрічаються граматичні помилки та недоліки оформлення, деякі повтори у визначеннях. Зокрема рис. 1.7 має дуже низьку якість, невірне посилання на формулу (2.8) на стор. 66, на рисунках другого розділу не підписані осі координат, що ускладнює розуміння представлених результатів.

Перелічені недоліки дещо погіршують загальне позитивне враження від дисертації, але не зачіпають суті виконаних досліджень.

### Висновок

Дисертаційна робота Гаврилюка Сергія Івановича є завершеною науковою працею, містить висунуті здобувачем наукові положення та обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що вирішують важливу науково-прикладну задачу, яка полягає у розробці систем автоматичного керування безредукторними асинхронними електроприводами з покращеними динамічними показниками якості керування та розширеним діапазоном регулювання швидкості.

Мета роботи, поставлені та вирішені задачі, викладені наукові та практичні результати дозволяють зробити висновок, що дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

На підставі аналізу дисертаційної роботи «Системи автоматичного керування безредукторними асинхронними електроприводами з аеродинамічним навантаженням», можна зробити висновок, що за актуальністю, науковим рівнем та отриманою науковою та практичною цінністю результатів вона відповідає вимогам пунктів 9 і 11 «Порядку присудження наукових ступенів» до кандидатських дисертацій, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. №567 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 656 від 19.08.2015р., а її автор Гаврилюк Сергій Іванович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент:

доцент кафедри автоматизації  
електромеханічних систем та електроприводу,  
Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”,

д. т. н., доцент

С. М. Ковбаса

Підпис доц. Ковбаси С.М. засвідчую.

Вчений секретар

Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”

к. т. н., доцент



В. В. Холявко