

# АВІАЦІЙНА Й КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 621.317

<sup>1</sup>О.М. Безвесільна, д.т.н, професор<sup>2</sup>В.Г. Цірук, к.т.н.<sup>3</sup>Л.О. Чепюк, ст. викл.

## ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ НАВЕДЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ

<sup>1</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",e-mail: [bezvesilna@mail.ru](mailto:bezvesilna@mail.ru)<sup>2</sup> ПАТ «НВО «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського»,<sup>3</sup> Житомирський державний технологічний університетe-mail: [chepuk.larina@mail.ru](mailto:chepuk.larina@mail.ru)

У статті проведено аналітичний огляд робіт в області існуючих систем стабілізації (СС) навігаційних систем (НС), аргументовано актуальність розв'язуваної науково-технічної проблеми.

**Ключові слова:** система стабілізації, система навігації.

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її актуальність

Прискорення пошуку та визначення координат рухомих об'єктів в екстремальних умовах, пов'язаних з лісовими пожежами, гірськими зсувами та обвалами, весняними паводками, аваріями на АЕС, наслідками терористичних актів; проведення геологічної розвідки при розробці кадастру Землі; спостереження за наземними, повітряними та надводними просторами; уточнення та розробка сучасних морських і річкових навігаційних карт вимагають створення бортових систем навігації та керування рухом; створення систем спостереження за наземними, повітряними та надводними просторами із застосуванням навігаційних систем, встановлених на рухомих об'єктах-носіях. Це обумовлює необхідність провести огляд робіт в області систем наведення (СН) та стабілізації (СС). Але такий аналітичний огляд робіт в області систем наведення та стабілізації відсутній у відомій літературі.

**Метою статті** є проведення аналітичного огляду робіт в області існуючих СН та СС навігаційних систем.

### Аналіз досліджень і публікацій

Теорія проектування програмних систем наведення розроблена видатними вченими Бабаєвим А.А., Бесекерским В.А., Булгаковим Б.А.; теорія лінійних і нелінійних систем наведення розроблена Костюком В.И., Вороновим А.А., Солодовниковим В.В., Чемодановим Б.К., Лакотой Н.А.; теорія цифрових слідкуючих приводів розроблена Бесекерским В.А., Федоровим С.М.; теорія гіроскопічних систем стабілізації розроблена Павловским М.А., Пельпором Д.З., Одинцовим А.А., Самотокіним Б.Б., Бубликом Г.Ф., Безвесільною О.М., Збруцьким А.В., Рижковим Л.М., Бондарем П.М., Граммером Р., Ривкіним С.С., Ройгенбергом Я.Н., Фабрикантом Е.А., Сайдовим П.І., теорія оптимальних систем керування – Беллманом Р., Болтянским В.Г., Гостьовим В.І., Єськовим Д.І. та інш. [1-2].

### Викладення основного матеріалу дослідження

На керовані чутливі елементи НС, розташовані на рухомому об'єкті (РО), діють зовнішні механічні збурення по трьом осям, викликані динамікою РО, вібраціями приводних механізмів носія, впливами вітру, дебалансом рухомих частин.

Структурна схема СС та НС представлена на рис. 1.

Побудова гіростабілізатора може бути виконана по одній з наступних схем: з безпосередньою стабілізацією; із силовою або індикаторною стабілізацією (рис.2.). Конструктивно гіростабілізатор може виконуватись на 3-ступеневому гіроскопі, на 2-ступеневому гіроскопах, на спарених гіроскопах.

