

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА СУЧАСНОГО ПРЕЦИЗІЙНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 528.563

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ¹⁾Безвесільна О. М., ¹⁾Тимчик Г. С., ²⁾Ткачук А. Г., ¹⁾Цірук В. Г.¹⁾Національний технічний університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна²⁾Житомирський державний технологічний університет, м. Житомир, Україна
E-mail: o.bezvesilna@gmail.com

Розглянуто шляхи підвищення точності та швидкодії сучасного приладового комплексу стабілізатора, який може використовуватись для стабілізації озброєння легкої броньованої техніки в екстремальних умовах. Проаналізовано склад та призначення існуючих систем стабілізації. Проведено аналіз доцільності використання гіроскопів у якості чутливих елементів комплексу стабілізації та математично описано принцип їх роботи. Приведено та проаналізовано функціональну схему найпростішого стабілізатора озброєння індикаторного типу, описано послідовність виконання в ній основних операцій.

Ключові слова: стабілізатор, гіроскоп, чутливий елемент, система координат, стабілізована платформа.

Вступ

Сьогодні системи стабілізації різних видів застосовуються у навігаційних пристроях і системах управління кораблями і літальними апаратами, а також у системах орієнтації антен, телескопів та інших приладів, встановлених на рухомих об'єктах. У зв'язку з тим, що необхідна точність подібних пристроїв безперервно підвищується, зростають і вимоги по точності, що висуваються до комплексів стабілізації.

Досягнення високої точності таких комплексів стало можливим завдяки високій якості сучасних елементів гіроскопічної техніки і значного розвитку теорії гіроскопічних пристроїв (А. Н. Крилов, Б. В. Булгаков, О. Ю. Ішлінський, Я. М. Ройтенберг, С. С. Рівкін, В. А. Павлов, Е. Г. Попов, А. І. Лур'є, В. В. Солодовников та ін.) [1].

Стабілізатор озброєння являє собою пристрій, що здійснює стабілізацію прицілювання зброї при переміщенні платформи, на якій цю зброю встановлено. Стабілізатор озброєння призначений для спрощення прицілювання при русі легкої броньованої техніки (ЛБТ) і підвищення точності вогню з ходу. Частиною стабілізатора є система керування вогнем. Технічно стабілізатор являє собою набір датчиків і обчислювальний комплекс, з'єднаний з приводом гармати.

Стабілізатори озброєння застосовуються у системах управління вогнем різних бойових модулів для багатьох зразків бронетехніки. Такі стабілізатори є на всіх видах ЛБТ, що сьогодні перебувають на озброєнні у Збройних Силах України. Принципово нові стабілізатори, які виготовляють на ПАТ «НВО «Київський завод автоматики»

(Україна), можуть застосовуватися при модернізації наявних та розробці нових легко броньованих бойових машин БТР, БМП, БМД тощо. Так, розробки Київського заводу автоматики встановлюються на такі зразки бронетехніки українського виробництва, як БТР-3Е1 та БТР-4, і добре зарекомендували себе у бойових умовах [1].

У роботі [2] виконано синтез нейромережевої системи наведення і стабілізації озброєння легкої броньованої техніки. Розроблено структурну схему системи, компонентами якої є: пропорційно-диференціальний регулятор положення і нейромережевий регулятор швидкості. Виконано синтез нейрорегулятора з прогнозуванням. Однак, не розглянуто доцільність використання нейромережевого підходу для компенсації інструментальних помилок.

У роботах [2-4] запропоновано в якості чутливого елемента системи стабілізації використовувати коріолісовий вібраційний гіроскоп. Проаналізовано склад і принцип роботи відомої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу легкої броньованої техніки. Однак, відсутні пропозиції по покращенню технічних характеристик системи, аналіз математичної моделі та похибок чутливих елементів системи.

У статтях [5-6] розглянуто систему стабілізації з оптичним гіроскопом та приведено основні конструкційні розрахунки. Запропоновано програмні методи фільтрації вихідних сигналів акселерометрів та гравіметрів. Відсутнє порівняння із відомими аналогами.

У роботі [7] описано новий мобільний прилад для вимірювання динамічного вектора прискорен-

ня сили тяжіння і його градієнтів. Даний датчик може встановлюватися на озброєнні військових підводних човнів. Отримані результати досліджень можна використовувати і у проектуванні системи стабілізації озброєння легких броньованих машин, проте необхідно враховувати особливості наземної експлуатації системи.

