

О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, А.Г. ТКАЧУК, С.С. КОТЛЯР, О.І. ФАСОЛЯ  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ТРАНСФОРМАТОРНИЙ ГРАВИМЕТР АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

У роботі викладено відомості щодо нового типу чутливого елемента автоматизованого інформаційно-вимірювального комплексу (ІВК) – трансформаторного гравіметра. Під час проведення гравіметричних вимірів прискорення сили тяжіння  $g$  або гравітаційних аномалій  $g$  на літальних апаратах у геодезії, геології, геофізиці може бути використаний новий тип чутливого елемента – гравіметр трансформаторного типу. Показано, що новий трансформаторний гравіметр забезпечує більш високу точність вимірювань шляхом компенсації впливу вертикального прискорення та залишкових інструментальних похибок, залишкових похибок від проєкцій горизонтальних перехресних прискорень та похибок, спричинених впливом зовнішніх електромагнітних потоків.

Ключові слова: трансформаторний гравіметр, інформаційно-вимірювальний комплекс.

O. BEZVESILNA, A. TKACHUK, S. KOTLYAR, O. FASOLYA  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### TRANSFORMER GRAVIMETER AUTOMATED INFORMATION AND MEASURING COMPLEX

The paper presents information on a new type of sensitive element of the automated information-measuring complex (IVC) - transformer gravimeter. When performing gravimetric measurements of the acceleration of gravity  $g$  or gravitational anomalies  $g$  on aircraft in geodesy, geology, a new type of sensitive element can be used - a transformer-type gravimeter. The transformer gravimeter of the CPI contains a sensitive element, which consists of a magnetic circuit, a moving armature, a primary excitation winding and a secondary output winding, which has two identical sections. The two sections of the secondary winding are connected in series. The movable armature is connected to the motor, which lowers it sequentially down and up the magnetic circuit every second. The motor is controlled by a switching device that is connected to a control voltage source. The output signal from the secondary output winding is fed to the input of the output signal calculator, at the output of which the signal is proportional to twice the value of gravity acceleration and does not contain errors from the vertical acceleration of the aircraft, residual instrumental errors, residual errors from horizontal projections, and errors caused by external electromagnetic fluxes. It is shown that the new transformer gravimeter provides higher accuracy of measurements by compensating for the influence of vertical acceleration and residual instrumental errors, residual errors from the projections of horizontal cross-accelerations and errors caused by external electromagnetic fluxes.

Keywords: transformer gravimeter, information-measuring complex.

### Вступ

Сьогодні актуальним є проведення авіаційних гравіметричних вимірювань шляхом використання автоматизованого інформаційно-вимірювального комплексу, одним із основних компонентів якого є чутливий елемент, гравіметр. Інформація від ІВК може бути широко використана в геодезії, геофізиці для вимірів прискорення сили тяжіння  $g$  або гравітаційних аномалій  $g$ , у картографії для вимірів форми Землі, в інерціальній навігації для корекції інерціальних навігаційних систем по гравітаційному полю Землі. У наш час подальше підвищення точності таких ІВК обмежене досягненням технологічної межі сучасних компонентів ІВК. Однак, підвищення точності, яке є завжди бажаним, можливе шляхом використання нових більш точних гравіметрів ІВК.

У літературі з авіаційної гравіметрії найбільш відомі гравіметри наступних типів: струнний ВНІГеофізики (Росія), сильно демпфований Інституту фізики Землі (Росія), гіроскопічні (Україна) та деякі різновиди гравіметрів, модифіковані із наземних гравіметрів [1–7]. Однак, вони мають недостатню точність 2-8 мГал ( $1 \text{ мГал} = 10^{-5} \text{ м/с}^2$ ) [1–7]. Тому актуальною є задача: запропонувати новий більш точний гравіметр ІВС та обґрунтувати доцільність його використання в ІВС.

### Мета роботи

Запропонувати новий більш точний гравіметр ІВС – трансформаторний гравіметр та обґрунтувати доцільність його використання в ІВС.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Запропонований трансформаторний гравіметр (ТрГ) може бути використаний для проведення гравіметричних вимірів у складі автоматизованого ІВС на літальних апаратах у геодезії, геології, геофізиці, інерціальних системах навігації.

