

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-8-72-33>  
УДК 62-97

**Безвесільна О.М.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Петренко О.В., Ільченко М.В.**

Публічне акціонерне товариство «Науково-виробниче об'єднання  
«Київський завод автоматики»

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ВИХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТАХОМЕТРА

**Анотація.** Тахометр у стабілізаторах призначений для виміру кута повороту блоку озброєння відносно башти. Сигнал тахометра (ТТ) у блоку управління стабілізатора підсумовується з сигналом компенсаційного гіротахометра (ГТ-К), який жорстко закріплений на башті. Сума цих сигналів є сигналом швидкості зміни похибки стабілізації по каналу вертикального наведення. Кут обертання такого гіротахометра визначається кутами обертання блоку озброєння та може бути в межах від мінус  $5^\circ$  до  $+75^\circ$ . Тахометри вводяться до контурів управління стабілізаторів з метою підвищення якості регулювання, підвищення динамічних характеристик, зменшення часу перехідних процесів та часу коливань. Введення тахогенераторів, як безінерційних ланок, додає до законів керування стабілізаторів інформації про відносну швидкість, забезпечує рівномірність швидкості наведення при мінімальних швидкостях з урахування нерівномірності моменту опору обертання. Використання тахометрів в контурах управління вертикального каналу стабілізатора покращує якість управління та зменшує похибки стабілізації. У роботі наведені результати експериментальних досліджень вихідних характеристик електромеханічного тахометра з метою збільшення рівномірності його вихідної характеристики. Підставою для виконання цієї роботи послужила неможливість виконання налаштування стабілізатора по каналу вертикального наведення на деяких ділянках кутів наведення та спостерігається нерівномірність швидкостей наведення вище допустимих значень. Випробування проводилися на тахогенераторах, що входять до складу тахометра БРЗ.181.007-1, який є прототипом тахогенератора ТГП01 та на виготовленому ТГП01. При випробуваннях використовувався статор тахогенератора БРЗ.181.007-1, з яким проводили випробування різних типів роторів. В висновках, які зроблені за результатами досліджень, наведені шляхи підвищення рівномірності вихідної характеристики. Стабілізатори з тахометрами, які були доопрацьовані по результатам проведених досліджень, при налаштуванні мали рівномірність швидкостей наведення у всьому діапазоні кутів обертання у відповідності з технічними вимогами.

**Ключові слова:** тахометр, тахогенератор, стабілізатор, гіротахометр.

**Bezvesilna Olena**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

**Petrenko Oleksii, Pchenko Mykola**

Public Joint Stock Company "Research-and-Production Association  
"Kyiv Avtomatics Plant"

## RESEARCH OF POSSIBILITY OF INCREASE OF EVENNESS OF OUTPUT DESCRIPTION OF TACHOMETER

**Summary.** A tachometer in stabilizers is intended for measuring of corner of turn of block of armament in relation to a tower. The signal of tachometer (TT) in CU of stabilizer is summarized with the signal of compensative gyro tachometer (GT-K), that is hardly envisaged on a tower. A sum of these signals is the signal of speed of change of stabilizing error on the channel of the vertical aiming. The corner of rotation of such gyro tachometer is determined by the corners of rotation of block of armament and can be in limits from minus  $5^\circ$  to  $+75^\circ$ . Tachometers are entered to the contours of management of stabilizers with the aim of upgrading of adjusting, increase of dynamic descriptions, reduction to time of transients and time of vibrations. Introduction of tacho generators, as instantaneous elements, adds to the laws the management of stabilizers of information about relative speed, will provide evenness of aiming speed at minimum speeds from taking into account of unevenness of moment of resistance of rotation. The use of tachometers in the contours of management of vertical channel of stabilizer adds as a management and diminishes errors to stabilizing. In-process the brought results over of experimental researches weekend of descriptions of electromechanics tachometer with the aim of increase of evenness of it initia. The reason for this work was the inability to perform the adjustment of the stabilizer through the channel vertical guidance in some areas of the guidance angles and observed uneven speeds above the admissible values. The tests were performed on tachogenerators included in the tachometer БРЗ.181.007-1, which is a prototype of the tachogenerator ТГП01 and manufactured ТГП01. The tests used a stator of the tacho generator БРЗ.181.007-1, with which various types of rotors were tested. The conclusions, which are made by the results of the research, outline ways to increase the uniformity of the original characteristic. The tachometer stabilizers, which were further refined by the results of the studies, had, when tuned, had a uniform speed of rotation throughout the range of rotation angles in accordance with the technical requirements.

**Keywords:** tachometer, tacho generator, stabilizer, gyro tachometer.

**Постановка проблеми.** При встановленні тахометра на стенд СТМ01 для проведення випробувань у складі стабілізатора (рис. 1) та виконанні робіт по налаштуванню стабілізатора на деяких ділянках кутів наведення спостерігається нерівномірність швидкостей наведення вище допустимих значень.

