

## В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертацію ФЕСЕНКА Сергія Вікторовича “**Вплив проникаючого акустичного випромінювання на поліагрегатний підвіс гіроскопа і похибки вимірювань на резонансному рівні**”, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.03 – Гіроскопи та навігаційні системи

На сучасному етапі розвитку озброєння в планах супердержав лежить ідея створення абсолютно нового типу озброєння, яке неможливо перехопити засобами ПРО, не кажучи вже про завдання удару у відповідь.

На протязі тривалого часу розробляють гіперзвукові ракети, котрі в змозі нанести удар за лічені хвилини з будь-якої точки світу. Атака таким озброєнням повністю знешкодить супротивника, знищивши всі його балістичні ракети ще на стартових позиціях, паралізувавши управління військами і ліквідувавши політичне керівництво країни. Переможець в гонці за гіперзвук отримує неймовірну перевагу над противником і можливість повного обеззброєння його ядерних сил.

Згідно з цим планом, буде можливо протягом однієї години нанести удар в будь-якій точці світу, повністю знешкоджуючи супротивника без ядерної зброї.

Концепція розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на найближчі 25 років окреслює розвиток шляхів та інтеграції технології цього сегменту авіації. Ця концепція визначає головні напрямки науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у даній сфері.

Кожний військовий підрозділ цих апаратів містить наземні комплекси керування, супутникові системи та інше обладнання, без якого БПЛА не може успішно вирішувати тактичні задачі.

В умовах суборбітальної і атмосферної навігації набуває вирішального значення проникаюче акустичне випромінювання, що генерують в приладах і системах інерціальної навігації численні нелінійні коливання. За певних умов проникаюче акустичне випромінювання, як з'ясувалося, набуває першорядного значення з точки зору негативного впливу на бортову апаратуру. За певних умов проникаюче акустичне випромінювання, як з'ясувалося, набуває першорядного значення з точки зору негативного впливу на бортову апаратуру. Побудовані розрахункові моделі пружної взаємодії проникаючого акустичного випромінювання з елементною базою ЛА, що надали можливість встановити попередню кількісну і якісну характеристики цього впливу.

**Метою** дисертаційних досліджень автора слугує аналіз умов прояву хвильового співпадання в підвісі поплавкового гіроскопа внаслідок впливу акустичного випромінювання при льотній експлуатації і пояснення природи виникнення додаткових похибок вимірювань на резонансному рівні.

Наукові дослідження проводилися автором на кафедрі біотехніки та інженерії «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до Технічного завдання запланованих робіт, передбачених наступними Договорами:

- НДР «Фокусування енергії і виникнення зон каустики в поліагрегатних системах під дією потужної N-хвилі», державний реєстраційний номер 0112U008154 від 23.10.2012 р. (здобувачем здійснена наладка ультразвукової установки *MINI ULTRASONIC CLEANER MODEL 3560* для проведення стендових випробувань датчика кутових швидкостей ДУСУ2-30В. З'ясовано причину появи зон концентрації енергії акустичного променя (*zone kaustikos*) в рідинностатичному підвісі приладу, розраховано радіуси зон каустик. Окреслені зони акустичної тіні в підвісі);

- НДР «Суборбітальні і атмосферні гіперзвукові технології і проблеми Тетра-аеронавігації при вирішенні загальнонаціональних інтересів у сфері безпеки» державний реєстраційний номер 0116U006757 від 03.06.2016 р. (здобувачем здійснена *Наладка ультразвукової установки MINI ULTRASONIC CLEANER MODEL 3560 та блоку ультразвукових випромінювачів марки УЗП-6-1. Проведені напівнатурні дослідження стану зануреного в рідину мідного кільця, доведено формування глобального рушійного потоку під дією звукового променя та локальних, менших за потужністю, плинних потоків. З'ясовано, що аберація звукових хвиль, які випромінюються поздовжньою хвилею посудини в рідину, слугує концентрації звукової енергії, яка породжує висхідний потужний рушійний потік у вигляді циліндричної спіралі. Експериментально розкритий зміст і динаміка розвитку плоскої каустики в площині шпангоута корпусу гіроскопічного приладу ДУСУ2-30В).*

У **Вступі** обґрунтовується актуальність наукових досліджень та розкривається сутність вирішуємої задачі, окреслюється **об'єкт, предмет і мета** досліджень, формат апробації результатів, **наукова новизна та практична цінність** результатів.

У розділі **Аналіз стану вивчаємої проблеми досліджень** здійснюється поглиблене вивчення природи виникнення зони каустики в поліагрегатному підвісі поплавкового гіроскопа і подальший вплив її на виникнення додаткових похибок гіроскопа в експлуатаційних умовах як першопричин породження технологічних ризиків аеронавігації, надається технічна характеристика сучасних гіперзвукових літальних апаратів, вирішення комплексних задач для оборонної галузі: аналізується і окреслюється значення питань маскуванню та обмеженої примітності деяких типів оборонної техніки – окопу для танка у фортифікаційних спорудах відкритого типу, субмарини, літаків тактичної палубної авіації.

