

doi: 10.23620/oikit.2026.108.10

УДК 629.735.33.062

Ю. О. Немшилов, С. М. Пасічник, С. Б. Кочук

## Практичне визначення статичних та динамічних характеристик приводів ЛА

*Національний аерокосмічний університет «ХАІ»*

Практично всі процеси, пов'язані з механічною енергією та рухом, здійснюються різноманітними приводами, такими як електромеханічні, гідро та пневмоприводи. Привод – це пристрій, що здійснює кероване перетворення електричної енергії або тиску мастила чи повітря в механічну і призначений для приведення в рух робочих машин і механізмів. Це є ланкою, яка пов'язує енергосистему з технологічними установками. Деякою мірою привод виконує роль регулятора цих зв'язків, з технологічною установкою або машиною з одного боку та інформаційною системою більш високого рівня - часто з людиною - оператором, із другої сторони. Можна вважати, що привод як підсистема входить у зазначені системи, будучи їх частиною. Фахівця з побудови та експлуатації літальних апаратів (ЛА) привод зазвичай цікавить як споживач електроенергії, технолога або конструктора ЛА - як джерело механічної енергії, інженера, що розробляє або експлуатує ЛА, - як розвинутий інтерфейс, що пов'язує його систему з технологічним процесом або системою електропостачання. Важливим моментом при розробці сучасної системи управління ЛА є визначення амплітудно-частотних характеристик складових вузлів та елементів. Метою роботи є використання комп'ютерної системи для отримання цих параметрів. Завданнями роботи є: розробка комп'ютерної системи визначення статичних та динамічних характеристик приводів; створення і перевірка алгоритмів роботи та необхідних обчислень на лабораторному стенді з використанням контролера ARDUINO. Обрано і випробувано закон управління комп'ютерною системою обчислення необхідних параметрів, яка реалізована на контролері ARDUINO. Прикладною цінністю роботи є подальше використання отриманих результатів для дослідження сучасних приводів ЛА.

**Ключові слова:** електро; пневмо та гідроприводи; комп'ютерна система визначення статичних та динамічних характеристик приводів; лабораторний зразок.

### Вступ

У ході проведення курсового та дипломного проектування і подальшого використання отриманих знань у ході розробки та експлуатації систем управління ЛА важливим завданням є натурні та напівнатурні дослідження складових елементів та приладів. Якщо у ході роботи виготовляється стенд або лабораторний зразок об'єкта управління, актуальним є визначення його статичних та динамічних характеристик з використанням експериментальних даних. Ця стаття відображає досвід розв'язку такої задачі.

### 1. Опис установки для дослідження.

Експериментальна установка надає можливість відобразити кутовий рух штоку електро та гідропривода, мікроконтролерний модуль Arduino, який дозволяє проводити управління та збирати графічну та чисельну інформацію, перемикачі режимів, потенціометр задавального кута, драйвер управління електродвигунами, який забезпечує роботу привода. Стенд надає можливість переключати живлення на обраний привод, задавати кут оберту та запускати програму на виконання обраного дослідження.

Крім того стенд містить електромеханічний типу 15Л464, та гідропривод типу 8К243, які зображені на рис. 1 та 2.



Рис. 1. Електромеханічний привод



Рис. 2. Електрогідравлічний привод

Склад та призначення елементів експериментальної установки. Електричну схему установки наведено на рис. 3.