Отже, існуючі системи стабілізації не можуть достатньо ефективно виконувати поставлені перед ними завдання. За досвідом воєнних конфліктів, найбільша частина втрат парку ЛБТ є наслідком використання малоefективних систем стабілізації озброєння. Тому забезпечення покращення експлуатаційних характеристик комплексу стабілізації озброєння є важливою проблемою сучасності, вирішення якої забезпечує безпеку та обороноздатність України.

Об'єкт дослідження даної статті – новий чутливий елемент системи стабілізації озброєння легкої броньованої техніки.

Мета роботи – проаналізувати доцільність використання гіроскопів у якості чутливих елементів комплексу стабілізації озброєння ЛБТ та математично описати принцип їх роботи.

Призначення та будова стабілізаторів озброєння

Як система стабілізації, у статті розглядається система автоматичного регулювання, що забезпечує на ЛБТ збереження певної кутової орієнтації башти ЛБТ відносно системи координат, осі якої певним чином орієнтовані у просторі. Ця система координат є опорною або нерухомою. Залежно від конкретного завдання це може бути, наприклад, інерціальна система координат або система, осі якої спрямовані по вертикалі до місця, де знаходиться ЛБТ.

Система стабілізації забезпечує сталість кутів між осями нерухомої системи координат і осями, жорстко зв'язаними з об'єктом стабілізації, який у подальшому буде називатися стабілізуючою платформою [1].

Стабілізуюча платформа кінематично пов'язана з основою системою кілець і осей (кардановим підвісом). На рис. 1, як приклад, зображено стабілізуючу платформу Π у двовісному підвісі. Зовнішня вісь А-А підвісу пов'язана з об'єктом, що рухається. Оптична вісь телескопа Т, встановленого на платформі, має бути безперервно спрямована на ціль при будь-яких положеннях башти ЛБТ. Оскільки будь-яке кутове положення телескопа у просторі може бути отримане поворотом його навколо трьох осей і поворот телескопа навколо напрямку на ціль не грає ролі, то у даному випадку достатньо забезпечити поворот платформи щодо об'єктів, які рухаються навколо двох осей.

Відхилення платформи від необхідних кутових положень щодо осей А-А і В-В визначаються чутливими елементами ЧЕ_A і ЧЕ_B . Кожен чутливий

елемент управляє відповідним виконавчим двигуном D через підсилювач $У$. Між двигуном і віссю підвісу є редуктор, що не показаний на рис. 1. Таким чином, по кожній з осей є окремий канал управління.

Канали стабілізації в дійсності складніші, ніж показано на рис. 1. У них можуть використовуватися додаткові сигнали від телескопа, від лічильно-обчислювальних пристроїв, сигнали по похідним кута качання і похибки стабілізації. Стабілізатор може бути коректованим, коли не тільки забезпечується незалежність положення платформи від руху об'єкта внаслідок качання і маневру, але і здійснюються порівняно повільні повороти платформи по деяких законах. У цьому випадку передбачаються спеціальні ланцюги корекції, що формують додаткові сигнали на виконавчих двигунах.

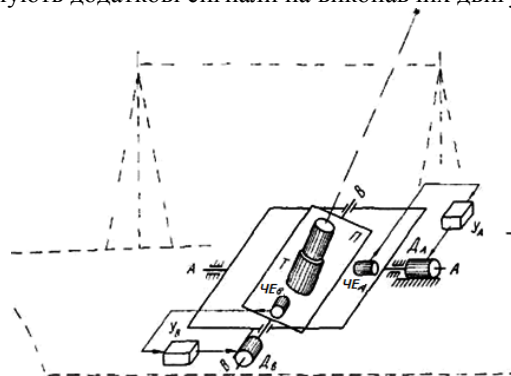


Рис. 1. Стабілізована платформа у двовісному підвісі

Система стабілізації забезпечує створення деяких стабілізуючих моментів, що діють по осях підвісу і компенсуючих моментів, які збурюють платформу внаслідок качання об'єкта, дисбалансу тощо.

