

УДК 621.317

¹О.М. Безвесільна, д.т.н, професор
²В.Г. Цірук, к.т.н.
³В.П. Квасніков, д.т.н, професор
⁴Л.О. Чепюк, ст. викл.

АНАЛІЗ ЗАКОРДОННИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ

¹ Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
e-mail: bezvesilna@mail.ru

² ПАТ «НВО «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського»,

³ Національний авіаційний університет
e-mail: kvp@nau.edu.ua

⁴ Житомирський державний технологічний університет
e-mail: chepyuk.larina@mail.ru

У статті проведено аналітичний огляд робіт в області існуючих закордонних 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, 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 закордонних 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 закордонних СН та СС навігаційних систем.

Аналіз досліджень і публікацій

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., Ройтенбергом 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]. За кордоном розробкою навігаційних систем із застосуванням оптичних електронних систем займаються фірми США, Франції Великобританії, Німеччини, Швеції, Японії такі, як International Laser Systems, США (Northrop, Aeronitronix Ford), Sounder Associates, CBS Zabs, Perhin-Elmer, Resalab, Martin-Marietta, Rochwell-International, RCA, Texas Instruments, Naval Air Development, IBM, Filco-Ford, Thomson CSF, Хьюз, Белл та інш.

Викладення основного матеріалу дослідження

У патенті Великобританії [2] головне дзеркало (ГД) стабілізоване обертовою масою з одним рухомих відбивачем, (рис. 1, а) або двома дзеркалами, стабілізовані кожний своєю обертовою масою, (рис. 1, б). Дзеркала закріплюються на зовнішній рамці обертової маси. Зв'язок дзеркала з іншою віссю обертової маси – стрічковий. Коли основа 7, на якій змонтована оптична система з передавальною телевізійною камерою 9, робить кутові рухи, викликані коливаннями носія або з інших причин, навколо горизонтальної осі, перпендикулярної оптичній траєкторії, маса 5 обертається внаслідок швидкого обертання тіла, зберігаючи вісь обертання незмінним у просторі. Дзеркало 1 під дією компенсуючого обертального моменту, робить кутові рухи щодо основи 7. Таким чином, лінія візування системи, спрямована на об'єкт пошуку, залишається практично не відхиленою. Ступінь обертання маси 5 і дзеркала 1

залежить від коефіцієнта передачі зв'язку b і моментів інерції маси 5 і дзеркала 1 .

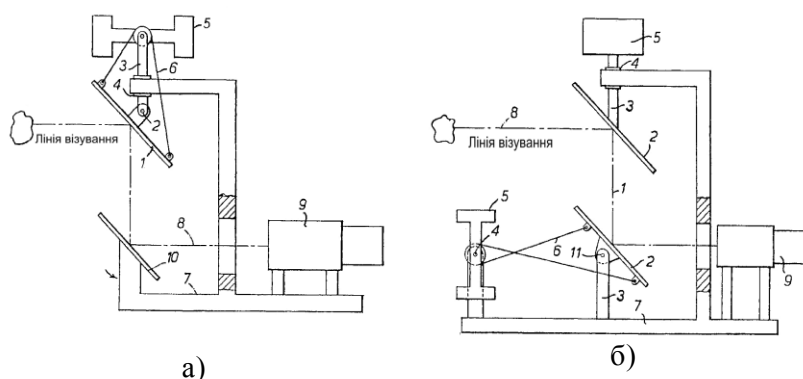


Рис. 1. Структурна схема СН та СС оптичного приладу НС

а) – з одним рухомих дзеркалом; б) – із двома рухомих дзеркалами:

1- дзеркало, 2- вісь обертання дзеркала, 3- вал, 4- опора, 5- обертова маса, 6- зв'язок між обертовою масою та дзеркалом, 7- основа,

9- оптична система із приймачем, 10- друге дзеркало, 11- вісь повороту дзеркала 10