Найбільш близьким до запропонованого ТрГ є відомий трансформаторний перетворювач ТП соленоїдного типу [8] (рис. 1).

Спільними суттєвими ознаками відомого ТП та нового ТрГ є те, що вони містять чутливий елемент, який складається із магнітопроводу, рухомого якоря, первинної обмотки збудження та вторинної вихідної обмотки, яка має дві однакові секції.

Проте, на відміну від нового ТрГ, відомий трансформаторний перетворювач має ряд недоліків.

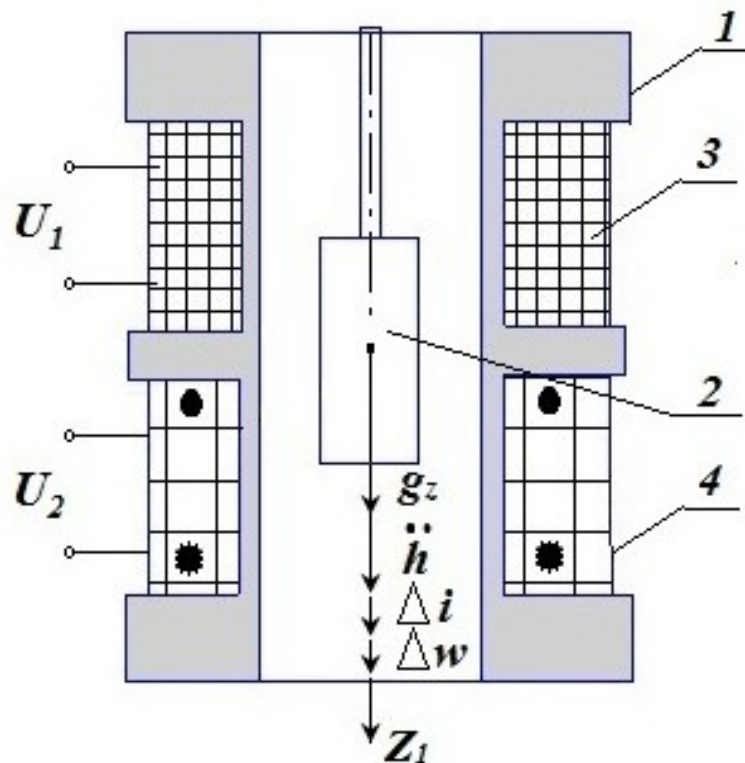


Рис. 1. Трансформаторний перетворювач

1 – магнітопровід, 2 – якорь, 3 – обмотка збудження  $W_1$ , 4 – вторинна обмотка  $W_2$

Дві секції вторинної обмотки  $4W_2$  у ТП з'єднані послідовно узгоджено (початок-кінець однієї секції, початок-кінець іншої секції). Тобто, вихідна обмотка  $4W_2$  суцільна (фіг. 1). Під дією прискорення сили тяжіння  $g_z$ , що діє вздовж осі чутливості трансформаторного перетворювача  $Oz$ , виникає сила тяжіння  $G = mg_z$ . Обмотка збудження  $3W_1$  під'єднана до напруги  $U_1$  і утворює електромагнітний потік збудження  $\Phi_1$ . Згідно закону електромагнітної індукції, цей потік наводить ЕРС  $E_2$  в обмотці  $4W_2$ . Під дією сили тяжіння якорь 2 рухається в середині магнітопроводу 1 вниз і викликає зміну електромагнітного потоку  $\Phi_1$ . Тоді електрорушійна сила  $E_2$  в обмотці  $4W_2$  буде змінюватись пропорційно прискоренню сили тяжіння  $g_z$ :  $E_2 \equiv mg_z$ . Вихідний електричний сигнал  $U_2$  буде пропорційний  $g_z$ :  $U_2 \equiv mg_z$ .

При дії зовнішнього електромагнітного потоку перешкоди (на рухомих об'єктах: літальних апаратах, надводних та підводних човнах виникають значні сторонні електромагнітні потоки), наводитиметься ЕРС  $E_n$  перешкоди у вихідній обмотці  $4W_2$ :  $E_2 \equiv mg_z + E_n$ . Відповідно, вихідний сигнал буде  $U_2 \equiv mg_z + U_n$ .