До стабілізуючих моментів, окрім моментів виконавчих двигунів або інших виконавчих пристроїв, можуть відноситись також моменти гіроскопічної реакції гіроскопів, встановлених на платформі. Системи, в яких моменти гіроскопічної реакції безпосередньо впливають на стабілізовану платформу, мають силові гіроскопічні стабілізатори.

Системи стабілізації, в яких стабілізуючі моменти створюються тільки виконавчими двигунами або іншими виконавчими пристроями, а моменти гіроскопічної реакції гіроскопів не використовуються для безпосередньої компенсації моментів, що збурюють платформу, називатимуться системами непрямой стабілізації. Гіроскопічні елементи в системах непрямой стабілізації можуть використовуватись лише для виявлення відхилень платформи від заданого положення і для формування керуючих сигналів.

Окремий вид являють собою багатоступінчасті стабілізатори, серед яких практичне значення мають системи двоступеневої стабілізації. У такій системі розглянута вище платформа є елементом першого ступеня стабілізації. На ній додатково

встановлюється в окремому кардановім підвісі друга платформа. Це другий ступінь стабілізації, з'являється похибка стабілізації (спричинена «за-лишками качання») першої платформи. Друга платформа стабілізується у просторі з вищою точністю, ніж перша [2-4].

Гіроскопи як чутливі елементи системи стабілізації.

Для реалізації цілей гіроскопічної стабілізації застосовуються гіроскопи, що представляють собою симетричне тверде тіло (ротор), що швидко обертається навколо осі симетрії. Одна з точок тіла на осі обертання закріплена і називається точкою підвісу. У разі збігу точки підвісу з центром тяжіння виходить, так званий, астатичний гіроскоп.

Сьогодні відомо багато різновидів гіроскопів. Відмінність між ними полягає головним чином у способі підвісу ротора. Відповідно до цього розрізняють гіроскопи з шарикопідшипниковими опорами, поплавкові, з аеродинамічним підвісом, з магнітним підвісом та інші.

Розглянемо детальніше шарикопідшипникові гіроскопи. Особливості гіроскопів з іншим типом підвісу розглянуто у відповідних розділах нижче.

Триступеневий гіроскоп. Якщо помістити кожух з ходовими підшипниками у двовісний карданний підвіс (рис. 2), то вийде триступеневий гіроскоп. Положення гіроскопа відносно нерухомого об'єкта, на якому встановлений підвіс, може бути визначено шляхом порівняння положення координатної системи $Ox_r y_r z_r$, пов'язаної з обертотним ротором, з нерухомою системою координат $O\xi\eta\zeta$. Перехід від однієї системи координат до іншої може бути зроблений поворотом на три кути Ейлера [1].

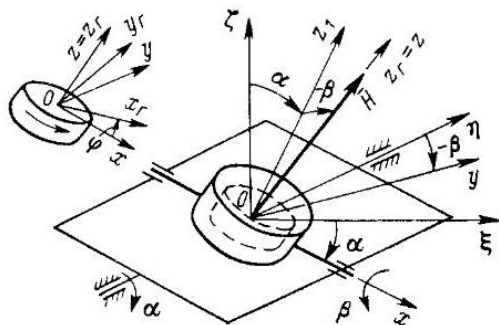


Рис. 2. Гіроскоп у кардановому підвісі

Перший поворот на кут прецесії α здійснюється навколо осі зовнішньої рамки (осі $O\eta$), другий поворот на кут нутації β – щодо осі внутрішньої рамки (осі Ox) і третій поворот на кут власного обертання гіроскопа φ – щодо осі обертання ротора (осі Oz_r). У гіроскопічних стабілізаторах кут α називається кутом стабілізації, а кут β – кутом прецесії.

Рівняння руху гіроскопа, як правило, виводять для напіврухомої системи координат $Oxuz$ (тригранника Резаля), у якій вісь Oz збігається з віссю власного обертання гіроскопа, а осі Ox і Oy пов'язані з внутрішнім кільцем підвісу, тобто з кожухом гіроскопа (рис. 2).