**Перший розділ** присвячений побудові розрахункових моделей пружної взаємодії проникаючого акустичного випромінювання з поліагрегатним підвісом серійно випускаемого авіаційною промисловістю двоступеневого гіроскопа класу ДУСУ2. Аналіз причин і ступеня прояву резонансних явищ при зміні та співвідношення симетричної та антисиметричної складової механічного імпедансу корпусу.

Наближену розрахункову модель побудовано з огляду на наявний великий хвильовий розмір  $1 \ll kR$ , що дозволяє спростити вихідні чинники в аналітичній структурі явища, замінивши оболонкову частину корпусу на дискретно-неперервну сукупність тонких пластин нульової кривизни.

Вивчення явища за умови детального розгляду окремих частотних зон акустичного випромінювання – вищих за граничну  $f_{cp} < f$  та нижчих за граничну  $f < f_{cp}$ , та наявної значної величини хвильового розміру корпусу приладу дозволили детально проаналізувати умови виникнення локальних особливостей підвісу гіроскопа в експлуатаційних умовах.

При невеликому антисиметричному імпедансі  $Z_a \ll Z_c$  резонансні явища формуються згинними коливаннями корпусу і досягають своїх максимальних значень при кутах співпадання  $\theta_c = 21^\circ 07'$ , а при незначному симетричному імпедансі  $Z_c \ll Z_a$  хвильове співпадання (геометричний резонанс) формується коловими хвилями при значеннях кута співпадання  $\theta_c = 3^\circ 41'$ . Лабораторні дослідження підтвердили адекватність розрахункової моделі реаліям експлуатаційних умов.

Побудована уточнена розрахункова модель, для незначного хвильового розміру корпусу приладу, надала можливість додатково окреслити формування ще одного резонансу колових хвиль на частотах нижче за граничну  $f < f_{cp}$ .

Уточнена розрахункова модель дозволяє прогнозувати виникнення ще одного, так званого комбінованого резонансу, коли звукопроникність корпусу стрімко збільшується внаслідок одночасного прояву параметрів хвильового співпадання  $\theta$  та  $\psi$ . Створено програму обчислень звукопроникності корпусу в середовищі MathCad.

**Другий розділ** присвячений аналізу технічних можливостей штучного формування буферної зони для боротьби з негативним впливом проникаючого акустичного випромінювання на прилад. Структура буферної зони базується як антипод *zone kaustikos* у рідинній частині підвісу гіроскопа, наводяться результати експериментальних досліджень ефективності штучної буферної зони в напівнатурних умовах.

Побудована розрахункова схема явища дає можливість коректувати поверхню *zone kaustikos* відповідним підбором фізичних властивостей рідини, хвильового розміру і ступеня наближення до резонансної ситуації у вигляді хвильового співпадання сліду колової хвилі втулки і сліду падаючої хвилі.

Запропоноване технічне рішення, як показують лабораторні дослідження постає ефективним засобом боротьби із впливом проникаючого акустичного випромінювання на поплавковий гіроскоп і зменшує додаткову похибку вимірювань приблизно в 10 разів, і становить не більше  $\Delta\omega_{cp} \approx 0,02473 \text{ град } c^{-1}$ .

**Третій розділ** присвячений аналізу маловідомого явища утворення плоскої *каустики* в акустичному середовищі.

Дослідження елементарної частини оболонки внутрішньої порожнини корпусу ДУСУ2 у вигляді металевого кільця надали змогу практично довести наявність в рідинній складовій підвісу гіроскопа окрім циліндричної *zone kaustikos* ще і плоскої каустики в площині шпангоута корпусу. Особливістю плоскої каустики, як з'ясувалося, постає її структура у вигляді сукупності центральних секторів внутрішньої порожнини корпусу з різним рівнем енергетичної активності рідини – від статичного до турбулентного, що в котрий раз підтвердило не аби яку складність процесів в рідинній частині підвісу гіроскопа, що знаходиться в акустичному полі. В першу чергу, приймаючи до уваги, що акустичне випромінювання в рідину створює дифузне звукове поле і, тому, результати дії елементарної хвилі, наприклад плоскої, слід узагальнювати операцією осереднення по Перісу.

Експериментальні дослідження довели що в замкнутому об'ємі порожнини корпусу при опроміненні має місце локальні і глобальні особливості руху рідини. Завдяки об'ємній нелінійності порожнини корпусу первинно-статичний стан рідини суттєво змінюється і набуває структуру потужного рушійного потоку у вигляді циркуляції, а також плинні локальні потоки значно меншої потужності. Установлений чинник стану рідини дозволяє ще глибше проаналізувати механізм появи додаткових похибок ДУСУ під дією акустичного випромінювання.

