

ТКАЧУК А. Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-2466-6299>e-mail: andru_tkachuk@ukr.net

БЕЗВЕСІЛЬНА О. М.

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>e-mail: o.bezvesilna@gmail.com

БОНДАРЧУК В. М.

<https://orcid.org/0000-0003-2793-8720>e-mail: kvm_bvm@ztu.edu.ua

КРИЖАНІВСЬКА І. В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

e-mail: krilonika@gmail.com

ПРОЕКТУВАННЯ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

У роботі наведено результати проведеного проектування стабілізованої платформи інформаційно-вимірювальної системи для проведення розвідувальних операцій на базі роботизованої мобільної гусеничної платформи. Математично писано принцип її роботи та наведено структурну блок-схему.

Ключові слова: стабілізація, точність, розвідка, інформаційно-вимірювальна система, точність.

ANDRII TKACHUK

State University «Zhytomyr Polytechnic»

OLENA BEZVESILNA

NTUU «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»

VASIL BONDARCHUK

State University «Zhytomyr Polytechnic»

ILONA KRYZHANIVSKA

State University «Zhytomyr Polytechnic»

DESIGN OF STABILIZED INFORMATION AND MEASURING SYSTEM PLATFORM FOR INTELLIGENCE OPERATIONS

The article presents the results of the design of a stabilized platform of information and measurement system for reconnaissance operations based on robotic mobile tracked platform. The analysis of existing mobile robots for reconnaissance operations was carried out and it was established that all of them are practically effective only in the conditions of work in the open area. A number of ideas, approaches and working hypotheses for the design of a new information and measurement system for reconnaissance operations based on a robotic mobile tracked platform. It has been established that this system is necessary to warn of possible threats of explosions or gas poisoning, rescue operations, etc. The developed design of the robotic caterpillar platform is described, the classical scheme of caterpillar wheels is shown and its movements are described. Attention is paid to the position of the drive, because depending on the orientation in the space of the drive, depends on the direction of rotation of its output shaft, and accordingly the direction of movement of tracked tracks. The expediency of using caterpillar platforms for reconnaissance operations is substantiated. All possible angles of deviation of the stabilized platform from zero position are described. The principle of operation of the stabilized platform of the information-measuring system for conducting reconnaissance operations is mathematically described. It is established that the stabilization of the platform is realized with the help of only two linear accelerometers and motors controlled by an on-board digital computer. The block diagram of the stabilized platform of the information-measuring system for carrying out reconnaissance operations is developed and the admissible error of its stabilization in vertical position is defined.

Keywords: stabilization, accuracy, intelligence, information-measuring system, accuracy.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Спостереження є одним із найпоширеніших способів ведення розвідки противника і місцевості. Воно ведеться на марші і під час зустрічного бою, у наступі, в обороні, під час розташування підрозділів на місці безперервно вдень і вночі.

Пересуватися по землі бойові роботи можуть різними способами: на колесах, на гусеницях і навіть на «ногах». Прикладом колісного робота є ізраїльський безпілотний автомобіль Guardium, створений компанією G-NIUS. Машина побудована на базі чотириколісного баггі, а тому може застосовуватися не тільки для охорони автоколон, а й для розвідки на пересіченій місцевості.

Куди більш універсальним є військовий робот Swords виробництва американської компанії Foster-Miller TALON. Крім відеокамери з функцією нічної зйомки, встановити на нього можна різні види стрілецької зброї.

Найбільшим фахівцем з питань розвідки і спостереження вважається робот SUGV (XM1216 Small Unmanned Ground Vehicle), також побудований на гусеничному ході. Він значно легше і компактніше вище згаданого Swords [1].

Перераховані мобільні бойові роботи є продуктивними під час розвідки на відкритій території та під час ведення дистанційного бою. Проте дані роботи мають значні габарити та не можуть використовуватись в середині приміщень або завалених об'єктів. Також дані роботи виконують лише функції візуального спостереження і, деякі з них, оснащені кулеметами для ведення бою.

Сьогодні БПЛА широко використовуються для рятувальних цілей, пошуку та порятунку постраждалих, інспектування будівель та промислової інфраструктури, військових цілей, моніторингу екосистем та боротьби з лісовими пожежами [2]. Це, в свою чергу, сприяє розвитку високоточної локалізації та співпраці на рівні людина-робот [3].

