

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Зейна Алі Вахіба

**«Розробка цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження наземного рухомого об'єкту»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування

**Актуальність теми.** Сьогодні набуває високе значення рішення задач, що пов'язані з створенням електронних телематичних систем управління рухомими об'єктами. Велика увага приділяється внутрішній та зовнішній телематики, електронним приладам спостереження за дорожнім середовищем. Перш за все, це відноситься до спеціальних транспортних машин та систем (військові гусеничні та колісні машини). В таких системах спеціального призначення важливе місце займає апаратура, що призначена для візуальної оцінки дорожніх ситуацій та дорожнього середовища.

Часто людина-оператор спостерігає за відповідними обставинами, спостерігає об'єкти та інших учасників дорожнього руху за допомогою електронного приладу, що автоматично відбиває візуальне уявлення цих об'єктів. Як правило, такі електронні прилади являють собою ланцюжок людина-комп'ютер-прилад спостереження з множинними прямими та зворотними зв'язками. Особливою є те, що транспортна машина, військова техніка і інші спеціальні транспортні машини рухається в умовах великих зовнішніх збурень. Наслідок-вібрація та коливання і відповідні завади.

Автор роботи зосередив свою увагу на усунення саме цих наслідків руху у системі стабілізації поля зору спостереження, удосконалення її системи автоматичного керування за метою підвищення точності стабілізації відповідних підсистем. Він розглядає оригінальні рішення у застосуванні слідкуючої електромеханічної системи. Він застосовує гіроскопічну систему в її сенсорній час-

тині, визначає структуру і значення варійованих параметрів алгоритмів керування усуненням зовнішніх збурень. Слід відмітити, що така тематика досліджень за своїми науковими та практичними результатами корисна, по-перше, як для оборонних організацій та підприємств так і для більш широкого загалу державних транспортних і дорожніх установ, а, по-друге, усім учасникам дорожнього руху.

Тому дисертаційна робота Зеїн Алі Вахіба, що присвячена розв'язанню завдань створення цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження наземного рухомого об'єкту, є своєчасною та актуальною.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність та наукова новизна.** Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечена несуперечливою постановкою задачі, узгодженістю з базовими теоретичними положеннями, математично коректним використанням методів теорії автоматичного керування, а саме, методів аналізу та синтезу слідкуючих систем, цифрових систем керування процесом стабілізації приладів спостереження. Відповідні аналітичні перетворення виконано математично коректно.

Достовірність отриманих результатів також визначається їх практичним впровадженням у науково-дослідні роботи за замовленням Львівського науково-дослідного науково дослідного радіотехнічного інституту державної компанії «Укроборонпром» та у навчальний процес НТУ ХПІ. Зміст роботи апробований на наукових конференціях, семінарах, науково-технічною експертизою матеріалу отриманого автором патенту як одного з результатів його досліджень. Дисертаційна робота Зейна Алі Вахіба являє собою завершене одноосібне дослідження, яке містить сукупність важливих наукових та практичних результатів, що свідчить про особистий внесок автора в науку.

**У першому розділі** роботи на основі ретельного аналізу науково-технічної і патентної літератури автором зроблені висновки, що, по-перше, сучасна система стабілізації поля зору приладу спостереження повинна бути по-

будована на індикаторному принципі і містити цифровий електронний блок стабілізації. По-друге, практично усі технічні рішення, що спрямовані на підвищення точності комплексів керуемого озброєння і захищенні патентами на винаходи, спрямовані на підвищення точності стабілізації лазерного променя танкового прицілу-далекоміру, а також точності стабілізації керуємої ракети відносно лазерного променя. По-третє, потрібна заводо захищеність цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження цифрових низькочастотних фільтрів при використанні гіростабілізованої платформи, або застосуванням безплатформеної інерціальної системи, що містить гіротахеометри в якості чутливих елементів.

**У другому розділі** дисертаційної роботи автором проведена порівняльна оцінка точності стабілізації поля зору приладу спостереження відносно заданого напрямку при застосуванні стабілізаторів різного типу, а саме, силових стабілізаторів, індикаторних стабілізаторів аналогового типу та індикаторних стабілізаторів цифрового типу. Автором запропонована оригінальна математична модель збуреного руху гіростабілізованої платформи, яка, на відміну від відомих моделей, враховує наявність "сухого" тертя у вісях карданового підвісу. За допомогою методу гармонічної лінеаризації нелінійностей оцінені амплітуди автоколивань рамок гіростабілізованої платформи. Значення цих амплітуд визначають точність силової стабілізації поля зору танкового прицілу.