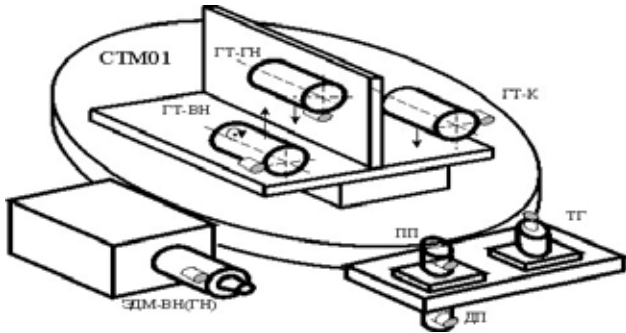


Рис. 1. Розташування приладів стабілізатора на стенді СТМ01

ГТ-ГН – горизонтальний гіротахometr,  
ГТ-ВН – вертикальний гіротахometr,  
ГТ-К – компенсаційний гіротахometr, ТГ – тахometr,  
ЕДМ-ВН (ГН) – привідний двигун горизонтального або вертикального каналів, ПП – прилад приведення, ДП – датчик положення

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Тахometr у стабілізаторах призначений для виміру кута повороту блоку озброєння відносно башти. Сигнал тахометра (ТГ) у блоку управління стабілізатора підсумовується з сигналом компенсаційного гіротахометра (ГТ-К), який жорстко закріплений на башті. Сума цих сигналів є сигналом швидкості зміни похибки стабілізації по каналу вертикального наведення [1]. Кут обертання такого гіротахометра визначається кутами обертання блоку озброєння та може бути в межах від мінус  $5^\circ$  до  $+75^\circ$ .

З аналізу технічної літератури, в тому числі [1–3] відомо, що тахометри вводяться до контурів управління стабілізаторів з метою підвищення якості регулювання, підвищення динамічних характеристик, зменшення часу перехідних процесів та часу коливальності. Введення тахометрів, як безінерційних ланок, додає до законів керування стабілізаторів інформацію про відносну швидкість, забезпечує рівномірність швидкості наведення при мінімальних швидкостях з урахування нерівномірності моменту опору обертання.

Використання тахометрів в контурах управління вертикального каналу стабілізатора під-

вищу якість управління та зменшує похибки стабілізації [2].

Проблему статті досліджували та приймали активну участь у вирішенні Бондарук В.А., Мудренко Н.Д., Подгорская А.П., Яковлева Г.І.

**Виділення нерозв'язаних раніш частин загальної проблеми.** Аналіз постановленої проблеми та аналіз досліджень та публікацій вказує на те, що на нерівномірність наведення на різних швидкостях суттєвий вплив спричиняє рівномірність вихідної характеристики тахометра.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є здобуття рівномірності вихідної характеристики тахометра та можливості підвищення її рівномірності у діапазоні кутів повороту від мінус  $5^\circ$  до  $+75^\circ$ .

**Викладення основного матеріалу.** Теоретичний аналіз додатково показав, що тахometr може забезпечувати працездатність у діапазоні кутів повороту ротора  $\alpha \approx \pm 70^\circ$  (розмір В на осцилограмі рис. 2). Перші невеликі позитивисті та негативний сплеск у вихідній характеристиці (на кутах А та Б рис. 2) раніш були рівними  $\approx 40^\circ$  та  $56^\circ$  відповідно по результатам випробувань на стенді СТМ01.

На підставі викладеного вище роботи проводились за двома напрямками:

1) зменшення перших двох позитивного та негативного викидів вихідної напруги за рахунок зменшення магнітного потоку, що створюється ротором ТГ враховуючи великий запас по крутості) шляхом зменшення ширини постійного магніту (ПМ) або збільшення повітряного зазору між ротором та статором;

2) збільшення кутів повороту більш  $70^\circ$ , та одночасно зменшення перших сплесків вихідної напруги ТГ в сторону збільшення кутів, що можливо виконати за рахунок збільшення кутів перекриття полюсів ротора та статора шляхом зменшення паза між полюсами ротора з 7 до 2 мм.

Дослідження проводились осцилографуванням вихідної напруги з наступним відпрацюванням цих осцилограм.

Для порівняння були досліджені тахогенератор БРЗ.181.007-1, який є прототипом тахогенератора ТГП01 та виготовлений тахогенератор ТГП01, який входить до тахометру ТГ02.

Результати досліджень зведені до таблиці 1. На рис. 2 наведені осцилограма (варіант 3), яка однотипна для всіх варіантів, окрім варіанта 1, а на рис. 3 приведена осцилограма варіанту 1 (прототипу ТГП01).