Інструментальні похибки від впливу змін температури, вологості, тиску, моменту сил сухого тертя та ін. є значними у ТП і ніяким чином не компенсуються.

Вертикальне прискорення  $\dot{h}$ , при встановленні ТП на літаках, буде діяти вздовж осі чутливості ТП, тоді:  $E_2 \equiv mg_z + m\dot{h}$ . Величина  $\dot{h}$  у  $10^3$  разів [1] перевищує значення  $g_z$ .

Дія горизонтальних прискорень, при встановленні ТП на рухомій основі, буде викликати також значні похибки.

Таким чином, суттєвим недоліком ТП є низька точність вимірювань прискорення сили тяжіння.

В даній роботі **поставлено задачу** вдосконалення трансформаторного гравіметра, що містить чутливий елемент, який складається із магнітопроводу, рухомого якоря, первинної обмотки збудження та вторинної вихідної обмотки, яка має дві однакові секції, **шляхом** того, що дві секції вторинної обмотки з'єднані послідовно-зустрічно, а рухомий якорь з'єднано з двигуном, який щосекунди послідовно опускає якорь вниз та вгору по магнітопроводу, при чому двигуном керує пристрій перемикачання, який підключено до джерела напруги управління, а вихідний сигнал з вторинної вихідної обмотки подається на вхід пристрою обчислення вихідного сигналу, на виході якого сигнал, що пропорційний подвоєному значенню прискорення сили тяжіння та не має у своєму складі похибок від впливу вертикального прискорення літака, залишкових інструментальних похибок, залишкових похибок від проєкцій горизонтальних перехресних прискорень та похибок, спричинених впливом зовнішніх електромагнітних потоків, **щоб забезпечити** підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння.

Підвищення точності вимірювання прискорення сили тяжіння у новому трансформаторному гравіметрі забезпечується наступним чином.

При дії зовнішнього електромагнітного потоку перешкоди, цей потік буде наводити дві ЕРС перешкоди у двох секціях  $W_2$ , які включено послідовно-зустрічно  $E_{2П}$  та  $-E'_{2П}$ . Сумарна дія цих похибок на

вихідний сигнал гравіметра-винаходу буде рівна нулю. Тобто, таке зустрічне з'єднання секцій забезпечує скасування похибок від впливу зовнішніх електромагнітних потоків, які можуть бути значними при встановленні гравіметра на рухомому об'єкті.

Дія інструментальних похибок від впливу змін температури, вологості, тиску, моменту сил сухого тертя та ін. буде скасовуватись аналогічним чином за рахунок зустрічного з'єднання двох секцій  $W_2$ .

Таким чином, запропонований трансформаторний гравіметр забезпечує суттєве підвищення точності вимірювання прискорення сили тяжіння.

Суть роботи нового ТрГ пояснюється рис.2.