Аналіз точності індикаторного стабілізатора аналогового типу довів, що пропорційний закон стабілізації не в змозі забезпечити високу точність стабілізації лінії прицілювання, яка перевищувала б точність силового стабілізатора. Тільки пропорційне-диференціальний закон стабілізації може забезпечити потрібну точність стабілізації лінії прицілювання за допомогою індикаторного стабілізатора аналогового типу. Що стосується індикаторних стабілізаторів цифрового типу, то тільки застосування в цифровому електронному модулі цифрових низькочастотних фільтрів може забезпечити необхідну точність стабілізації поля зору танкового приладу-далекоміру.

У **третьому розділі** розглянуті фільтруючі властивості цифрових низько-частотних фільтрів. Запропоновані дві методики синтезу нерекурсивних низько-частотних фільтрів. Перша полягає у виборі параметрів фільтра із заданою смугою пропускання, а друга полягає у побудові оптимального фільтра з мінімальною площею під його амплітудно-частотною характеристикою при частотах, що перевищують смугу пропускання нерекурсивного фільтра. Обидві методики дають практично однакові результати, які приводять до висновку, що нерекурсивні фільтри не забезпечують потрібну заводо захищеність індикаторних стабілізаторів з цифровим електронним блоком. Застосуванням ж рекурсивних фільтрів, зокрема фільтрів Баттеруорта другого і третього порядків, у сукупності з цифровими диференціюючими фільтрами Ланцоша дозволяє побудувати цифровий пропорційно-диференціюючий стабілізатор поля зору приладу спостереження власної заводо захищеності.

**Четвертий розділ** дисертаційної роботи присвячений розробці цифрового стабілізатора поля зору приладу спостереження на основі принципів побудови безплатформених інерціальних систем (БІНС). Якщо джерелом виникнення високочастотних завод в приладах спостереження являються вимушені коливання рамок гіростабілізованої платформи, то при застосуванні БІНС високочастотні і складні гіроплатформи в системах стабілізації лінії спостереження відсутні, а кути відхилення між лінією спостереження і напрямком на ціль не вимірюються, обчислюються в бортовій обчислювальній машині за допомогою спеціальних алгоритмів. В роботі доведено, що застосування принципів БІНС чи виключення зі складу апаратури стабілізатора гіроплатформи майже в 2,5 рази підвищує точність стабілізації поля зору приладу спостереження. Автором також досліджена залежність точності з принципами БІНС, від періоду квантування бортової ЕОМ. Так, достатня точність стабілізатора може бути досягнута при  $T \leq 0,01$  с.

Таким чином, достовірність усіх наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, обґрунтована і сумнівів не викликає.

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі виконаних досліджень вирішено важливу науково-прикладну задачу розробки цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження наземного рухомого об'єкту, яка полягає у виборі структури і значень варійованих параметрів алгоритмів керування, що забезпечують високу точність стабілізації лінії спостереження відносно заданого напрямку. Можна погодитися з задекларованими та отриманими автором такими новими результатами, а саме:

- вперше розроблена структура і отримані чисельні значення параметрів цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження індикаторного типу для наземного рухомого об'єкту;
- отримана подальший розвиток методико-параметричного синтезу цифрових низькочастотних фільтрів;
- вперше доведена можливість використання в стабілізаторах поля зору приладів спостереження наземних рухомих об'єктів безплатформених інерціальних систем;
- досліджений та визначений вплив величини періоду квантування цифрового електронного блоку на точність стабілізації поля зору приладу спостереження відносно заданого напрямку.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась на кафедрі інформаційних технологій і систем колісних і гусеничних машин імені О.О. Морозова у відповідності з госпдоговірною темою між державним Підприємством "Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут" Державної компанії "Укроборонпром" та НТУ "ХПІ" "Інформаційно-керуючі системи для колісних та гусеничних машин спеціального призначення (2006-2012 р.р.)", де здобувач був виконавцем окремого етапу.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що запропоновані методи та моделі дають змогу:

- синтезувати структурні та функціональні схеми цифрових систем стабілізації поля зору приладів спостереження наземних рухомих об'єктів;

- здійснити порівняльний аналіз стабілізаторів поля зору приладів спостереження різного типу, а саме, силових стабілізаторів, індикаторних стабілізаторів аналогового типу, індикаторних стабілізаторів цифрового типу, що побудовані із застосуванням принципів БІНС;

- дослідити вплив величини періоду квантування цифрового електронного блоку на точність стабілізації лінії спостереження відносно заданого напрямку.