Експериментально доведена наявність висхідних теплових потоків у рідинній частині підвісу гіроскопа, які суттєво змінюють вихідний статичний стан та породжують градієнт тепла, який не може компенсуватися тепловим кожухом. Експериментальні дослідження довели наявність температурного стрибка в рідинній складовій частині підвісу гіроскопа.

**Четвертий розділ** аналізується можливість розширення практичних задач сумісного використання *zone kaustikos* для потреб маскування рухомих об'єктів в цілому, та за одночасного зменшення додаткових похибок поплавкового гіроскопа в експлуатаційних умовах.

Два технічних рішення автора захищені охоронними документами України – патентами на винахід.

Матеріали дисертації знайшли використання в розробках ДП НВК «Фотоприлад» на етапі проектування дослідних зразків виробів.

### **Зауваження щодо викладу змісту в дисертації і в авторефераті.**

#### *Автореферат*

ст. 3, п. 1 наукової новизни “...прогнозуємі...”, слід писати “... спрогнозовані ...”;

ст. 9, 2 абзац знизу “Пропонуєме ...”, слід писати “Запропоноване ...”;

#### *Дисертація*

1. Доцільно було б дослідити вплив проникаючого акустичного випромінювання на поплавковий гіроскоп з ввімкненим гідроагрегатом та здійснити порівняльний аналіз похибок вимірювань приладу використовуючи запропоновану конструкцію буферної зони, та без неї.

2. В роботі відсутній аналіз впливу “комбінованого” резонансу на величину похибок вимірювання поплавкового гіроскопа.

3. Необхідно провести поглиблений аналіз супутніх негативних явищ, наприклад теплових потоків та градієнта тепла, що виникають в підвісі поплавкового гіроскопа під дією ультразвукового променя.

Зазначені зауваження не носять принципового характеру при оцінці дисертаційної роботи в цілому.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Сформульовані принципи побудови наближеної та уточненої розрахункових моделей взаємодії проникаючого акустичного випромінювання з поліагрегатним підвісом поплавкового гіроскопа. Встановлені умови формування чотирьох резонансів і чисельно визначені величини параметрів кутів співпадання за встановленої частоти ультразвукового випромінювання, формуючих резонансну ситуацію.

2. Запропонована методика зменшення технологічних ризиків поплавкового гіроскопа в умовах гіперзвукового руху, шляхом штучного формування зон каустики як буферної зони при вирішенні проблем зменшення похибок вимірювань.

3. Здійснений аналіз супутніх явищ в поліагрегатному підвісі гіроскопа - виникнення глобальних русійних потоків рідини, локальних обмивних потоків, температурного стрибка, висхідних теплових потоків, які породжують градієнт тепла.

4. Практично доведена наявність в рідинній складовій підвісу гіроскопа окрім циліндричної зони каустики ще і плоскої каустики в площині шпангоута корпусу. Особливістю плоскої каустики являється її структура у вигляді сукупності центральних секторів внутрішньої порожнини корпусу з різним рівнем енергетичної активності рідини.

5. Експериментально встановлена можливість вирішення комплексних задач маскування та обмеженої примітності рухомих об'єктів різного класу за допомогою штучного опромінювання та формування поверхні каустики.

**Практична цінність** результатів досліджень:

Створено програму обчислень звукопроникності корпусу гіроскопічного приладу, за умов впливу співвідношення симетричної і антисиметричної складової імпедансу корпусу.

Експериментально окреслені плоскі каустики в підвісі гіроскопа та зони в них підвищеного та помірного енергетичного стану.

За результатами напівнатурних випробувань доведена можливість частинного порушення примітності військових об'єктів а також екіпажу і умови забезпечення повного маскування об'єктів.

Запропоновані технічні реалізації засобів звуко- та теплоізоляції приладів, в тому числі для убезпечення від виникнення зон каустики. Окремі рішення мають охоронні документи України на винахід.

Матеріали дисертаційної роботи знайшли застосування в розробках ДП НВК «Фотоприлад» на етапі проектування тривісної гіростабілізованої платформи для баштової гармати танка.

Дисертація постає закінченою науково-дослідною роботою з необхідними ознаками актуальності, практичної цінності та наукової новизни, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати і положення, котрі постають виключно суттєвими для подальшого розвитку та вдосконалення системи навігації гіперзвукових літальних апаратів.

Основні результати дисертації відображені автором у повному обсязі в науково-технічних виданнях, що входять до міжнародних баз даних.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Зазначене вище, дає підстави дійти висновку щодо відповідності дисертації вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор – Фесенко Сергій Вікторович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.03 – Гіроскопи та навігаційні системи.

Професор кафедри Систем управління літальними апаратами  
ННІАНЕТ Національного авіаційного університету  
д.т.н., доцент

Чіковані В.В.



Чіковані В.В.  
свідчую  
Вчений секретар  
Національного авіаційного університету  
Т. Сиреда