Замість дзеркал можуть бути застосовані оптичні призми, що працюють як дзеркала. Для збільшення кута візування по обрїю до 360° у патенті [2] запропонована панорамна схема оптичного приладу, рис. 2. Дзеркало з'єднане з гіроскопом з допомогу металевих стрічок, шківів, зубчастої передачі або моментного електропривода для наведення візирного променя по куту місця об'єкта спостереження. Регулювання положення гіроскопа та оптичного променя по азимуту здійснюється разом з ковпаком, що обертається щодо корпусу оптичного приладу. На рис.2 позначено: 1 – гіроскоп, 2 – плоске дзеркало, 3–5 – ковпаки, 4 – поворотна призма Пехана, 6 – дзеркальна трубка Галілея, призматична зорова труба, 8 – пристрій формування сітки. Наведення та стабілізація ГД 2 здійснюється керуванням гіроскопом 1, що витримує

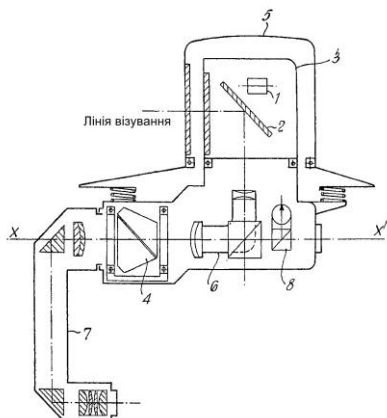


Рис. 2. Стабілізований пристрій панорамного

ковпака 3 за допомогою додаткового електропривода.

Запропоновано пристрій, розроблений фірмою СФІМ (Франція) за назвою АРХ М397 і встановлений на вертольоті Во.105 (РАН-1) «Газель», рис. 3. Система АРХ М397 забезпечує зону огляду по азимуту $\pm 120^\circ$, по куту місця від $+28^\circ$ до -24° ; оптична система має кратність збільшення $\Gamma=3,2^*$ і $\Gamma=10,6^*$.

Шведська фірма Сааб-Сканія для французького розвідувального вертольота «Газель» розробила подібну оптичну систему за назвою «Геліос». Оптична система має дві перемикаючі кратності: $\Gamma=3^*$ і $\Gamma=10^*$. Кутова швидкість повороту оглядової головки по азимуту становить $100^\circ/\text{с}$. Оптична система може містити лазерний дальномір або лазерний вказівник цілі.



Рис. 3. Вертоліт Во.105 (PAH-1) «Газель» з навігаційним комплексом APX M397

(рис. 4, а). Оптичний електронний прилад навігаційного комплексу має оптичну систему з перемикаємою кратністю $\Gamma=3^*$ і $\Gamma=10^*$; стабілізовану турель (платформу) з можливістю наведення по азимуту $\pm 110^\circ$ і по куту місця $\pm 30^\circ$. Точність стабілізації, виходячи з дальності

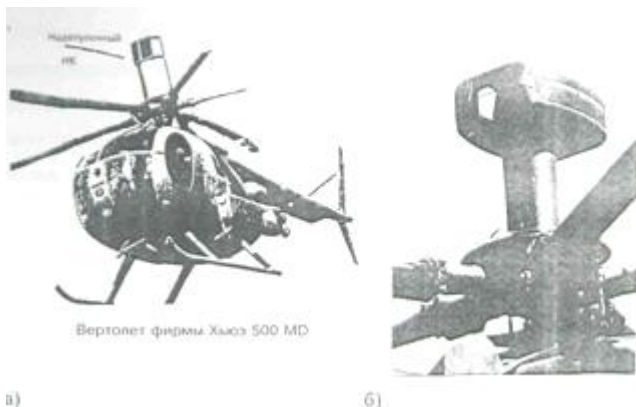


Рис. 4. Навігаційна система (комплекс) MMS вертольота Хьюз MD

виявлення об'єктів пошуку (2000–3000) м, становить не вище (1–1,5)`. Фірмою Мартін-Марієтта, для цього ж вертольота, розроблено надвтулковий навігаційний комплекс із оптичним електронним приладом: низькорівнева телевізійна передавальна камера із системою автосупроводження та лазерним дальноміром-цілевказником, (рис. 4, б). Збільшено кути наведення по азимуту до $\pm 160^\circ$, зменшено кути місця до $\pm 10^\circ$, збільшено кількість перемикачів кратності оптичної системи: $\Gamma=2,5^*$, 10^* , 14^* та 20^* , що дозволило виявляти об'єкти розміром 3×3 м на дальності до 5000 м. Помилка стабілізації лінії візування зменшена до (20–30)`. Навігаційний комплекс виконаний у вигляді двох блоків: надвтулкового блоку і блоку, розміщеного у кабіні вертольота. Заплановано доповнити навігаційний комплекс ІК-системою.