Для вирішення завдань щодо проектування даної системи пропонується використати ряд ідей, підходів та робочих гіпотез:

- нова приладова інформаційно-вимірювальна система для проведення розвідувальних операцій на базі рухомої роботизованої платформи буде використовуватись у розвідувально-попереджувальних місіях як у зоні бойових дій для пошуку та локалізації ворога перед початком операцій захоплення чи визволення стратегічно важливих об'єктів, а також для попередження військовослужбовців про можливі потенційні загрози їх життів (вибухи чи отруєння газами), так і для проведення рятувальних робіт після техногенних катастроф;

- розвідувальна система має бути комплексною і окрім візуальної розвідки за допомогою набору спеціалізованих камер, також має проводити даткові вимірювання зовнішніх параметрів – наявність шкідливих та вибухонебезпечних газів, температуру середовища тощо;

- з метою зменшення габаритів стабілізатора та одночасного вимірювання необхідних параметрів за трьома осями координат доцільно спроектувати новий прецизійний чутливий елемент на базі MEMS-технологій;

- для підвищення точності стабілізації відеокамери необхідно вирішити проблему фільтрації вихідного сигналу нового чутливого елемента;

- гусеничні рухомі платформи мають найкращу прохідність серед існуючих наземних рухомих роботизованих платформ;

- для оперативного керування роботизованою платформою актуальним є застосування VR-технологій;

- результати моніторингу мають зберігатись та оброблятись на мобільній наземній станції, а на мобільній платформі створюватись копія цих результатів та ін.

Важлива відмінна якість гусеничних мобільних роботів полягає в їх маневреності. Володіючи незалежним приводом для кожної з гусениць окремо, мобільний робот може легко змінювати напрямок власного руху. Завдяки тому, що швидкість кожної з гусениць регулюється окремо, досить легко управляти рухом мобільного робота. Для завдання будь-якого напрямку руху необхідно змінити відносну швидкість приводів. Гусеничні роботи є найбільш ефективними внаслідок більш високих можливостей в плані подолання перешкод та її стійкості.

Аналіз останніх джерел

Сьогодні існує багато досліджень, спрямованих на розробку систем спостереження на базі мобільних платформ (літальних, плаваючих, колісних тощо).

У роботах [1, 2] описано стан і перспективи розвитку самохідних дистанційно-керованих розвідувальних машини для потреб Збройних Сил України, вказано їх недоліки.

У роботах [4, 5] запропоновано в якості чутливого елемента системи стабілізації використовувати коріолісовий вібраційний гіроскоп. Проаналізовано склад і принцип роботи відомої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу. Однак, відсутні пропозиції з покращення технічних характеристик системи, аналіз математичної моделі та похибок чутливих елементів системи.

У публікації [6] описано метод визначення кутової швидкості за допомогою MEMS-гіроскопа, принцип роботи якого подібний до «ефекту Sagnac». Запропоновано методи підвищення точності даного чутливого елемента.

Робота [7] присвячена автономній навігації по фіксованому маршруту, побудованій з використанням пропорційно-інтегрально-диференціальних (PID) та нейро-нечітких законів управління, в основному на основі детермінованих та / або модельованих датчиків. Однак, у роботі не звертають уваги на той факт, що потрібна досить складна процедура фільтрації та алгоритмічна адаптація до робочого простору даної системи.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проектування стабілізованої платформи інформаційно-вимірювальної системи для проведення розвідувальних операцій.

Виклад основного матеріалу

У реальних умовах роботи стабілізована платформа може

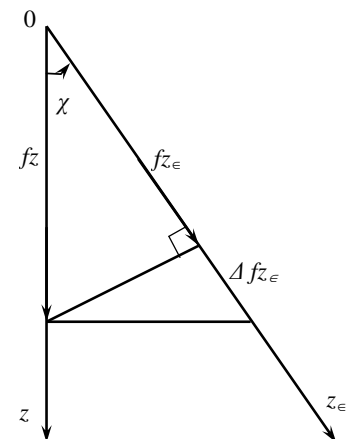


Рис. 1. Похибка позиціонування платформи

відхилитися на деякий кут χ від напрямку вертикалі. Оскільки напрямок повного вектора прискорення сили тяжіння f_z співпадає із напрямком істинної вертикалі, то внаслідок відхилення осі чутливості акселерометр по осі Oz вимірює не істинне значення повного вектора прискорення, а його проекцію $f_{z\epsilon}$ на миттєве або змінне положення цієї осі чутливості (рис. 1) [8].