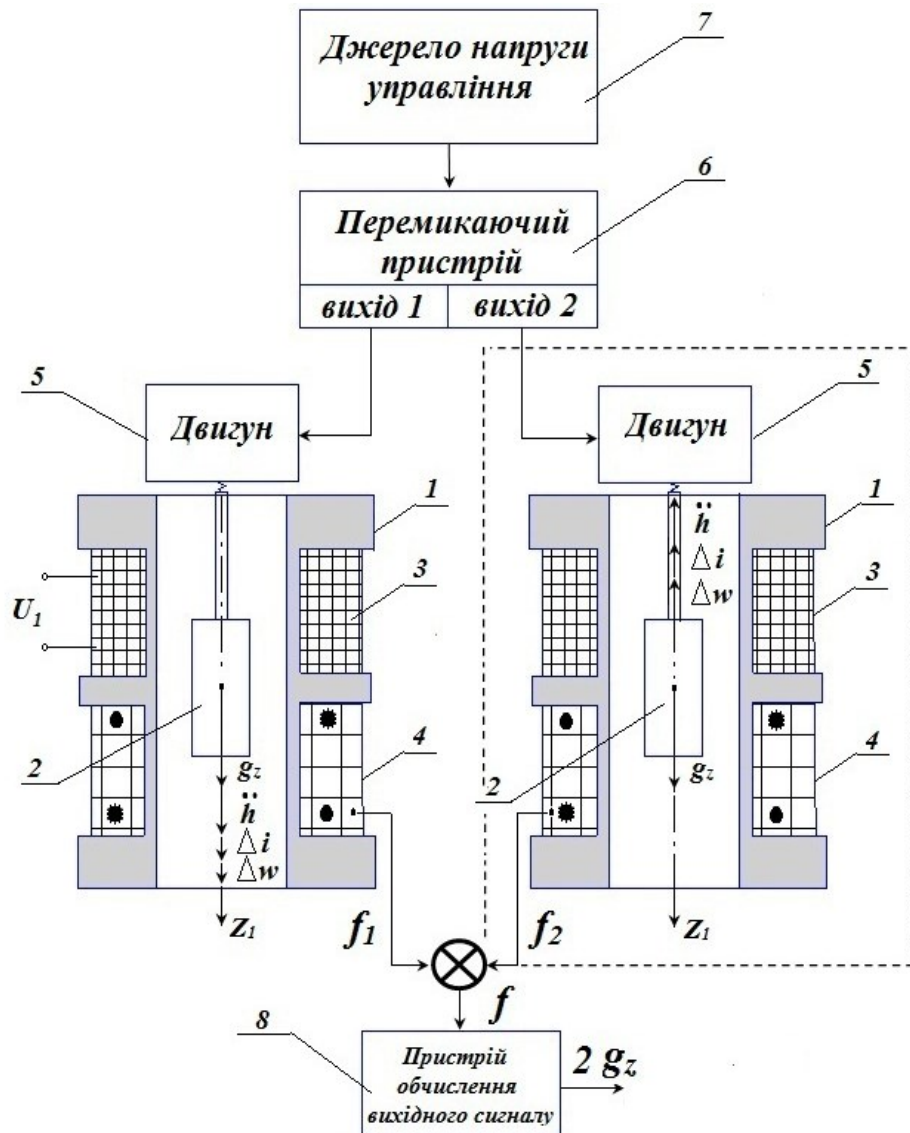


Рис. 2. Трансформаторний гравіметр

1 – магнітопровід, 2 – рухомий якор, 3 – обмотка збудження  $W_1$ , 4 – вторинна обмотка  $W_2$ , 5 – двигун, 6 – перемикаючий пристрій, 7 – джерело напруги управління, 8 – пристрій обчислення вихідного сигналу

У запропонованому ТрГ чутливий елемент складається із магнітопроводу 1, рухомого якоря 2, первинної обмотки 3 збудження та вторинної вихідної обмотки 4, яка має дві однакові секції. Дві секції вторинної обмотки 4 з'єднані послідовно-зустрічно. Рухомий якор 2 з'єднано з двигуном 5, який щосекунди послідовно опускає якор 2 вниз та вверх по магнітопроводу 1. Двигуном 5 керує пристрій перемикання 6, який підключено до джерела 7 напруги управління. Вихідний сигнал з вторинної вихідної обмотки 4 подається на вхід пристрою 8 обчислення вихідного сигналу, на виході якого сигнал, що пропорційний подвоєному значенню прискорення сили тяжіння та не має у своєму складі похибок від впливу вертикального прискорення літака, залишкових інструментальних похибок, залишкових похибок від проєкцій горизонтальних перехресних прискорень та похибок, спричинених впливом зовнішніх електромагнітних потоків.

Новий трансформаторний гравіметр працює наступним чином.

Під дією прискорення сили тяжіння  $g_z$ , що діє вздовж осі чутливості ТрГ  $Oz$ , виникає сила тяжіння  $G = mg_z$ .

Обмотка збудження  $W_1$  під'єднана до напруги  $U$  джерела 7 живлення і утворює електромагнітний

потік збудження  $\Phi_1$ . Згідно закону електромагнітної індукції, цей потік наводить дві ЕРС  $E_2$  та  $-E_2'$  в двох секціях обмотки  $W_2$ .

Під дією сили тяжіння якор 2 рухається в середині магнітопроводу 1 вниз і викликає зміну електромагнітного потоку  $\Phi_1$  та відповідно  $E_2$  та  $-E_2'$ .