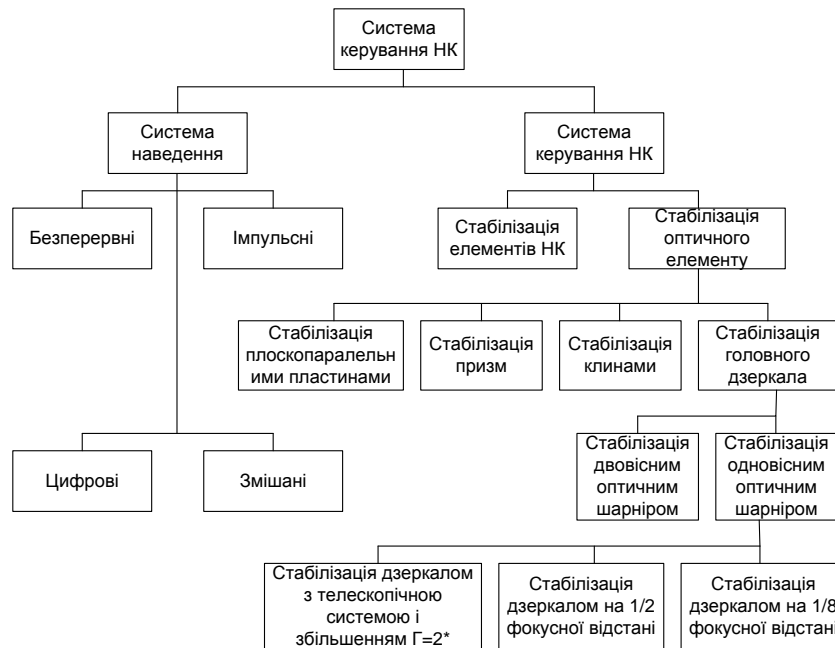


Рис. 1. СН та СС навігаційної системи або навігаційного комплексу

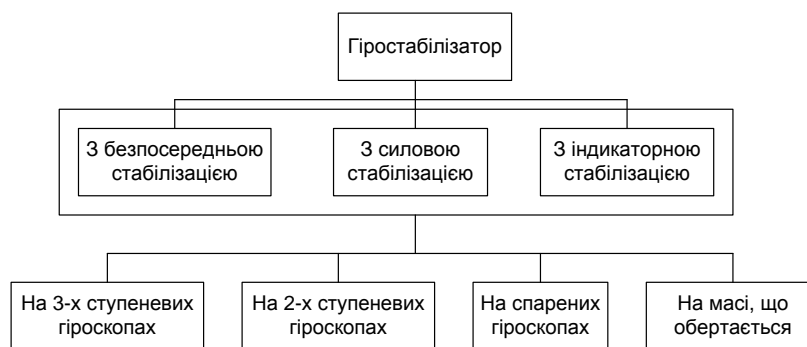


Рис. 2. Схема побудови гіростабілізаторів

Найбільш ефективним методом стабілізації чутливого елемента (головного дзеркала або призми) є схема, наведена на рис. 3, що представляє собою схему силового гіростабілізатора на 2-ступеневих гіроскопах [2].

Головне дзеркало (ГД) 1 встановлене на осі обертання під кутом  $45^\circ$  до лінії візування та розміщене у зовнішній рамі 2 гіроплатформи. Гіростабілізатор (ГС) 4 розміщений у цій рамі. На осі ГС встановлений шків. Для узгодження кута повороту механічної та оптичної систем передатне відношення шківів ГС і ГД дорівнює 1:2. Поворот ГД здійснюється за допомогою стрічкової передачі 3. Зовнішня рама ГС розміщується на одному або двох підшипниках і забезпечує поворот ГД у горизонтальній площині (за курсом).

Відома також схема побудови ГС із застосуванням безлюфтової передачі руху від ГС до ГД (рис. 4). У цій схемі для передачі руху по тангажу застосовані два сектори 1 та 3, які – передають рух від гіроскопа 4 через сектор 3, колеса 2 на сектор 1 і головне дзеркало 5. Кінематичний зв'язок з дзеркалом, рис. 4 забезпечується за допомогою встановлення на сектор 1 колеса 2, металевих стрічок 3 та 4, виконаних за схемою рис. 5. Для зменшення впливу інерції ГД на динаміку системи запропоновані компенсатори інерції ГД шляхом встановлення додаткових інерційних вантажів. Така передача виключає люфт і підвищує жорсткість

конструкції, але може стати джерелом коливань, при наявності вібраційних збурень, елементів НС. Схеми із силовою стабілізацією поля зору застосовуються для невеликих дзеркал ГД, що мають малі моменти інерції.