Дослідження проводились на автономному робочому місці по перевірці тахометрів при час-

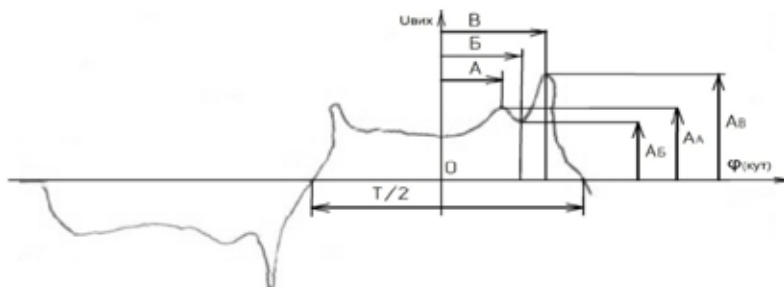


Рис. 2. Осцилограма однотипна для всіх варіантів

Джерело: розроблено авторами

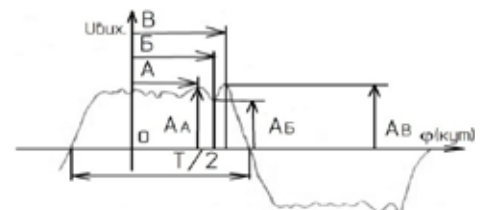


Рис. 3. Осцилограма варіанта 1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1

## Результати досліджень різних варіантів виконань тахогенераторів

Варіант	Об'єкт виробувань	УСР, В по вольтметру	Кругість, мВс/град	УСР, В по осцилограмі	Кругість, мВс/град	Кругість, по ТУ	Кут В по рис.2, град	Кут А по рис. 2, град	Кут Б по рис. 2, град	Амплітуда В			Період по осцилограмі, Т, мс	
										В	В	В		
										%	%	%		
1	БР3.181.007-01	42,5	50,2	42,5	50,2	50	±65	32	50,3	44	42,5	33	425	
										104	100	78		
2	ТГП 01	49,4	61,7	57,7	71,9	50	±69	39	54	85	65	41,3	450	
										206	158	100		
3	ПМ 16,5мм	δ=0,25мм	49,8	62,3	61,6	77,1	50	±69	40	56	94	65	48,5	450
4	ПМ 15 мм		46,7	57,1	55,9	68,3	50	±69	40	54	193	134	100	
5	ПМ10,5мм	δ=0,3 мм	33,7	41,2	46,8	57,1	50	±68			73,8			440
											230			
6	ПМ16,5мм	δ=0,3 мм	49,5	61,9	57,5	71,9	50	±68	41	54	85	60	47,5	450
											179	126	100	
7	ПМ 15,мм	δ=0,3 мм	45,9	56,7	46,5	57,5	50	±70	40	55	83	52,5	45	445
											184	116	100	
8	ПМ 16,5 мм, δ=0,25 мм паз в роторі = 2 мм		47,5	59,3	55	68,8	50	±75	46	60	90	55	43,6	450
											206	126	100	

Джерело: розроблено авторами

Примітки:

1) Варіанти 2 та 3 відповідають КД на ТГП01 без доробки ротора. В варіан-тах 3-8 статор із тахогенератора по варіанту 1, а ротори з різною шириною постійного магніту, величиною повітряного зазору та пазом між полюсами ротора.

2) Розрахунок амплітуд В та А у % при всіх варіантах проводився по амплі-туді негативного сплеску В, який приймався за 100%, крім варіанту 1.

Це пояснюється тим, що у прототипі застосована дещо інша магнітна система ротора (цільний постійний магніт зі сплаву ЮНДК35), чим в ТГ02 (ТГП01) варіанти 2-8.

Таблиця 2

## Результати досліджень тахогенератора за варіантами 1 та 8 при швидкості обертання 180 °/с (30 об/хв.)

Варіант	Об'єкт виробувань	УСР, В по вольтметру	Кругість, мВс/град	УСР, В по осцилографу	Кругість, мВс/град	Кругість, по ТУ	Кут В по рис 2, град	Кут А по рис. 2, град	Кут Б по рис. 2, град	Амплітуда В			Швидкість об/хв (град/с)	Період по осцилограмі, Т, мс
										В	В	В		
										%	%	%		
1	БР3.187.007-1	5,45	30,3	10	55,5	50	±67,5	24,7	33,7	20	100	7	30 (180)	2000
										200	100	70		
8	133 об/хв. повторно	39	49	31,8	52	50	±68	40	55	45	41,8	35	133-136(810)	450
										106	100	84		
8	ПМ 16,5,мм, δ=0,25 мм паз в роторі = 2 мм	7,1	39,5	8,5	48	50	±75	45	60	16	11	8,5	30 (180)	2000
										188	129	100		

Джерело: розроблено авторами

тоті обертання ротора 810°/с (133-136) об/хв, що відрізняється від частоти обертання приводу стабілізатора озброєння 33°/с (5,5 об/хв.) .