У середній точці (електромагнітної симетрії ТрГ) матимемо  $E_2 = |-E_2'|$  і вихідний сигнал  $U_2 = 0$ .

При зміщенні якоря 2 відносно точки симетрії вниз (рис. 2) або вгору (рис. 2, обведено пунктиром)  $E_2 \neq |-E_2'|$ , вихідний сигнал гравіметра буде пропорційний:

$$U_2 \equiv |E_2 - E_2'| \equiv mg_z. \quad (1)$$

У новому ТрГ додатково введено пристрій-перемикач (ПП) 6, який живиться від джерела напруги 7 управління, що через рівні інтервали часу в 1 с перемикає подачу вертикального руху якоря 2 вниз (рис. 2) та вгору (рис. 2, обведено пунктиром) через двигун 5.

При подачі від ПП 6 імпульсу руху вниз якорю 2, вихідний сигнал  $f_1$  чутливого елемента подається у пристрій 8 обчислення вихідного сигналу. Через 1с подається імпульс руху вгору якорю 2 і до пристрою 8 обчислення вихідного сигналу надходить сигнал  $f_2$ .

У пристрої обчислення вихідного сигналу 7 формується кінцевий вихідний сигнал:

$$f = f_1 + f_2 = g_z + \ddot{h} + \Delta i + \Delta w + g_z - \ddot{h} - \Delta i - \Delta w = 2g_z, \quad (2)$$

де  $f_1 = g_z + \ddot{h} + \Delta i + \Delta w$  - вихідний сигнал при русі якоря 2 вниз;

$f_2 = g_z - \ddot{h} - \Delta i - \Delta w$  - вихідний сигнал при русі якоря 2 вгору;

$\ddot{h}$  - вертикальне прискорення літака;

$\Delta i$  - залишкові інструментальні похибки;

$\Delta w$  - залишкові похибки від впливу проєкцій горизонтальних перехресних прискорень на вісь чутливості винаходу.

Тобто, у пристрої 8 обчислення вихідного сигналу ТрГ формується вихідний сигнал, який рівний подвоєному значенню  $2g_z$ . У сигналі відсутні такі похибки вимірювань, які спричинені впливом вертикального прискорення  $\ddot{h}$ , залишкові інструментальні похибки  $\Delta i$  та залишкові похибки від впливу горизонтальних перехресних прискорень  $\Delta w$ .

Отже, точність запропонованого нового трансформаторного гравіметра буде значно вищою. Впливи вертикального прискорення, залишкових інструментальних похибок, залишкових горизонтальних прискорень є значними у відомих типів гравіметрів (струнного, сильно демпфованого, гіроскопічних та ін.) і призводять до значних похибок. Лише наявність вертикального прискорення літака у  $10^3$  перевищує корисний сигнал прискорення сили тяжіння.

#### Перспективи подальших досліджень

У подальшому, очевидно, що доцільно пропонувати та досліджувати нові різновиди гравіметрів, робота яких основана на нових фізичних принципах дії. Також перспективно досліджувати двоканальні схеми гравіметрів, що дозволяють суттєво підвищити точність вимірювань та компенсувати вплив багатьох завод. Необхідно досліджувати вплив не ідентичності параметрів каналів на результуючу точність вимірювань.

#### Висновки

1. Запропоновано новий тип гравіметра автоматизованого інформаційно-вимірювального комплексу, що працює на літаку, – трансформаторний гравіметр, який відрізняється від відомого трансформаторного перетворювача наявністю додаткових елементів конструкції та новим з'єднанням обмоток.

2. Обґрунтовано доцільність використання нового ТрГ в автоматизованому ІВК: показано, що новий ТрГ має більш високу точність за рахунок компенсації впливів вертикального прискорення, залишкових інструментальних похибок, залишкових горизонтальних прискорень. Останні є значними у відомих типів гравіметрів (струнного, сильно демпфованого, гіроскопічних та ін.).