З рис. 1 видно, що

$$\cos \chi = \frac{f_{z\epsilon}}{f_z} = 1 - \frac{\Delta f_{z\epsilon}}{f_z}. \quad (1)$$

Змінюючи $\cos \chi$ двома першими членами розкладу в ряд цієї тригонометричної функції, перепишемо рівняння (1):

$$1 - \frac{\chi^2}{2} = 1 - \frac{\Delta f_{z\epsilon}}{f_z}. \quad (2)$$

Прийнявши до уваги те, що $\Delta f_{z\epsilon}$ не має перевищувати $(0,1...3) \cdot 10^{-6} g$ [8], дістанемо з (2), що допустима похибка стабілізації осі чутливості у положення вертикалі має не перевищувати:

$$\chi \leq \sqrt{\frac{2\Delta f_{z\epsilon}}{f_z}} = (0,14...4,23) \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 0,5...15, \text{ кут. хв.} \quad (3)$$

Отже, система стабілізації призначена саме для того, щоб забезпечувати збіг вертикальної вимірювальної осі платформи із довідковою вертикаллю. Систему стабілізації можна побудувати фізично й аналітично. Фізичний спосіб побудови системи стабілізації має такі переваги порівняно з аналітичним: здійснюється у вигляді простіших, ніж у разі аналітичного способу, компенсаційних схем; усуває вплив прискорень, перпендикулярних до осі чутливості системи; у разі аналітичного способу побудови системи стабілізації потребує обмеженого часу обчислень і вищої точності своїх інерціальних компонентів. З урахуванням перелічених переваг фізичного способу побудови системи стабілізації надалі матимемо на увазі використання саме цього способу.

Для цього проектується стабілізована платформа, яка має у своєму складі три акселерометри та виконавчі механізми у вигляді спеціальних двигунів (рис. 2).

Система стабілізації працює наступним чином. Вихідні сигнали лінійних акселерометрів f_y 3, f_x 4, встановлених на платформі 2, орієнтованій у географічній системі координат, осі чутливості яких спрямовані на північ та на схід відповідно, матимуть вигляд [8]:

$$f_x = -(2\dot{r}\dot{\varphi}_c + r\ddot{\varphi}_c)\cos \chi + (\ddot{r} - r\dot{\varphi}_c^2)\sin \chi - 2r\omega_3\dot{\lambda}\cos\varphi_c \sin\varphi - r\dot{\lambda}\cos\varphi_c \sin\varphi + \aleph g; \quad (4)$$

$$f_y = 2r\dot{\varphi}_3\omega_3 \sin\varphi_c + 2r\varphi_c \dot{\lambda} \sin\varphi_c - 2\dot{r}\dot{\lambda} \cos\varphi_c - r\ddot{\lambda} \cos\varphi_c - 2\dot{r}\omega_3 \cos\varphi_c - v g, \quad (5)$$

де \aleph , v – кути між нормаллями до еліпсоїда і геоїда відповідно у меридіональному перерізі та у площині перерізу, перпендикулярного площині меридіана; φ , φ_c – географічна та геоцентрична широта відповідно; χ – відхилення від вертикалі; λ – довгота місця.

Отримані сигнали надходять до БЦОМ, де формується керуючий сигнал та надходить до двигунів 5, 6, які, в свою чергу, вирівнюють ГСП 2 у нульове положення.

Якщо ГСП 2 виставлена абсолютно точно у положення вертикалі, то горизонтальні компоненти прискорення дорівнюють нулю. Вважаючи, що $\aleph g = -vg = 0$, напишемо складові, які буде компенсувати БЦОМ:

$$f_x \Rightarrow 0 = 2r\omega_3\dot{\lambda}\cos\varphi_c \sin\varphi - r\dot{\lambda}\cos\varphi_c \sin\varphi; \quad (6)$$

$$f_y \Rightarrow 0 = 2r\dot{\varphi}_3\omega_3 \sin\varphi_c + 2r\varphi_c \dot{\lambda} \sin\varphi_c - 2\dot{r}\dot{\lambda} \cos\varphi_c - 2\dot{r}\omega_3 \cos\varphi_c. \quad (7)$$

Якщо знехтувати складовими другого порядку та прийняти відхилення від вертикалі рівним нулю, то дістанемо:

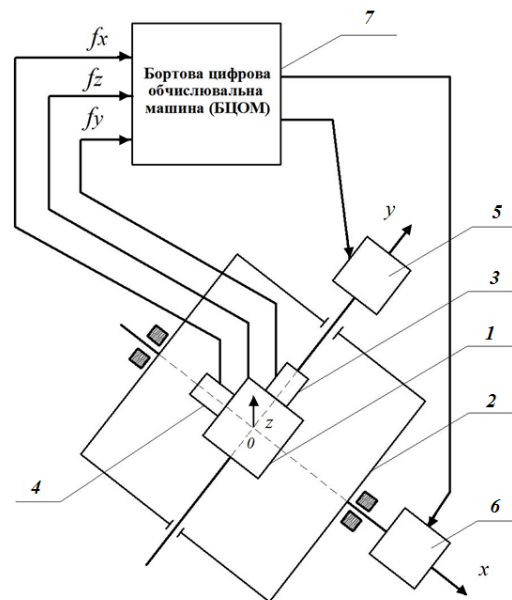


Рис. 2. Система стабілізації: 1 – акселерометр вертикалі Oz; 2 – платформа (ГСП); 3, 4 – лінійні акселерометри по Oх та Oу; 5, 6 – двигуни; 7 – БЦОМ