У цій системі координат вихідні рівняння руху гіроскопа мають вигляд:

$$J_x \frac{d\Omega_x}{dt} - (J_y - J_z)\Omega_y\Omega_z + \Omega_y H = M_x; \quad (1)$$

$$J_y \frac{d\Omega_y}{dt} - (J_z - J_x)\Omega_x\Omega_z + \Omega_x H = M_y; \quad (2)$$

$$J_z \frac{d\Omega_z}{dt} - (J_x - J_y)\Omega_x\Omega_y = M_z, \quad (3)$$

де Ω_x , Ω_y і Ω_z – проекції вектора абсолютної кутової швидкості обертання напіврухомої системи координат у просторі на осі напіврухомої системи координат; J_x , J_y і J_z – відповідні моменти інерції; M_x , M_y і M_z – моменти зовнішніх сил; $H = \Omega_0 J_z$ – кінетичний момент.

Рівняння (1) і (2) описують рух осі гіроскопа. Ці рівняння зручніше представити так, щоб у них входили моменти, що діють по осях підвісу. Тоді, враховуючи очевидні рівності $\Omega_x = \dot{\beta}$ і $\Omega_y = \dot{\alpha}$, отримаємо після проектування на відповідні осі:

$$A\dot{\alpha} - H\dot{\beta} \cos \beta = M_\eta; \quad (4)$$

$$B\dot{\beta} - H\dot{\alpha} \cos \beta = M_x. \quad (5)$$

У цих рівняннях α і β – кути повороту щодо осей зовнішньої і внутрішньої рамок; A – момент інерції системи відносно осі зовнішньої рамки (осі $O\eta$) і B – момент інерції внутрішньої рамки (кожуха з гіроскопом) щодо її осі (Ox).

При малих значеннях кута β можна покласти $\cos \beta \approx 1$. Переходячи до символічної запису диференціальних рівнянь і вводячи алгебраїчний оператор диференціювання $p = \frac{d}{dt}$, отримаємо лінеаризовані рівняння:

$$Ap^2\alpha - Hp\beta = M_\eta; \quad (6)$$

$$Bp^2\beta + Hp\alpha = M_x. \quad (7)$$

У ці рівняння входять не самі оригінали функцій $\alpha(t)$ і $\beta(t)$, а їх зображення. У рівняння (6) і (7) можна записати кути повороту підвісу:

$$\alpha = \frac{M_x}{Hp(1+T^2p^2)} + \frac{BM_\eta}{H^2(1+T^2p^2)} = W_1(p)M_x + W_2(p)M_\eta; \quad (8)$$

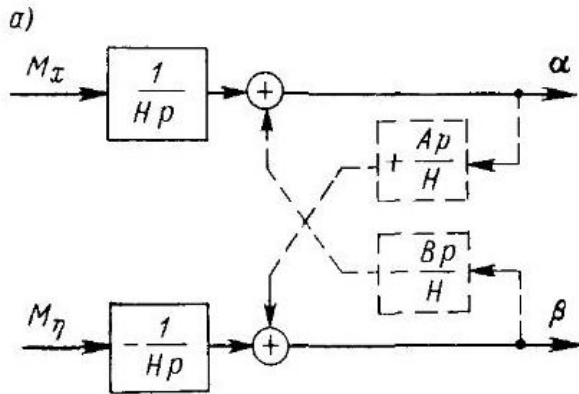
$$\beta = \frac{AM_x}{H^2(1+T^2p^2)} + \frac{M_\eta}{Hp(1+T^2p^2)} =$$

$$= \frac{A}{B} W_2(p) M_x + W_1(p) M_\eta, \quad (9)$$

де $T^{-2} = q^2 = \frac{H^2}{AB}$ – квадрат кругової частоти нутаційних коливань гіроскопа.

Введені передатні функції гіроскопа:

$$W_1(p) = \frac{1}{Hp(1+T^2p^2)}; \quad (10)$$



$$W_2(p) = \frac{B}{H^2(1+T^2p^2)}. \quad (11)$$

Два різновиди структурних схем відповідних рівнянь (6) - (7) або (8) - (9), представлені на рис. 3, а і б. Штрихами показано ланки, при відкиданні яких будуть отримані усічені рівняння (6) - (7), відповідні прецизійній теорії гіроскопа ($Ap^2\alpha \approx 0$ і $Bp^2\beta \approx 0$).