#### Література

1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри / Безвесільна О.М. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 504 с.
2. Безвесільна О.М. Основи теорії та принципи побудови автоматизованої авіаційної гравіметричної системи з п'єзоелектричним гравіметром / Безвесільна О.М., Якименко Ю.І., Ткачук А.Г. – Київ : ДП НВЦ «Пріоритети», 2017. – 288 с.
3. Безвесільна О.М. Двоканальний МЕМС гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи : монографія / Безвесільна О.М., Хильченко Т.В. – Київ : ДП НВЦ «Пріоритети», 2017. – 181 с.
4. Безвесільна О.М. Вібраційний чутливий елемент приладового комплексу / Безвесільна О.М., Чепюк Л.О. – КПІ ім. Ігоря Сікорського ДП НВЦ «Пріоритети», 2018. – 235 с.
5. Безвесільна О.М. Прецизійний приладовий навігаційний комплекс та його чутливі елементи / Безвесільна О.М. – КПІ ім. Ігоря Сікорського ДП НВЦ «Пріоритети», 2019. – 451 с.

6. Безвесільна О.М. Двокомпонентний п'єзоелектричний гравіметр автоматизованої гравіметричної системи / Безвесільна О.М. – КПІ ім. Ігоря Сікорського ДП НВЦ «Пріоритети, 2020. – 250 с.
7. Bezvesilna O.M. Stabilization system of aviation gravimeter / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Nowicki M. // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Vol. 6. Issue 8. – P. 956–958.
8. Безвесільна О.М. Перетворюючі фізичних величин. Технічні засоби автоматизації : підручник / О.М. Безвесільна. – Житомир : ЖДТУ, 2019. – 809 с.
9. Bezvesilna O.M. Design of Piezoelectric Gravimeter for Automated Aviation Gravimetric System / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Nowicki M., Szweczyk R. // International Journal of Automation, Mobile Robotics & Entelligent Systems, Vol. 10 № 1, January 2016, p. 43–47.
10. Bezvesilna O.M. Piezoelectric Gravimeter of the Aviation Gravimetric System / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Nowicki M., Szweczyk R. // Springer International Publishing Switzerland Journal. Challenges in Automation, Mobile Robotics and Measurement Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol.10, January 2016, p. 753–755.
11. Bezvesilna O.M. Two-channel MEMS gravimeter for the automated aircraft gravimetric system / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Chilchenko T. // Systems, Control and Information Technology, Warsaw, POLAND, 20-21.05.16, p. 29.
12. Безвесільна О.М. Simulation of influence of perturbation parameters of the new dual-channel capacitive MEMS gravimeter performance / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, Т.В. Хильченко, С.О. Нечай // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 6/7(84). – С. 50–57.
13. Bezvesilna O.M. Introducing The Principle of Constructing an Aviation Gravimetric System With Any Type of Gravimeter / Bezvesilna O.M., A. Tkachuk, L. Chepyuk, S. Nechai, T. Khylychenko // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2017. – №1/7(85). – С. 45–56.
14. Bezvesilna O.M. Gravimeters o Aviation Gravimetric System: Classification, Comparative Analysis, Prospects / О.М. Bezvesilna, M. Kaminski // International Publishing Switzerland Journal Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 550, Automation – 2017. – P. 496–504.
15. Bezvesilna O.M. The procedure for determining the number of measurements in the normalization of random error of an information-measuring system with elements of artificial intelligence / О.М. Bezvesilna, I. Cherepanska, A. Sazonov, S. Nechai, T. Khylychenko // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2017. – № 5/9(89). – С. 58–67.
16. Безвесільна О.М. Триступеневий гіроскоп як чутливий елемент системи стабілізації АГС / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, А.В. Коваль, Д.Д. Шарапов // Sheffield Science and Education LTD, 2018. December 30. 2017-January 7. 2018. V.11. – England. – P. 17–20.
17. Безвесільна О.М. Будова та принцип роботи нового прецизійного п'єзоелектричного чутливого елемента системи стабілізації / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук // Вчені записки Таврійського Національного університету ім. В.І. Вернадського Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). № 3. – С. 54–58.
18. Безвесільна О.М. Дослідження поведінки динамічно-настроюваного чутливого елемента / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2018. – 2(82). – С. 185–188.
19. Безвесільна О.М. Трикоординатний гравіметр з виставленням осей чутливості на основі цифрових відео зображень / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, Ю.О. Шавурський, С.О. Нечай // ICRIS 2019: The 2 nd International Conference on Robotics and Intelligent System Warsaw, Poland, February 23–25, 2019. – P. 89–93.
20. Bezvesilna O.M. Stabilization system with piezoelectric sensor / О.М. Bezvesilna, A. Tkachuk, A. Ostapchuk // The 1st International scientific and practical conference “Dynamics of the development of world science” (September 25–27, 2019) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2019. 25–28 p.
21. Bezvesilna O.M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers / О.М. Bezvesilna, O. Petrenko, V. Galysky, M. Ilchenko // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2020. – № 1/9(103). – С. 39–45.
22. Korobiichuk I. Numerical Modeling of Dynamic Disturbances Acting on the Sensitive Elements of an Instrument Navigation System Conference on Automation / Igor Korobiichuk, Olena Bezvesilna, Yuriy Podchashinskiy, Katarzyna Rzeplińska-RykałaSpringer // Nature is making SARS-CoV-2 and COVID-19 research free. Conference on Automation 2020. P. 279–288.
23. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Andrii Tkachuk, Olena Bezvesilna, Aleksandr Dodrzhanskyi, Anna Ostapchuk, Mykola Horodyskyi // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20–22, 2020.
24. Humeniuk A. Information and measurement system for determining the acceleration of gravity based on a ballistic gravimeter with a two-dimensional video system / Anna Humeniuk, Olena Bezvesilna, Martin Bogdanovskyi and Valentyn Yanchuk // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20–22, 2020.