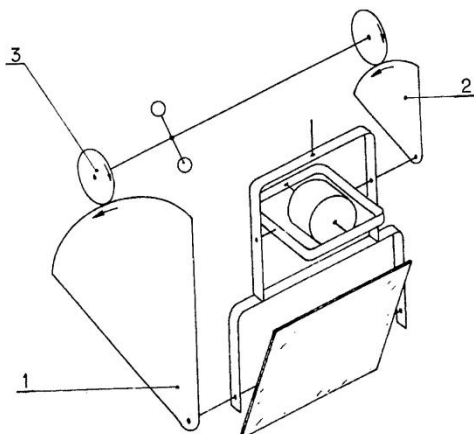


Рис. 3. Стабілізація поля зору НС за допомогою головного дзеркала

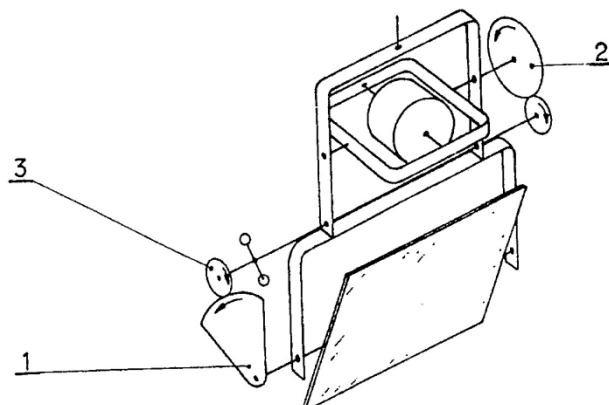


Рис. 4. Схема передачі руху від гіроскопа до дзеркала без люфту:  
1, 3 – робочі сектора, 2 – колесо

Площа головного дзеркала системи наведення та стабілізації багатоканальних НС у два-три рази більша, що приводить до значного збільшення маси та моментів інерції рухомої конструкції СН та СС.

Основною СН та СС в цьому випадку є схема (рис. 6) із застосуванням трістепеневого гіроскопа та слідкуючих двигунів рамок, які є виконавчими елементами високоточних приводів по кожній рамці [1,2]. Принцип функціонування СН та СС НС полягає у наступному. Гіроскоп 1 розміщений у внутрішній рамці 2, а за допомогою осей 4, 5 він також розміщується у зовнішній рамці 1. Головне дзеркало 6 за допомогою осі 7 також розміщене в зовнішній рамці 3. Передача руху від гіроскопа 1 до ГД 6 здійснюється за допомогою шківів (важелів) 8 та 9 і стрічкової передачі. Передатне відношення останньої приймається 1:2, що необхідно для узгодження кутів повороту механічної системи (гіроскопа) і оптичної системи (кута відбиття променя від головного дзеркала). У конструкцію приладу додатково введені слідкуючі рамки, 10 та 11. За допомогою цих рамок можливе переміщення внутрішньої та зовнішньої рамки відносно внутрішньої рами або корпусу приладу за допомогою двигунів 13 та 14. Для забезпечення вимірювання кутів неузгодженості внутрішніх елементів і зовнішніх введені потенціометри 15 та 18. Додатково на кожній слідкуючій рамці встановлені моментні двигуни 18, 19 і датчики кута 21, 22. Сигнали від датчиків кута 21, 22 надходять через підсилювачі 23, 24 на двигуни слідкуючих рамок 13, 14. При подачі сигналів керування в пристрій керування 20 спрацьовують граничні пристрої 25, 26 і сигнал через підсилювачі 23, 24 забезпечує наведення слідкуючих рамок у потрібному напрямку. Після зняття сигналів керування граничні пристрої підключають моментні двигуни, які забезпечують підслідковування рамок за гіроскопом у двох площинах. Запропонована СН та СС дозволяє переміщувати ГД з малою швидкістю – кілька кутових хвилин у секунду і з великою швидкістю – кілька десятків градусів у секунду. Можливо спільне використання двох приладів – один у льотчика, другий – в оператора. Даний пристрій дозволяє пілотові та операторові, перебуваючи нерухомо перед приладом спостереження, спостерігати обрій у діапазоні до 360°.

Розглянута схема СН та СС ГД забезпечує стабілізацію великих дзеркал. Вона конструктивно складна, схильна до значних відхилень (уводів) при відсутності керуючих сигналів і має більші помилки стабілізації.