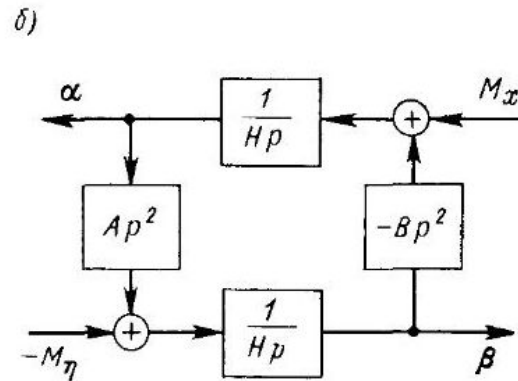


Рис. 3. Структурні схеми вільного гіроскопа

Структурні схеми на рис. 3 є вихідними схемами. Вони можуть змінюватися і ускладнюватися у зв'язку з тими функціональними залежностями, які притаманні моментам на осях підвісу в кожному конкретному випадку. Ці моменти можуть залежати, наприклад, від $\alpha, \beta, \dot{\alpha}, \dot{\beta}$ та ін.

Триступеневий гіроскоп у пружному кардановому підвісі. Розглянемо двоступеневий карданний підвіс у тому випадку, коли вісь внутрішньої рамки не може вважатися абсолютно жорсткою. На рис. 4. наведені кути, що лежать у площині $\xi O \zeta$, перпендикулярній до площини зовнішньої рамки. Тоді замість рівнянь (6) і (7) можна отримати лінеаризовані рівняння руху гіроскопа у вигляді:

$$Ap^2\alpha + R(\alpha - \gamma) = M_\eta; \quad (12)$$

$$Bp^2\beta + Hp\gamma = M_x; \quad (13)$$

$$Bp^2\gamma - Hp\beta + R(\alpha - \gamma) = 0, \quad (14)$$

де R – жорсткість підвісу кожуха гіроскопа відносно зовнішнього кільця.

Якщо виключити з цих рівнянь кут γ , то отримаємо два рівняння, що визначають кут стабілізації α і кут прецесії β :

$$RH(1+T^2p^2)p\alpha + RBp^2\beta = HpM_\eta + RM_x; \quad (15)$$

$$(Bp^2 + RB + H^2)p^2\beta + RHp\alpha = R(1+T^2p^2)M_x. \quad (16)$$

Частоти вільних коливань пружного підвісу виражені формулами:

$$q_1 = \frac{1}{T_1} = \sqrt{\frac{R}{A}}. \quad (17)$$

$$q_2 = \frac{1}{T_2} = \sqrt{\frac{R}{B}}. \quad (18)$$

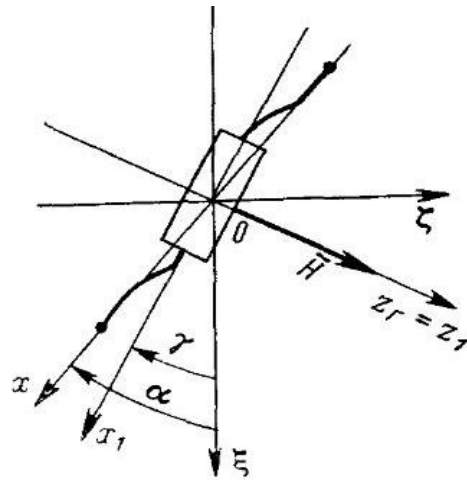


Рис. 4. Гіроскоп у пружному кардановому підвісі

Один із можливих варіантів вихідної (без урахування функціональних залежностей для M_x і M_η) структурної схеми зображений на рис. 5. Ця схема відповідає рівнянням (12) - (14) [7-8].

Системи стабілізації із даними гіроскопами є одними із найточніших.

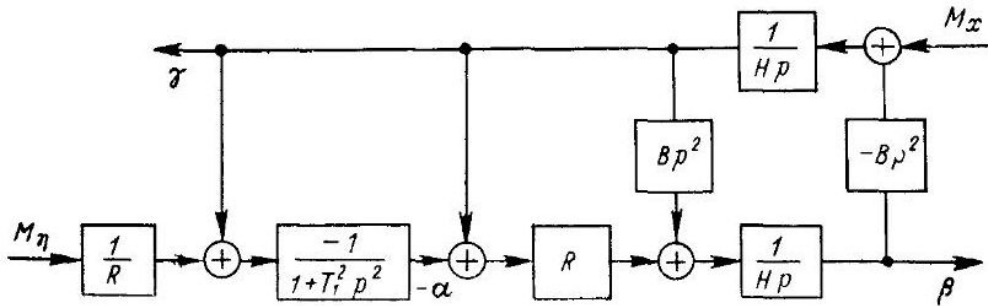


Рис. 5. Структурна схема гіроскопа в пружному підвісі

Функціональна схема стабілізатора озброєння

Стабілізатор озброєння являє собою систему автоматичного регулювання, що реагує на кутові відхилення озброєння від заданого напрямку і забезпечує його збереження, чим досягається підвищення влучності стрільби з ходу.