## References

1. Bezvesilna O.M. Aviatychni hravimetrychni systemy ta hravimetry / Bezvesilna O.M. – Zhytomyr : ZhDTU, 2007. – 504 s.
2. Bezvesilna O.M. Osnovy teorii ta pryntsyipy pobudovy avtomatyzovanoi aviatychnoi hravimetrychnoi systemy z piezoelektrychnym hravimetrom / Bezvesilna O.M., Yakymenko Yu.I., Tkachuk A.H. – Kyiv : DP NVTs «Priorityety», 2017. – 288 s.
3. Bezvesilna O.M. Dvokanalnyi MEMS hravimetr avtomatyzovanoi aviatychnoi hravimetrychnoi systemy : monohrafiia / Bezvesilna O.M., Khylichenko T.V. – Kyiv : DP NVTs «Priorityety», 2017. – 181 s.
4. Bezvesilna O.M. Vibratsiyni chutlyvyi element prykladovoho kompleksu / Bezvesilna O.M., Chepiuk L.O. – KPI im. Ihoria Sikorskoho DP NVTs «Priorityety», 2018. – 235 s.
5. Bezvesilna O.M. Pretyziyni prykladovi navihatsiyni kompleks ta yoho chutlyvi elementy / Bezvesilna O.M. – KPI im. Ihoria Sikorskoho DP NVTs «Priorityety», 2019. – 451 s.
6. Bezvesilna O.M. Dvokomponentnyi piezoelektrychnyi hravimetr avtomatyzovanoi hravimetrychnoi systemy / Bezvesilna O.M. – KPI im. Ihoria Sikorskoho DP NVTs «Priorityety», 2020. – 250 s.
7. Bezvesilna O.M. Stabilization system of aviation gravimeter / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Nowicki M. // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Vol. 6. Issue 8. – R. 956–958.
8. Bezvesilna O.M. Peretvoriuuchi fizychnykh velychyn. Tekhnichni zasoby avtomatyzatsii : pidruchnyk / O.M. Bezvesilna. – Zhytomyr : ZhDTU, 2019. – 809 s.
9. Bezvesilna O.M. Design of Piezoelectric Gravimeter for Automated Aviation Gravimetric System / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Nowicki M., Szewczyk R. // International Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, Vol. 10 № 1, January 2016, p. 43–47.
10. Bezvesilna O.M. Piezoelectric Gravimeter of the Aviation Gravimetric System / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Nowicki M., Szewczyk R. // Springer International Publishing Switzerland Journal. Challenges in Automation, Mobile Robotics and Measurement Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 10, January 2016, p. 753–755.
11. Bezvesilna O.M. Two-channel MEMS gravimeter for the automated aircraft gravimetric system / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Tkachuk A., Chilchenko T. // Systems, Control and Information Technology, Warsaw, POLAND, 20-21.05.16, p. 29.
12. Bezvesilna O.M. Simulation of influence of perturbation parameters of the new dual-channel capacitive MEMS gravimeter performance / O.M. Bezvesilna, A.H. Tkachuk, T.V. Khylichenko, S.O. Nechai // Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2016. – № 6/7(84). – S. 50–57.
13. Bezvesilna O.M. Introducing The Principle of Constructing an Aviation Gravimetric System With Any Type of Gravimeter / Bezvesilna O.M., A. Tkachuk, L. Chepyuk, S. Nechai, T. Khylichenko // Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2017. – №1/7(85). – S. 45–56.
14. Bezvesilna O.M. Gravimeters o Aviation Gravimetric System: Classification, Comparative Analysis, Prospects / O.M. Bezvesilna, M. Kaminski // International Publishing Switzerland Journal Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 550, Automation – 2017. – P. 496–504.