Також практичні розробки дисертаційної роботи Зейна А.В. впроваджено в ДП "ЛНДРТІ" при створенні танкової цифрової керуючої системи, а також в навчальному процесі.

**Апробація і повнота викладення нових наукових результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.** Повнота викладення нових наукових результатів підтверджена науковими публікаціями у фахових виданнях та апробацією результатів на міжнародні вітчизняних науково-технічних конференцій. Основні результати, що отримані в дисертаційній роботі, опубліковані у 8 наукових працях: 5 опубліковано у наукових виданнях України, 1 - в іноземному періодичному фаховому виданні. Автором також отримано патент України на винахід, 1 стаття опублікована в матеріалах Міжнародної науково-технічної конференції. Ряд періодичних видань, де опубліковані наукові праці автора включені до Міжнародних наукометричних баз даних: SCOPUS, та Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, російська база РИНЦ.

### **Зауваження по дисертаційній роботі:**

1) у першому розділі на стор.15 приведений рис.1.2, пояснює дію озброєння «Кобра» з ракетою 9М112 вже знятий з озброєння. Слід було, перш-за-все, звернути більше уваги на пояснення принципу дії російського комплексу «Реф-

лекс» та українського комплексу «Комбат», де застосовуються ракети 9M119 із головкою самонаведення;

2) у другому розділі на стор.27 дисертації і стор.5 автореферату приведена модель збуреного руху рамок гіроплатформи, що враховує нелінійність системи корекції, а також рідинне тертя. Однак, у той же час ця модель не враховує рідинне тертя у вісях рамок. Це надає можливість завищеної оцінки частоти автоколивань рамок гіроплатформи;

3) у третьої частини дослідження недостатньо повно наведено як обирати деякі параметри, наприклад, параметр  $W_c$  (підрозділ 3.2 розгляд фільтрів Баттерворту);

4) не можна погодитися з описом реалізації алгоритмів стабілізації (формульний опис співвідношення 11-14 автореферату підрозділу 4.4 на стор. 106-108 роботи), не зовсім ясно їх практично можна здійснити. Не зовсім ясно і не достатньо обґрунтована процедура оцінки точності стабілізації без платформного індикаторного стабілізатору ;

5) недоліком роботи є занадто математизований опис результатів. Деякі наведені аналітичні співвідношення потребують додаткових пояснень (розділ 4).

6) у роботі є деякі помилки як стилістичного характеру, так і помилки у формальному запису аналітичних співвідношень, наприклад, на рисунках 2.6, 2.7, 2.9, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 (замість грецької букви  $\omega$  застосовується мала латинська буква  $w$ ).

**Підсумковий висновок по дисертації.** Як підсумок, можливо констатувати, що розглянута дисертаційна робота є повноцінним науковим дослідженням. Її наукові результати є новими, обґрунтованими, підтвердженими на практиці. Робота є завершеною, логічною за послідовністю розгляду і викладенням матеріалу, з системним підходом, глибоким аналізом задач, правильним підбором методів їх вирішення. Запропоновані моделі коректні та доведені до застосування, що підтверджено результатами апробації і впровадження. Дисертація і автореферат написані грамотною науковою мовою, оформлення виконане у відповідності до вказівок департаменту атестації кадрів МОН України, а зміст ав-

тореферату адекватно відбиває зміст роботи. Отримані результати мають як наукове, так і практичне значення для удосконалення існуючих та створення нових приладів спостереження рухомих об'єктів, спеціальних транспортних машин та систем.

Актуальність поставленої у роботі теми, новизна отриманих результатів, їх достовірність і обґрунтованість, застосовані автором методи вирішення науково-технічних задач дають підставу вважати, що робота Зейна А.В. «Розробка цифрової системи стабілізації поля зору приладу спостереження наземного рухомого об'єкту», відповідає спеціальності 05.13.03 – системи та процеси керування, пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а також задовольняє вимогам департаменту атестації кадрів МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а Зейн Алі Вахіб заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування.

Офіційний опонент доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інформаційних технологій і мехатроніки  
Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету

О.П. Алексієв