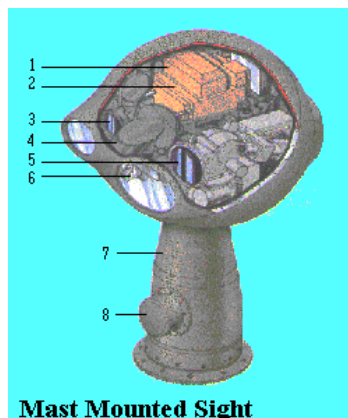
Фірмою СФІМ для вертольота «Жираф» (базовий вертоліт В.105) розроблена надвтулкова прицільно-оглядова система «Офелія». Система «Офелія» встановлюється на гіростабілізованій платформі PGS 600 і має два ступені свободи. Вона являє собою подальший розвиток системи «Венос» і включає Іч-систему «Каліпсо» фірми TRT, Тв-систему та лазерний далекомір фірми Силас. Іч-система працює в діапазоні (8–13) мкм, і забезпечує роздільну здатність 0,12 мрад та 0,45 мрад. Тв-система має поле зору $0,75^\circ$, і працює в діапазоні (0,5–0,9) мкм, тобто в денному та ближньому червоному спектрі. Капсула являє собою кулю діаметром 600 мм і розміщується над втулкою вертольота. Маса надвтулкового блоку дорівнює 122 кг, маса блоку системи в кабіні дорівнює 70 кг. Гіроплатформа забезпечує огляд по азимуту $\pm 120^\circ$, а по куту місця від -30° до $+20^\circ$, рис. 5.

Фірма Макдоннел Дуглас Астронотікс розробила для розвідувального вертольота Белл 406 стабілізовану оглядово-прицільну систему АНІР, рис. 6. Система включає гіроплатформу 5, механізми повороту по куту підвищення та вирішуючий пристрій 6, сферичний підшипник 11, денний приціл 12, лазерний дальномір-цілевказник 1, систему підсвічування оптичної

системи 2, автоколіматор 3, електропривод повороту по обрїю 4, нічний приціл 7, теплообмінник 8, механїзм автоматичної зміни кратності об'єктива оптичної системи 10, телескопічну опору 9.



Рис. 5. Надвтулковий НК, встановлюваний на вертольоті В-105



Mast Mounted Sight

Рис. 6. Оглядово-прицільна система НС для вертольота Белл 406

Фірма СФІМ розробила оглядово-прицільну систему нічного бачення «Венус» для вертольота Sa.368. Він включає ІК-датчик, що працює в далекому ІК-діапазоні спектра, які встановлені на гіростабілізованій платформі. Вся апаратура розміщена у середині сфери діаметром 600 мм.

Телевізійна камера відділена від основної системи. Окремо встановлена ширококутна ІК-система, що дозволяє попередньо виявляти більші об'єкти до перемикання на ІК-датчик з вузьким полем зору для розпізнавання об'єктів. Надалі ця система буде доопрацьовуватися для використання у надвтулковому варіанті. Іч-система призначена для виявлення об'єктів, має широке поле зору ($11,4 \times 5,7$) $^\circ$ та вузьке поле зору ($2,7 \times 1,35$) $^\circ$. ІК-система для виявлення об'єктів має широке поле зору $\pm 4^\circ$ і вузьке поле $\pm 0,5^\circ$. Платформа забезпечує наведення візирного променя по азимуті на $\pm 110^\circ$ і по куті місця від -30° до $+20^\circ$. Дальність виявлення об'єктів 4000 м, упізнавання – 2000 м. Помилка стабілізації не перевищує 1'.