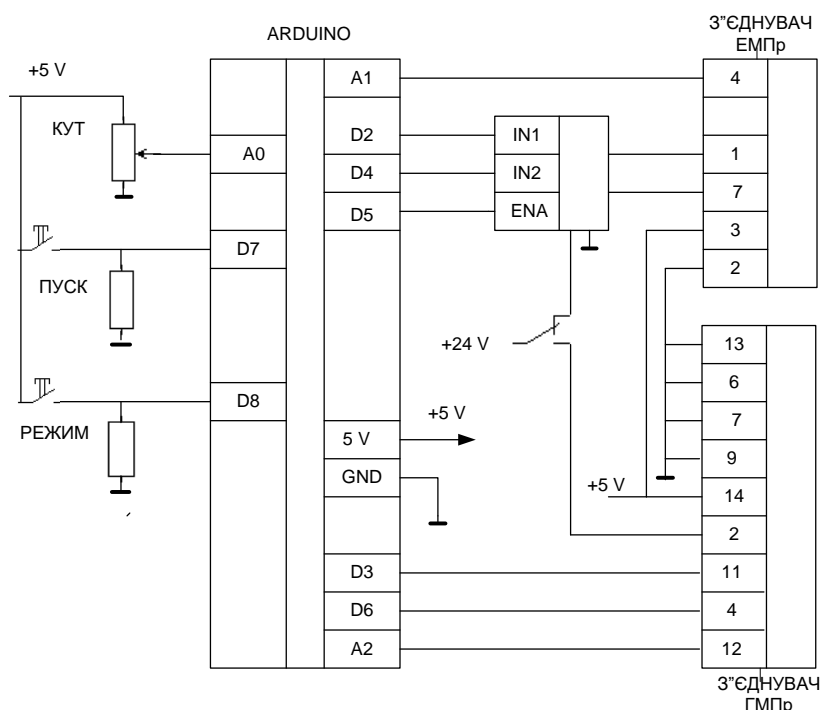


Рис. 3. Електрична схема установки

Виходячи з поставленої задачі та особливостей функціонування контролера й вимірювальних пристроїв сформовано алгоритм роботи контролера для реалізації роботи системи автоматичного управління. Він надає можливість використовувати різноманітні алгоритми для видалення статичних та динамічних характеристик агрегатів, що досліджуються. Створений алгоритм подано на рис. 4.