$$f_x = -r\ddot{\varphi}_c; \tag{8}$$

$$f_y = -2r\dot{\lambda}\cos\varphi_c. \tag{9}$$

Якщо кожний із сигналів f_y і f_x помножити на r^{-1} , про інтегрувати і помножити на (-1), то на виході відповідних каналів дістанемо $\dot{\varphi}$ та $\dot{\lambda}\cos\varphi$ (рис. 3). Сигнал $\dot{\varphi}$ буде використовуватися для керування ГСП відносно осі x , спрямованої на північ, а сигнал $\dot{\lambda}\cos\varphi$ - для керування відносно осі y , спрямованої на схід.

Якщо сигнали швидкості зміни широти і довготи ще раз про інтегрувати, а потім підсумкові значення широти і довготи ввести в БЦОМ для обчислення прискорень, що компенсуються за сигналами акселерометрів, то дістанемо систему інерціальної навігації [8–10].

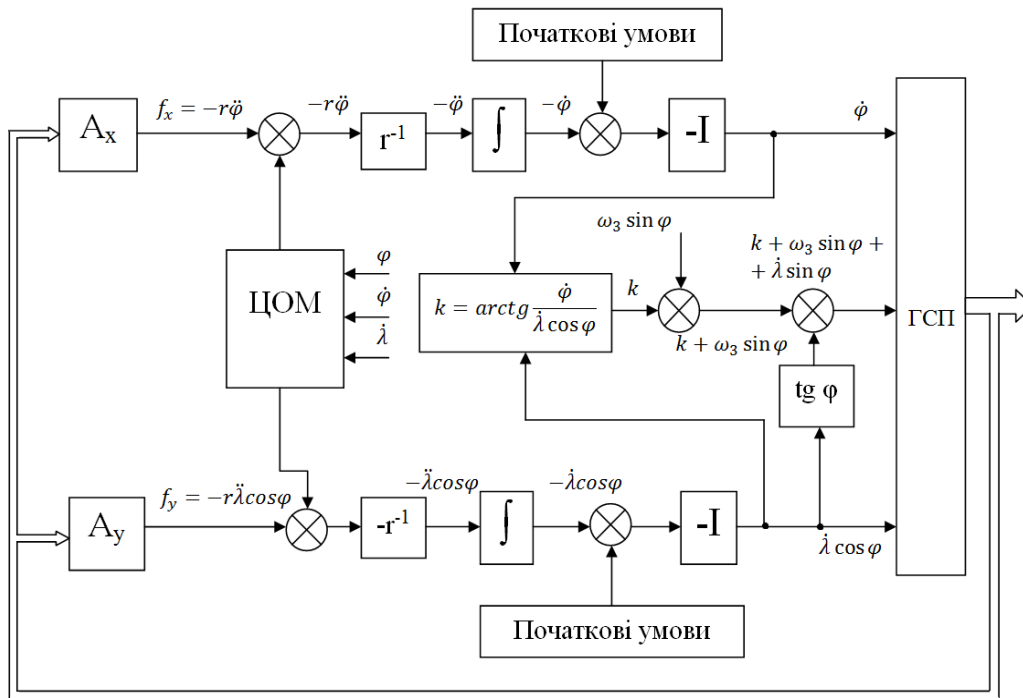


Рис. 3. Блок-схема стабілізованої платформи інформаційно-вимірювальної системи для проведення розвідувальних операцій

В основному, стабілізація ГСП реалізується за допомогою двох лінійних акселерометрів та двигунів, керованих БЦОМ. Запропонована система стабілізації забезпечує рівень допустимої похибки стабілізації у положення вертикалі в межах 0,5–15 кут. хв. [8–10].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропоновано стабілізовану платформу інформаційно-вимірювальної системи для проведення розвідувальних операцій на базі роботизованої гусеничної платформи, яка забезпечує рівень допустимої похибки у межах 0,5–15 кут. хв. Описано фізично та математично принцип її роботи. Ідентифіковано переваги та недоліки запропонованої системи стабілізації.