Двоосний оптичний шарнір може бути реалізований за допомогою двох призм А і В (рис. 7 а), або двох дзеркал 2 та 3 (рис. 7.б), з'єднаних із внутрішньою або зовнішньою рамкою [1]. Лінія візування, відбиваючись від граней дзеркал (призм) 2 та 3, мінює напрямком на перпендикулярний і може бути виведена вертикально вниз або нагору. Пристрій забезпечує, щодо вертикальної осі, повний панорамний огляд, а щодо горизонтальної осі – кути прокачки

$\pm 45^\circ$ . Зі збільшенням кута повороту навколо вертикальної осі в окулярі буде повертатися зображення. запропоновано між дзеркалом і перехрестям встановлювати обертаєму призму Валластона або призму Пехана та електропривод для повороту цієї призми.

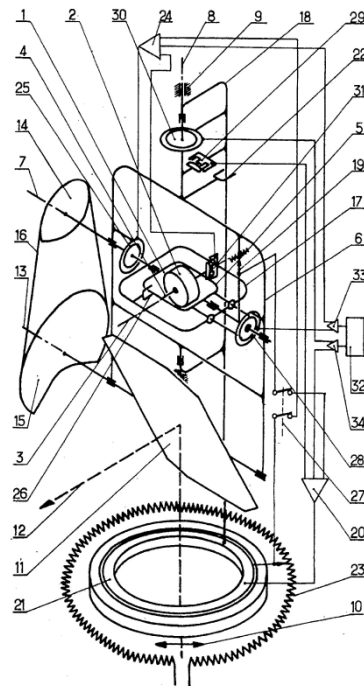


Рис. 5. Схема кінематична вузла передачі руху: 1 – сектор, 2 – паразитне колесо, 3,4- металеві стрічки

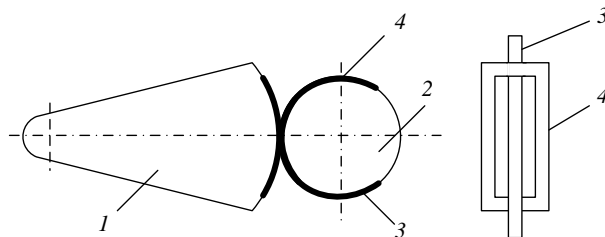


Рис. 6. Функціональна схема системи керування НС

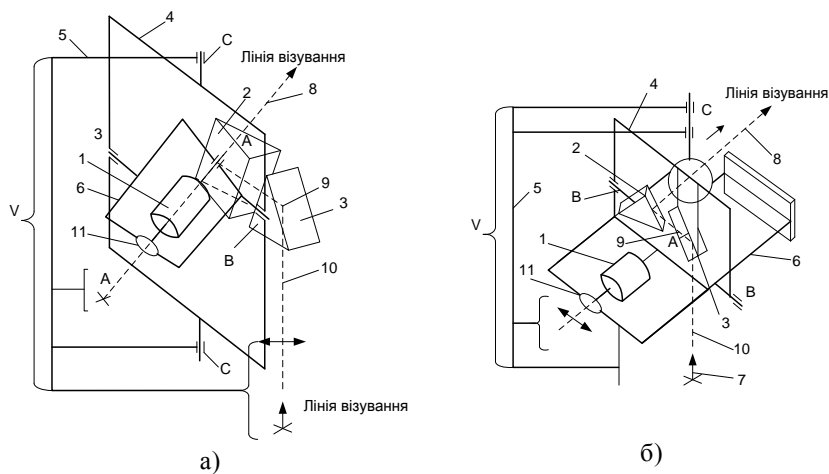


Рис. 7. Схеми пристроїв стабілізації лінії візування:

1- гіроскоп, 2, 3 – призми, 4 – зовнішня рамка, 5 – корпус, 6 – внутрішня рамка, 7 – перехрестя у фокальній площині оптичної системи, 8, 9, 10 - лінії візування, 11 – дзеркало

Двоосний оптичний шарнір застосовується для забезпечення просторового візування з великими кутами керування лінією візування (рис. 8). Він виконаний за допомогою двох просторово розміщених дзеркал 1 (курсу) і 2 (тангажа). Стабілізація кожного дзеркала здійснюється своїм приводом (на рис.8 не показані).