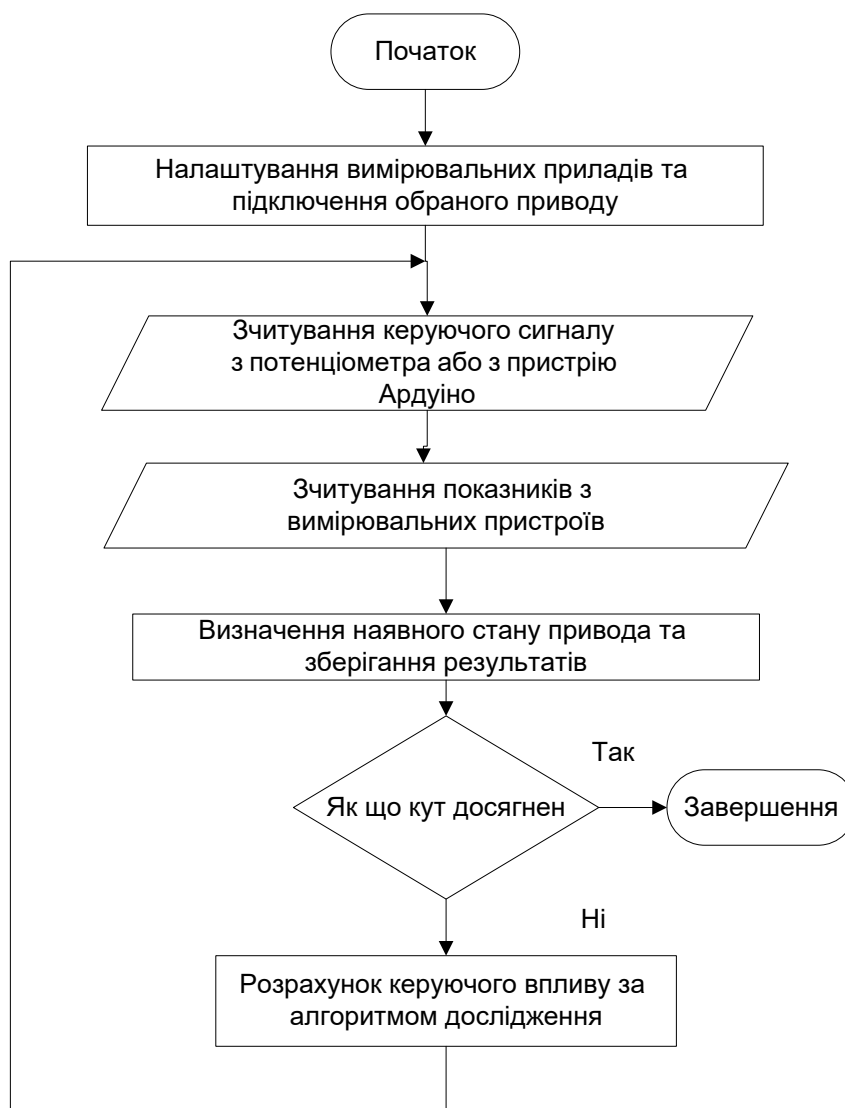


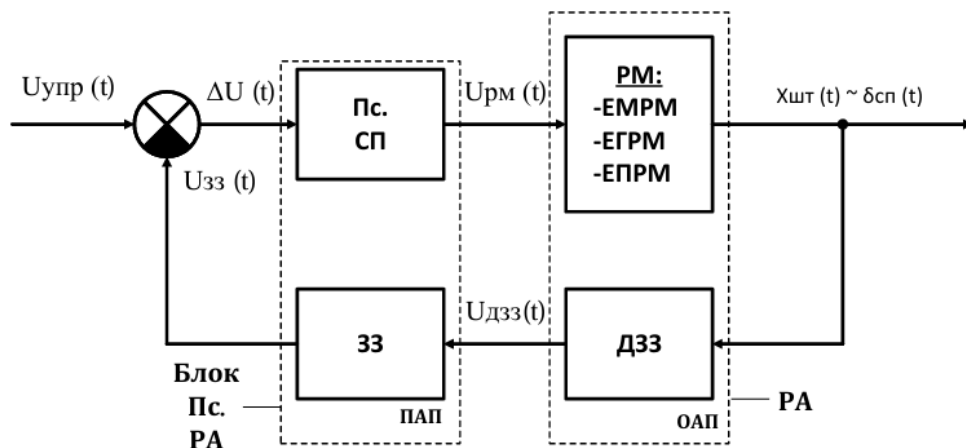
Рис. 4. Алгоритм роботи контролера

З метою реалізації роботи системи управління та збереження інформації на основі мікроконтролерного модулю Arduino та вимірювальних пристроїв створено програмний код, що реалізує алгоритм роботи контролера, а саме, визначає задавальне значення кута положення штоку приводу, поточне значення кута, реалізує алгоритм збереження даних з виконавчого пристрою. Крім того, для визначення статичних та динамічних характеристик приводу створена програма яка дозволяє усунути перехідні процеси (приблизно 3-5 періодів роботи системи), фіксацію результатів для подальшої обробки.

## 2. Загальні відомості

Як що розглянути узагальнену функціональну схему сервоприводу (рис. 5), то основними елементами управління з якими проводиться робота у ході досліджень є: ДЗЗ- датчик зворотного зв'язку, ЗЗ-зворотній зв'язок та Пс.СП- підсилювач сервоприводу. Функцію додавання та формування сигналу керування виконує безпосередньо контролер. Для зберігання та накопичування результатів в Arduino проводиться масштабування до значення кутів. Таким чином при

виконанні алгоритму досліджень задавальним є кут, а як реакція приводу – кут оберту його штоку.



СП – сервопривід;  
РМ – рульова машинка;  
ЕМ – електромеханічна;

ЕГ – електрогідравлічна;  
ЕП – електропневматична;  
РА – рульовий агрегат;

ДЗЗ – датчик зворотнього зв'язку.

Рис. 5. Узагальнена функціональна схема сервопривода

### 3. Експериментальні дослідження

Ці дослідження стосуються електро привода. Для гідро та пневмо приводів методика та результати схожі.