З таблиці 1 видно, що варіант 1 має більш рівномірну вихідну характеристику (менші сплески у діапазоні кутів  $\pm 65^\circ$ ), ніж всі інші варіанти.

Зменшення магнітного потоку за рахунок зменшення ширини постійного магніту з 16,5 мм до 15 мм (варіант 4) та збільшення ширини повітряного зазору з 0,25 до 0,3 мм (варіант 6 та 7) дещо зменшує сплески вихідної характеристики зі збереженням крутості у заданих межах.

Зменшення ширини магніту до 10,5 мм (варіант 5) зменшує сплески А та Б вихідної характеристики, але при цьому крутість зменшується нижче заданого значення та зостається сплеск В.

Зменшення пази між полюсами ротора з 7 до 2 мм призводить до збільшення діапазону кутів до  $\pm 75^\circ$ , а кута Б до  $\pm 60^\circ$  при одночасному зменшенні сплесків вихідної характеристики за рахунок незначного зменшення крутості.

Додатково були проведені випробування тахогенератора за варіантами 1 та 8 при швидкості обертання 180 °/с (30 об/хв.).

Результати наведені у таблиці 2.

Результати випробувань показують, що параметри тахогенераторів практично відповідають параметрам при швидкості 810°/с (133-136 об/хв) табл. 1, окрім крутості, яка зменшилась нижче значення, що вимагається.

#### Висновки:

1. Найбільш рівномірну вихідну характеристику у діапазоні кутів  $\pm 65^\circ$  (задано  $\pm 50^\circ$ ) забезпечує тахогенератор за варіантом 1 з цільним постійним магнітом типу ЮНДК на роторі.

2. Покращена рівномірність вихідної характеристики за рахунок зменшення магнітного потоку при одночасному зменшенні ширини постійного магніту до 15 мм та збільшенні повітряного зазору до 0,3 мм (варіант 7).

Сплеск на куті А вихідної характеристики складає не більше +116% порівнянно з +158% та +134% у варіантах 2 та 3 недопрацьованих тахогенераторів.

3. Незначно покращена рівномірність вихідної характеристики (сплески на куті А склали 126%) за варіантом 8 при одночасному збільшенні діапазону кутів повороту ротора до  $B = 75^\circ$ ,  $B = 60^\circ$  замість  $B = 90^\circ$  та  $B = 56^\circ$  (варіант 3) за рахунок зменшення пази ротора до 2 з 7 мм.

#### Список літератури:

1. Боевая машина пехоты БМП-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 1. 1987. URL: <http://sergbukarevua.wixsite.com/voenlit/single-post/2016/07/18> (дата звернення: 15.07.2019).
2. Цірук В.Г. Введення до контурів управління стабілізаторів озброєння легко броньованої техніки тахогенераторів. *Вісник Хмельницького національного технічного університету*. 2018. № 2(65). С. 68–74.
3. Кудрявцев А.М., Уласевич О.К., Жеглов В.Н., Гумилев В.Ю. Электрооборудование бронетанковой техники : учебное пособие. Стабилизаторы вооружения 2Э36 устройство и обслуживание. Рязань, 2013. URL: <http://portalnp.ru/wp-content/uploads/2014/04/KUDRYVTSEV-GUMELEV-SV-2E36.pdf> (дата звернення: 12.04.2019).

#### References:

1. (1987). *Bovaya mashina pehoty BMP-2. Tehnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [BMP-2 infantry fighting vehicle. Technical description and operation manual]. Chast 1. URL: <http://sergbukarevua.wixsite.com/voenlit/single-post/2016/07/18> (accessed: 15.07.2019).
2. Tsiruk V.G. (2018). *Vvedennya do konturiv upravlinnya stabilizatoriv ozbroennya legko bronovanoyi tehniki tahogeneratoriv* [Introduction to the contours of the control of stabilizers arms of armored vehicles of tachogenerators]. *Bulletin of Khmelnytskyi national university*, no 2(65), pp. 68–74.
3. Kudryavtsev A.M., Ulasevich O.K., Zheglov V.N., Gumilev V.Yu. (2013). *Elektrooborudovanie bronetankovoy tehniki : uchebnoe posobie* [Electric equipment of armored vehicles: a training manual]. *Stabilizatoryi vooruzheniya 2E36 ustroystvo i obsluzhivanie*. Ryazan. URL: <http://portalnp.ru/wp-content/uploads/2014/04/KUDRYVTSEV-GUMELEV-SV-2E36.pdf> (accessed: 12.04.2019).