15. Bezvesilna O.M. The procedure for determining the number of measurements in the normalization of random error of an information-measuring system with elements of artificial intelligence / O.M. Bezvesilna, I. Cherepanska, A. Sazonov, S. Nechai, T. Khylichenko // Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2017. – № 5/9(89). – S. 58–67.
16. Bezvesilna O.M. Trystupenyi hirooskop yak chutlyvyi element systemy stabilizatsii AHS / O.M. Bezvesilna, A.H. Tkachuk, A.V. Koval, D.D. Sharapov // Sheffield Science and Education LTD, 2018. December 30. 2017-January 7. 2018. V.11. – England. – R. 17–20.
17. Bezvesilna O.M. Budova ta pryntsyipy roboty novoho pretyziynoho piezoelektrychnoho chutlyvoho elementa systemy stabilizatsii / O.M. Bezvesilna, A.H. Tkachuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho Natsionalnogo universytetu im. V.I. Vernadskoho Seria «Tekhnichni nauky». – 2018. – Tom 29 (68). № 3. – S. 54–58.
18. Bezvesilna O.M. Doslidzhennia povedinky dynamichno-nastroiuvanoho chutlyvoho elementa / O.M. Bezvesilna, A.H. Tkachuk // Visnyk ZhDTU. Seria: Tekhnichni nauky. – 2018. – 2(82). – S. 185–188.
19. Bezvesilna O.M. Trykoordinatnyi hravimetr z vystavleniam osei chutlyvosti na osnovi tsyfrovyykh video zobrazen / O.M. Bezvesilna, Yu.O. Podchashynskiy, Yu.O. Shavurskiy, S.O. Nechai // ICRIS 2019: The 2 nd International Conference on Robotics and Intelligent System Warsaw, Poland, February 23–25, 2019. – R. 89–93.
20. Bezvesilna O.M. Stabilization system with piezoelectric sensor / O.M. Bezvesilna, A. Tkachuk, A. Ostapchuk // The 1st International scientific and practical conference “Dynamics of the development of world science” (September 25–27, 2019) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2019. 25–28 p.
21. Bezvesilna O.M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers / O.M. Bezvesilna, O. Petrenko, V. Galycky, M. Ilchenko // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2020. – № 1/9(103). – С. 39–45.
22. Korobiichuk I. Numerical Modeling of Dynamic Disturbances Acting on the Sensitive Elements of an Instrument Navigation System Conference on Automation / Igor Korobiichuk, Olena Bezvesilna, Yuriy Podchashynskiy, Katarzyna Rzeplinska-RykałaSpringer // Nature is making SARS-CoV-2 and COVID-19 research free. Conference on Automation 2020. P. 279–288.
23. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Andrii Tkachuk, Olena Bezvesilna, Aleksandr Dodrzhanskyi, Anna Ostapchuk, Mykola Horodyskiy // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20–22, 2020.
24. Humeniuk A. Information and measurement system for determining the acceleration of gravity based on a ballistic gravimeter with a two-dimensional video system / Anna Humeniuk, Olena Bezvesilna, Martin Bogdanovskiy and Valentyn Yanchuk // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20–22, 2020.

Надійшла / Paper received : 06.10.2020

Надрукована/Printed :27.11.2020