Фірма Хьюз розробила оглядово-прицільну систему ХМ 65, рис. 7. Він включає гіростабілізований телескопічний приціл з оптичним збільшенням $\Gamma^* = 2,6^*$, полем зору 30° , і забезпечує наведення лінії візування по азимуту на кутах $\pm 110^\circ$ і по тангажу від $+30^\circ$ до -60° . Швидкість перекидання головки приладу, розміщеного в носовій частині вертольота, становить 100 $^\circ/\text{с}$. Максимальна швидкість наведення лінії візування не перевищує 3 $^\circ/\text{с}$. Точність спостереження в режимі зависання (при мінімальних вібраціях) становить 0,07 мрад. Канал розпізнавання об'єктів має поле зору $4,6^\circ$ і збільшення $\Gamma = 12,6^*$. Конструктивно система ХМ 65 має два оптичних вікна. У лівій частині системи розміщена оптика візуального каналу та канал Іч-пеленгатора. У правій частині оглядово-прицільної НС розташовані лазерний далекомір і лазерний цілевказник. Телескопічна оглядово-прицільна станція може працювати з нашлемним прицілом. Електронна частина приладу розміщена в електронних блоках. Модифікація цієї станції в надвтулковому варіанті виконана для вертольота Великобританії «Лупх». Для розширення функціональних можливостей у цій модифікації розширені кути у вертикальній площині від $+60^\circ$ до -30° .

Для важких армійських вертольотів (АН-64 та інш.) американські фірми Martin-Marietta та Northrop розробили НС із оглядово-прицільною системою TADS/PNVS, рис. 8.

Система TADS – призначена для виявлення, захоплення та цілевказівки об'єктів у денних умовах бачення 1; PNVS- ПК – блок 3, що вирішує навігаційні завдання в нічних умовах на невеликій висоті пілотування. Системи встановлені у носових турелях. Відео індикатори встановлені у кожного члена екіпажа. Система TADS включає оптичну, ТВ, Іч- і лазерну дальнометричну системи. Іч-система розташована на гіростабілізованій поворотній платформі. Обидві системи розміщені в центральному кардановому підвісі 2. Основні технічні характеристики системи TADS/PNVS наведені в таблиці 1. Помилка СС не перевищує (30–40)''.



Рис. 7. Оглядово-прицільна НС ХМ 65

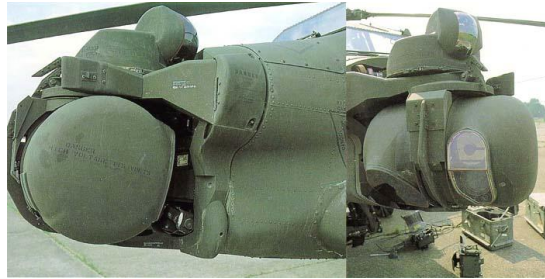


Рис. 8. Оглядово-прицільна система TADS/PNVS для вертольота АН-64

Таблиця 1
Порівняльні характеристики систем TADS/PNVQ

№ п/п	Характеристика	TADS	PNVS
1	Кут огляду, град - по азимуту - по куту місця	±110 +30-60	±90 +20-45
2	Поле зору, град Телевізійна система: - вузька - широка Оптична система - вузька - широка	0,9 4,0 4,0* (16*) 18,0* (3,5*)	
3	ІК-система, град - вузька - середня - широка	3,1 10,1 50	30x40
4	Маса, кг	250	
5	Дальність дії, км - виявлення - впізнання	5-6 2,5	2,5
6	Робоча освітленість, лк.	10 ⁻⁴ при нічному небі, затягнутому хмарами	<i>При відсутності місячного світла</i>

Висновки. У результаті аналізу вітчизняних і закордонних джерел побудови НС, простежується тенденція збільшення дальності виявлення та розпізнання об'єктів удень на дальності 5000 – 20000 м (існуючі комплекси забезпечують 3000 – 5000 м) і уночі – до 5000 – 8000 м (існуючі комплекси забезпечують – 1500 – 2500 м), як на земній поверхні, так і у повітрі. Це вимагає значного підвищення технічних характеристик НС: помилка наведення не більше 1' (помилка існуючих СН та СС НС не менш 3') і точності стабілізації лінії візування (помилка не більше 20'' (відомі системи стабілізації забезпечують помилку стабілізації не менш 40'')); збільшення максимальних швидкостей наведення до 30 °/с (відомі – до 3,5 °/с); забезпечення мінімальних швидкостей не вище 0,025 °/с (існуючі – 0,05 °/с), що приводить до розширення діапазону швидкостей до 3000 (існуючі системи забезпечують – 100).

Ускладнюються зовнішні умови роботи: температурний діапазон від –60 °С до +75 °С (існують від –40 °С до +50 °С); збільшилися вібраційні збурення з боку об'єкта носія від 0,5 g до (1–2) g і розширився діапазон частот від 5 до 500 Гц.

Література:

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.