#### 3.1 Визначення статичної характеристики

На цьому етапі формуємо задавальний сигнал (синього коліру). Для драйвера електродвигуна від 250 умовних одиниць ШІМ до нуля и потім до значення 250 для різних квадрантів. Або рух штоку (червоний колір) від -45 градусів до 45 по куту. Часові діаграми наведені на рис. 6. Як бачимо з графіку руху штока є зона нечутливості.

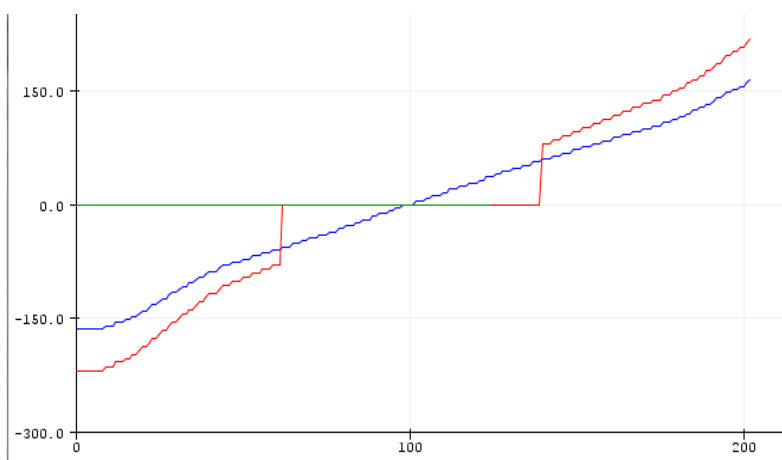


Рис. 6. Діаграми сигналів при визначенні статичної характеристики

Зона нечутливості складає діапазон 0-7 вольт при живленні 24 вольт. Або 70 умовних одиниць якщо стосується управління ШІМ від драйверу.

### 3.2 Визначення динамічних характеристик

Спочатку формуємо ступінчастий сигнал управління 45 градусів (синього коліру). Змінення положення штока відповідає червоному коліру. Часові діаграми наведені на рис. 7.

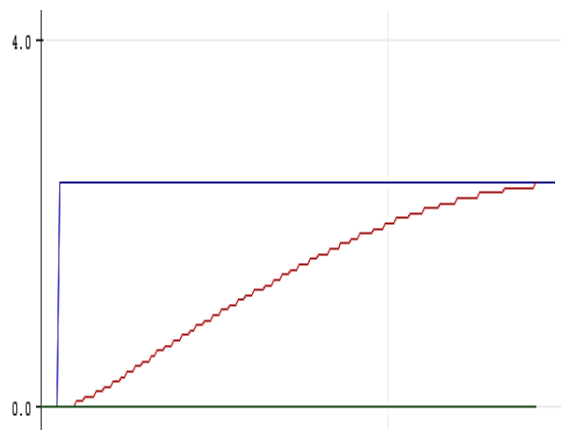


Рис. 7. Діаграми сигналів при визначенні руху штока привода на ступінчасте управління

Коефіцієнт передавання складає 0,61. Перехідний час сягає 8 секунд.

У подальшому визначався вплив синусоїдального сигналу управління (синього коліру) з фіксованою амплітудою - 30 умовних одиниць та змінною частотой. Вихідний сигнал позначено червоного коліру.

Результати дослідження зведені до табл. 1, а часові діаграми наведені на рис. 8.

Таблиця 1

Частота сигналу управління в Герц (зведена до кута оберту штока)	Умовна амплітуда (градуси обертів штоку)		Коментарі
	Задавальний сигнал	Реакція приводу	
0.02	30	30	Рис. 8, а
0.025	30	30	Рис. 8, б
0.033	30	30	Рис. 8, в
0.1	30	19	Рис.8, г
0.19	30	10	Рис.8, д
0.36	30	6	Рис.8, е