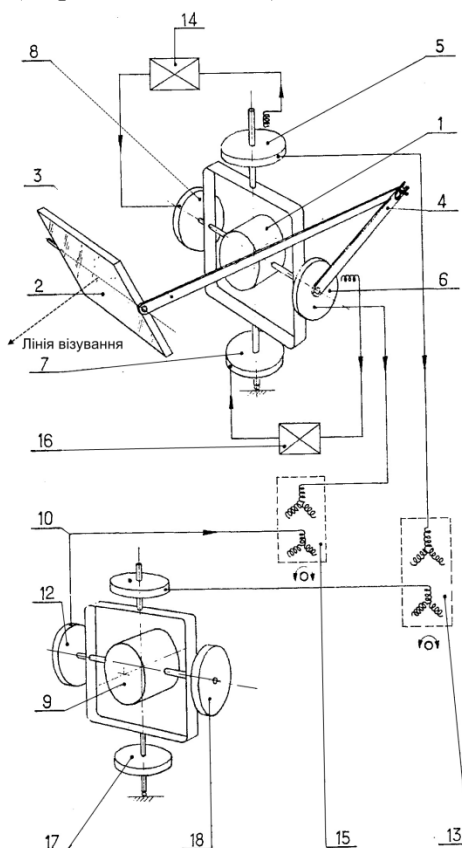


Рис. 8. Схема стабілізації лінії візування за допомогою двоосного оптичного шарніра

При необхідності розробки головки НС малих розмірів, керування може здійснюватися від зовнішнього прецизійного гіроскопа 9 (рис. 9) [2].

Електропривід побудований на високоточних датчиках кута 10, 12; синхронного зв'язку 13, 15; датчиках моменту 7, 8; підсилювачах 14, 16 і дозволяє передати керуючі сигнали за курсом і тангажем від прецизійного гіроскопа 9 на стабілізуючий гіроскоп 1 і через важелі 3, 4 на ГД 2. СН та СС, побудованим на одному гіроскопі, властиві більші швидкості відведення.

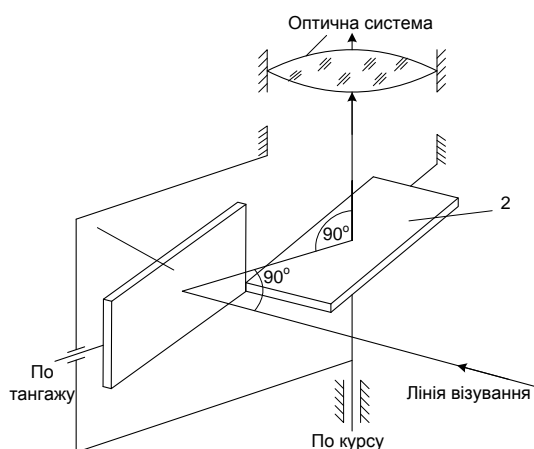


Рис. 9. Схема керування дзеркалом від прецизійного гіроскопа

Для зменшення похибок – на гіроскопічну платформу встановлено два спарених гіроскопи 6, 7 (рис. 10), вектори гіроскопічних моментів  $H_1$  і  $H_2$  спрямовані паралельно та

зустрічно. Головне дзеркало 4 розміщене в зовнішній рамі і його рух по тангажу забезпечується за допомогою стрікової передачі 5. Стабілізація лінії візування здійснюється за допомогою приводів стабілізації (розвантаження), які включають датчики 10, 11, підсилювачі 18, 19 моментні датчики 14, 15. Наведення здійснюється оператором за допомогою пульта наведення 20. Сигнали керування надходять на підсилювачі 21, 22 і датчики моменту 12, 13.