Як задавачі напрямку прицілювання у всіх без винятку стабілізаторах озброєння застосовуються саме гіроскопічні прилади.

У конструкціях стабілізаторів стабілізуючі моменти (пропорційні величині керуючих сигналів), які впливають на башту ЛБТ, створюються електромашинними або електрогідролічними приводами.

Залежно від знаку і величини керуючого сигналу виконавчий орган стабілізатора буде чинити відповідний вплив на об'єкт, що стабілізується, і перешкоджати його відхиленню під впливом збурюючих моментів.

Стабілізатори, в яких задавач напрямку не має безпосереднього впливу на об'єкт стабілізації, а застосовується тільки для створення керуючих сигналів, прийнято називати індикаторними. Необхідним елементом такого стабілізатора є підсилювач, який підсилює сигнали, що видаються задавачами напрямку для управління виконавчими органами стабілізатора.

Стабілізуючий момент, пропорційний знаку і величині сигналу, отриманого від задавача напрямку, і силовий вплив на об'єкт стабілізації створюються виконавчим приводом стабілізатора

озброєння. У стабілізаторах озброєння застосовуються електромеханічні (електромашинні) і електрогідролічні приводи.

Як уже зазначалося, стабілізатор озброєння є системою автоматичного регулювання з регулюванням по відхиленню. Система автоматичного регулювання забезпечує сталість регульованої величини при зміні збурюючих впливів.

Система автоматичного регулювання з регулюванням за відхиленням передбачає послідовне виконання таких основних операцій: вимірювання відхилення регульованої величини від заданого значення - відхилення осі каналу гармати від заданого напрямку; вимірювання кута неузгодженості $[\Delta\varphi = \pm (\varphi_{\text{зад}} - \varphi_0)]$, що передбачає введення у систему стабілізації жорсткого від'ємного зворотного зв'язку, наявність якого дозволить порівнювати дійсний напрямок φ_0 з заданим $\varphi_{\text{зад}}$.

У стабілізаторі озброєння ЛБТ для усунення неузгодженості необхідно створити стабілізуючий момент (M_c), який врівноважить збурюючий момент (M_b) і, впливаючи на об'єкт стабілізації, поверне його у задане положення. Момент, діючий на об'єкт стабілізації, дорівнює $M_0 = M_c - M_b$.

Отже, завдання регульованої величини, тобто задавання кута відхилення озброєння ($\varphi_{\text{зад}}$) на рухомому ЛБТ і його стабілізація при стрільбі з ходу, є першочерговим завданням, а гіроскопічний задавач напрямку – найважливішим елементом стабілізатора озброєння ЛБТ. Гіроскопічний задавач напрямку разом з електричним датчиком (рис. 6) утворює датчик кута.

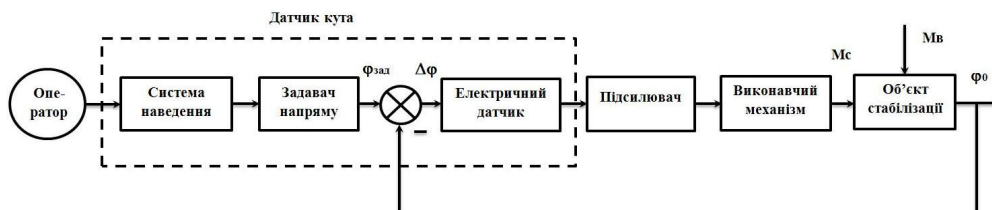


Рис. 6. Функціональна схема найпростішого стабілізатора озброєння індикаторного типу

Крім того, датчик кута забезпечується спеціальною системою наведення, за допомогою якої

оператор може змінювати напрямок осі каналу ствола.