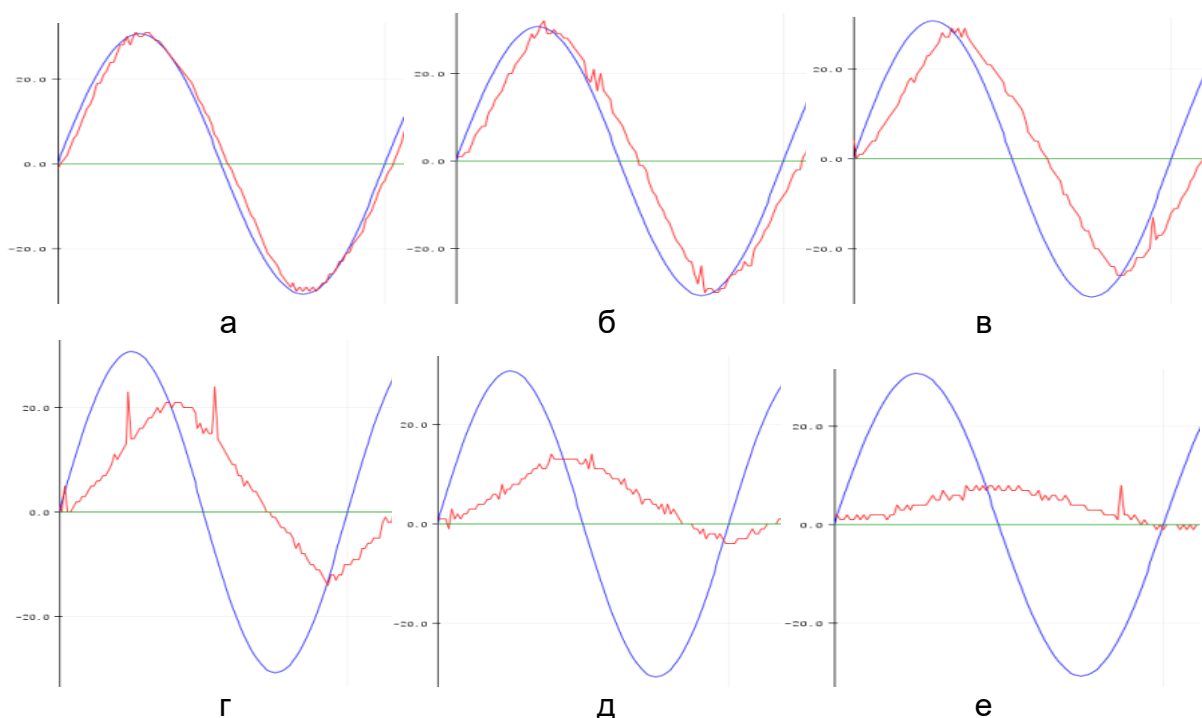


Рис. 8. Часові діаграми експерименту

Аналіз графічного матеріалу підтверджує, що з підвищенням частоти управляючого сигналу привод виходить в зону неспроможності потрібного обертання.

По результатам дослідження впливу синусоїдального сигналу побудована амплітудно-частотна характеристика, яку наведена на рис. 9.