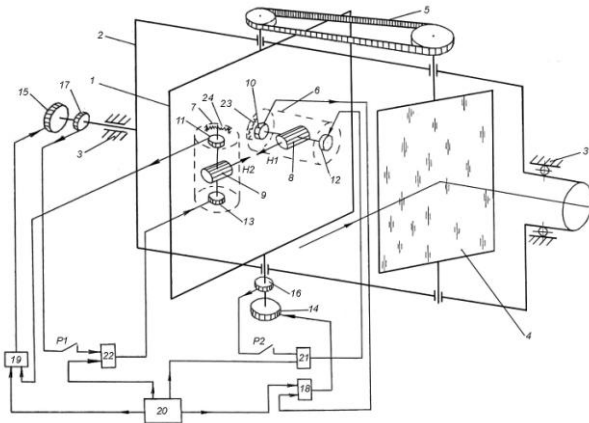


Рис. 10. Функціонально-кінематична схема СН та СС НС на двох спарених гіроскопах

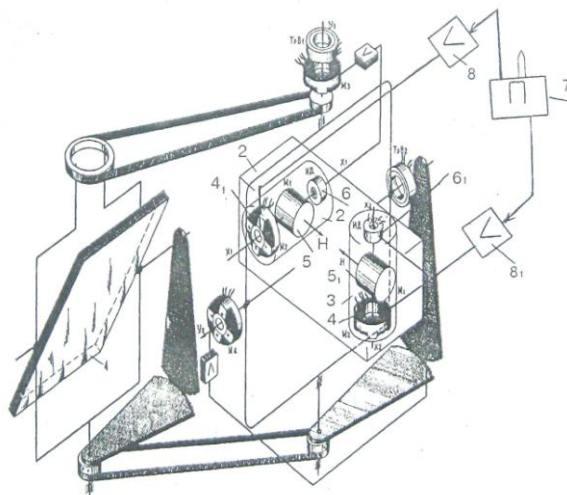


Рис. 11. Кінематична схема СН та СС головним дзеркалом із двома стрічками та двома секторами

Різновидом схеми керування лінією візування НС із застосуванням головного дзеркала є схема, представлена на рис. 11. Гіроплатформа 1 встановлена в рамі, що обертається за курсом. ГД 4 розташоване у рамі, що обертається по тангажу. Як стабілізуючий пристрій, застосовуються два спарених гіроскопи 2 та 3, кожен з яких містить двигун наведення 4 та 4<sub>1</sub>, гіромотор 5 та 5<sub>1</sub>, датчики кута прецесії 6 та 6<sub>1</sub>. Переміщення напрямку векторів кінетичних моментів гіроскопів Н<sub>1</sub> і Н<sub>2</sub> здійснюється за рахунок подачі напруги з пульта наведення 7 через підсилювальні пристрої 8 та 8<sub>1</sub> на двигуни наведення 4 та 4<sub>1</sub>. Відмінною рисою даного кінематичного рішення є необхідність введення двох стрікових передач і двох секторів для передачі руху від гіроплатформи до головного дзеркала. Не зважаючи на деяку складність конструктивного рішення, дана схема добре себе зарекомендувала на практиці.

Схеми СН та СС, що представлені на рис. 10 і рис. 11, добре зарекомендували себе в експлуатації. На базі представленої структури системи керування розроблена апаратура керування 9С475, що розміщується на російських вертольотах Мі-24У і К-252 ТБ і вертольоті Мі-8. СН та СС забезпечує

керування на кутах візування за курсом  $\pm 60^\circ$  і по тангажу від  $+15$  до  $-20^\circ$ , зі швидкостями наведення: максимальної –  $2,5$   $^\circ/\text{с}$ , мінімальної –  $0,07$   $^\circ/\text{с}$  і з помилкою стабілізації  $0,2$  мл.рад.

### Висновки

Виконано аналіз систем наведення та стабілізації навігаційних систем, розглянуті схеми стабілізації чутливого елемента (головного дзеркала або призми) систем наведення та стабілізації навігаційних систем.

### Список літературних джерел

1. Безвесільна О. М. Системи керування навігаційних систем рухомих об'єктів: Монографія / О. М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, С.С. Ткаченко – Житомир, ЖДТУ, 2010. – 174с.
2. Безвесільна О.М., Квасніков В.П., Цірук В.Г., Чіковані В.В. Системи наведення та стабілізації озброєння.- Житомир: ЖДТУ, 2014. – 176 с.