Література

1. Калінін О.М. Стан і перспективи розвитку самохідних дистанційно-керованих машини для потреб Збройних Сил України / О.М. Калінін, В.В. Костюк, П.О. Русіло, Ю.В. Варванець // Вісник НТУ "ХПІ". – 2016. – № 39.
2. Yu T.C. Wireless sensor networks for indoor air quality monitoring / Yu T.C., Lin C.C., Chen C.C., et al. // Medical engineering & physics. – 2013. – № 35(2). – P. 231–235.
3. Neumann P. Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction / Neumann P., Bartholmai M., Schiller J.H. et al. // Robotic and Sensors Environments (ROSE). – 2010. – P. 1–6.
4. Chikovani V.V. Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator / V.V. Chikovani // Електроніка та системи управління. – № 4(34). – 2012. – С. 56–63.
5. Remillieux G. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized / Remillieux G., Delhayе F. // Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS). – 2014. – P. 1–13.
6. Avrutov V.V., Bouraou N.I., Lakoza L., Pavlovskiy O.M., Patrick Henaff, Laurent Ciarletta, Petro Aksonenko. NEMS Gyroscope. 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches,

ICE/ITMC 2017 - Proceedings. – 2018. – pp. 394–398.

7. Hong-jie TANG. PID Control of Magnetic Navigation Differential AGV Trajectory / Hong-jie TANG, Shao-jun SHI, Pan-ling HUANG, Ding WANG, Jun ZHOU // DEStech Transactions on Engineering and Technology Research. – 2017. – pp. 500–506.

8. Безвесільна О. М. Вимірювання прискорень / Безвесільна О. М. – К. : Либідь, 2001. – 261 с.

9. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Tkachuk A., Bezvesilna O., Dobrzanskiy O., Ostapchuk A., Horodyskiy M. // E3S Web of Conferences. – 2020. – Volume 166. – pp. 1–6.

10. Ткачук А.Г. Використання методу двоканальності для підвищення точності нового п'єзоелектричного чутливого елемента системи стабілізації озброєння / А.Г. Ткачук, О.М. Безвесільна, А.А. Гуменюк, В.М. Янчук, І.В. Крижанівська // Науковий журнал «Технічна інженерія». – 2020. – № 2(86). – С. 73–80.

References

1. Kalinin O.M. Stan i perspektyvy rozvytku samokhidnykh dystantsiino-kerovanykh mashyny dlia potreb Zbroinykh Syl Ukrainy / O.M. Kalinin, V.V. Kostiuk, P.O. Rusilo, Yu.V. Varvanets // Visnyk NTU "KhPI". – 2016. – № 39.

2. Yu T.C. Wireless sensor networks for indoor air quality monitoring / Yu T.C., Lin C.C., Chen C.C., et al. // Medical engineering & physics. – 2013. – № 35(2). – P. 231–235.

3. Neumann P. Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction / Neumann P., Bartholmai M., Schiller J.H. et al. // Robotic and Sensors Environments (ROSE). – 2010. – P. 1–6.

4. Chikovani V.V. Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator / V.V. Chikovani // Elektronika ta systemy upravlinnia. – № 4(34). – 2012. – S. 56–63.

5. Remillieux G. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized / Remillieux G., Delhaye F. // Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS). – 2014. – P. 1–13.

6. Avrutov V.V., Bouraou N.I., Lakoza L., Pavlovskiy O.M., Patrick Henaff, Laurent Ciarletta, Petro Aksonenko. NEMS Gyroscope. 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings. – 2018. – pp. 394–398.

7. Hong-jie TANG. PID Control of Magnetic Navigation Differential AGV Trajectory / Hong-jie TANG, Shao-jun SHI, Pan-ling HUANG, Ding WANG, Jun ZHOU // DEStech Transactions on Engineering and Technology Research. – 2017. – pp. 500–506.

8. Bezvesilna O. M. Vymiruvannya pryskoren / Bezvesilna O. M. – K. : Lybid, 2001. – 261 s.

9. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Tkachuk A., Bezvesilna O., Dobrzanskiy O., Ostapchuk A., Horodyskiy M. // E3S Web of Conferences. – 2020. – Volume 166. – pp. 1–6.

10. Tkachuk A.H. Vykorystannia metodu dvokanalnosti dlia pidvyshchennia tochnosti novoho piezoelektrychnoho chutlyvoho elementa systemy stabilizatsii ozbroiennia / A.H. Tkachuk, O.M. Bezvesilna, A.A. Humeniuk, V.M. Yanchuk, I.V. Kryzhanivska // Naukovyi zhurnal «Tekhnichna inzheneriia». – 2020. – № 2(86). – S. 73–80.