Стабілізатор озброєння ЛБТ працює у такій послідовності. Оператор, виявивши ціль, за допомогою системи наведення задає потрібний напрямок стабілізуючої осі гіроскопа $\varphi_{зад}$, якому має відповідати напрямок осі каналу ствола стабілізованого озброєння, після чого оператор припиняє наведення (припиняє дію на систему наведення) і приймає рішення про постріл.

Під дією збурюючого моменту M_b , переданого на озброєння при коливаннях корпусу ЛБТ, вісь каналу ствола буде відхилятися від заданого напрямку. Виникає кутлова неузгодженість ($\Delta\varphi$) між заданим напрямком осі каналу ствола гармати $\varphi_{зад}$ і його дійсним напрямком φ_0 , вимірюється електричним датчиком. При цьому кутлова неузгодженість перетворюється в керуючий електричний сигнал. Цей сигнал посилюється в підсилювачі до величини, яка необхідна для управління виконавчим приводом стабілізатора озброєння.

Виконавчий привід створює стабілізуючий момент M_c , під дією якого озброєння повертається в бік, протилежний напрямку повороту корпусу ЛБТ. Завдяки цьому кутлова неузгодженість, що виникла, зменшується, а напрямок осі каналу гармати зберігається незмінним з певною точністю.

Таким чином, під час руху ЛБТ, після того, як припиниться наведення на ціль, озброєння буде сприймати вплив зовнішніх збурюючих моментів M_b , які будуть викликати відхилення його від заданого напрямку. Одночасно озброєння буде перебувати під впливом стабілізатора, який буде безперервно приводити його у відповідність із заданим напрямком. Така система є значно точнішою за відомі аналоги.

Висновки

Розглянуто шляхи підвищення точності та швидкодії сучасного приладового комплексу стабілізатора, який може використовуватись для стабілізації озброєння легкої броньованої техніки в екстремальних умовах.

Встановлено, що система стабілізації забезпечує сталість кутів між осями нерухомої системи координат і осями, жорстко зв'язаними з об'єктом стабілізації.

Проведено аналіз доцільності використання гіроскопів у якості чутливих елементів комплексу стабілізації та математично описано принцип їх роботи.

Встановлено, що до стабілізуючих моментів, окрім моментів виконавчих двигунів або інших виконавчих пристроїв, які необхідно враховувати при визначенні точності стабілізатора, можуть відноситись також моменти гіроскопічної реакції гіроскопів, встановлених на платформі. Системи стабілізації, в яких стабілізуючі моменти створюються тільки виконавчими двигунами або іншими виконавчими пристроями, а моменти гіроскопічної реакції гіроскопів не використовуються для безпо-

середньої компенсації моментів, що збурюють платформу, називатимуться системами непрямой стабілізації.

Приведено та проаналізовано функціональну схему найпростішого стабілізатора озброєння індикаторного типу, описано послідовність виконання в ній основних операцій.

Запропонована система стабілізації має більшу точність та швидкодію, аніж відомі аналоги.

Література

1. Безвесільна О. М. Попередня прецизійна виставка навігаційних чутливих елементів приладового комплексу стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки: монографія / О. М. Безвесільна, В. Г. Цірук, С. П. Маляров. – 2016, Житомир: ЖДТУ. – 235 с.
2. Кузнєцов Б. І. Система наведення і стабілізації озброєння легкоброньованих машин з нейромережевим регулятором / Б. І. Кузнєцов, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – №1(13). – P.112-116.
3. Guerard, J. Quartz structures for Coriolis Vibrating Gyroscopes / Guerard, J., Janiaud, D.; Taibi, R.; Levy, R. // Phys. & Instrum. Dept., ONERA, Chatillon, France, 2014. – С. 1-4.
4. Remillieux, G. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized/ Remillieux G.; Delhaye F.// Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS) , 2014. – С. 1-13.
5. Calvo M. Time stability of spring and superconducting gravimeters through the analysis of very long gravity records / M. Calvo, J. Hinderer, S. Rosat, H. Legros, J.-P. Boy, B. Ducarme, W. Zürn // Journal of Geodynamics. – 2017. – №106. – P. 30–32.
6. Roussel C. Integration of a Strapdown Gravimeter System in AN Autonomous Underwater Vehicle / Roussel C., Verdun J., Cali J., Maia M., d'EU J. F. // ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – Volume XL-5/W5. – P. 199–206.
7. Dunzhu X. The Development of Micromachined Gyroscope Structure and Circuitry Technology / Dunzhu Xia , Cheng Yu and Lun Kong // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 1394-1473, DOI: 10.3390/s140101394.
8. Korobiichuk I. Aviation gravimetric system / I. Korobiichuk, R. Szewczyk, M. Nowicki, V. Shadura // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Vol.6. - Issue 7. – P. 1122-1126.
9. Bezvesilna O. Introducing the principle of constructing an aviation gravimetric system with any type of gravimeter / O. Bezvesilna, A. Tkachuk, T. Khylichenko, S. Nechai // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/7 (85). – P.45-56. DOI:[10.15587/1729-4061.2017.92941](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92941)

10. Безвесільна О. М. Розрахунок та аналіз статичних похибок двогіроскопного чутливого елемента / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук, А. А. Гуменюк, С. О. Нечай // Науковий

журнал «Технологічний аудит та резерви виробництва». – 2016. – № 6/2(32). – С. 9-17. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.85452

УДК 528.563

¹⁾Е. Н. Безвесильная, ¹⁾Г. С. Тымчик, ²⁾А. Г. Ткачук, ¹⁾В. Г. Цирук

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина;

²⁾Житомирский государственный технологический университет, г. Житомир, Украина

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ

Рассмотрены пути повышения точности и быстродействия современного приборного комплекса стабилизатора, который может использоваться для стабилизации вооружения легкой бронированной техники в экстремальных условиях. Проведен аналитический обзор литературы и патентных баз данных в области построения систем стабилизации. Идентифицированы основные составляющие элементы системы стабилизации. Проведен анализ целесообразности использования гироскопов в качестве чувствительных элементов комплекса стабилизации и математически описан принцип их работы. Приведены и проанализированы функциональную схему простейшего стабилизатора индикаторного типа, описано последовательность выполнения в ней основных операций. Предложено применение методов параметрической и структурной оптимизации, которые позволят увеличить точность и эффективность чувствительного элемента на стадии проектирования.

Ключевые слова: стабилизатор, гироскоп, чувствительный элемент, система координат, стабилизированная платформа.

¹⁾О. М. Bezvesilna, ¹⁾G. S. Tymchuk, ²⁾A. G. Tkachuk, ¹⁾V. G. Tsiruk

¹⁾National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; ²⁾Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine

SCIENTIFIC-THEORETICAL RESEARCH OF THE STABILIZATION SYSTEM

The ways of increasing the accuracy and speed of a modern instrumentation system of the stabilizer, which can be used to stabilize the armament of light armored machinery in extreme conditions, are considered. An analytical review of literature and patent databases in the field of construction of stabilization systems was conducted. The main components of the armament stabilization system are identified. It was established that the stabilization system provides the constancy of the angles between the axes of a fixed coordinate system and the axes rigidly connected with the object of stabilization. The analysis of expediency of use of gyroscopes as sensitive elements of the stabilization complex is carried out and the principle of their work is mathematically described. In stabilizer designs, stabilizing moments (proportional to the values of control signals) are generated by electromechanical or electrohydraulic actuators. It has been established that moments of gyroscopic reaction of gyroscopes installed on a platform may be related to stabilizing moments, except for the moments of the actuators or other actuators which need to be taken into account in determining the accuracy of the stabilizer. Stabilization systems in which stabilizing moments are created only by actuators or other actuators, and the gyroscopic gyroscope's moments are not used to directly compensate for the disturbing moments of the platform, will be called indirect stabilization systems. The functional diagram of the simplest indicator armature stabilizer is presented and analyzed, and the sequence of execution of basic operations in it is described. The application of parametric and structural optimization methods, which will increase the accuracy and efficiency of the sensitive element at the design stage, is proposed.

Key words: stabilizer, gyro, sensor, coordinate system, stabilized platform.

Надійшла до редакції
06 листопада 2017 року

Рецензовано
17 листопада 2017 року

© Безвесільна О. М., Тимчик Г. С., Ткачук А. Г., Цирук В. Г., 2017