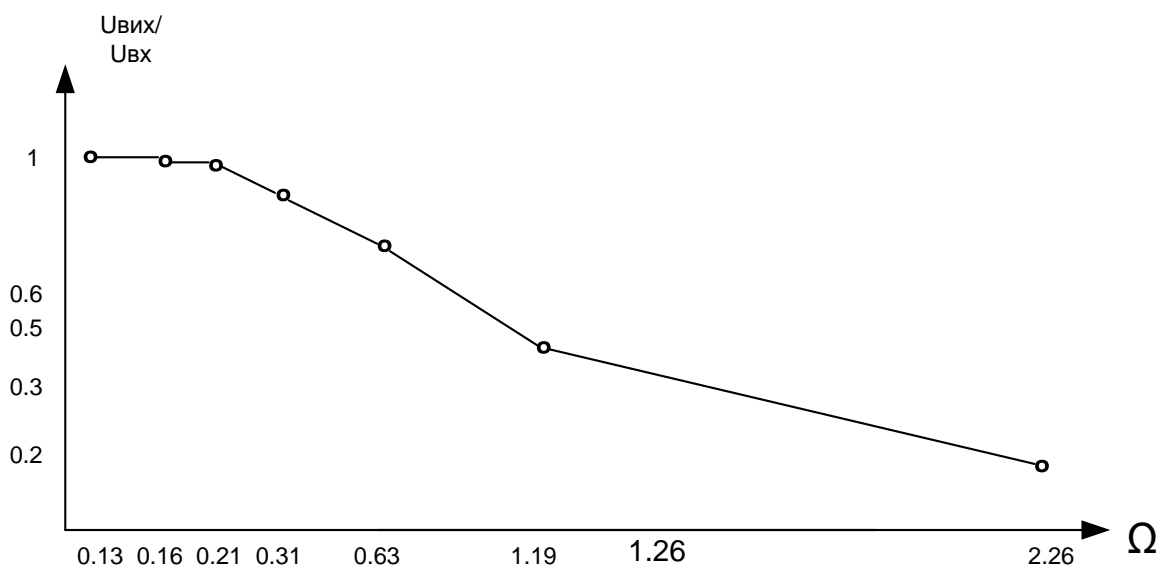


Рис. 9. Амплітудно-частотна характеристика привода

Таким чином у результаті досліджень виявлено, що ефективний діапазон використання електромеханічного привода типу 15Л464 по частоті  $\Omega$  керуючого впливу складає від 0.13 до 0.21, або від 0.02 до 0.033 Гц без втрати якості керування.

### Список літератури

1. Немшилов, Ю. О. Моделі систем управління літальними апаратами та методи експериментальних досліджень [Текст] : навч. посіб. / Ю. О. Немшилов. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", 2019. – 160 с.
2. Синеглазов, В. М. Автоматизовані системи управління повітряних суден [Текст] : підручник / В. М. Синеглазов, М. К. Філяшкін. – К. : НАУ, 2013. – 502 с.
3. Раціональне управління об'єктами: теорія та додатки [Текст]: монографія / К90 Є. В. Гавриленко [та ін.]; за заг. ред. А. С. Кулика. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 308 с.

### References

1. Nemshylov, Yu. O. Modeli system upravlinnia litalnymy aparatamy ta metody eksperymentalnykh doslidzhen [Tekst] : navch. posib. / Yu. O. Nemshylov. – Kharkiv : Nats. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskoho "KhAI", 2019. – 160 s.
2. Syniehlazov, V. M. Avtomatyzovani systemy upravlinnia povitrianykh suden [Tekst] : pidruchnyk / V. M. Synehlazov, M. K. Filiashkin. – K. : NAU, 2013. – 502 s.
3. Ratsional'ne upravlinnya ob'yektamy: teoriya ta dodatky [Tekst]: monohrafiya / K90 YE. V. Havrylenko [ta in.]; za zah. red. A. S. Kulyka. – Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t im. M. YE. Zhukovs'koho «Kharkiv. aviats. in-t», 2018. – 308 s.

Надійшла до редакції 17.03.2026; розглянута на редколегії 9.04.2026

## Practical determination of static and dynamic characteristics of aircraft drives

Almost all processes related to mechanical energy and motion are carried out by various drives, such as electromechanical, hydro and pneumatic drives. A drive is a device that performs a controlled conversion of electrical energy or oil or air pressure into mechanical energy and is designed to set working machines and mechanisms in motion. It is a link that connects the power system with technological installations. To some extent, the drive plays the role of a regulator of these connections, with a technological installation or machine on the one hand and a higher-level information system - often with a person - an operator, on the other hand. It can be considered that the drive as a subsystem is included in the specified systems, being a part of them. A specialist in the construction and operation of aircraft (LA) is usually interested in the drive as a consumer of electricity, a technologist or designer of the LA - as a source of mechanical energy, an engineer who develops or operates the LA - as a developed interface that connects his system with a technological process or power supply system. An important point in the development of a modern aircraft control system is the determination of the amplitude-frequency characteristics of the component units and elements. The aim of the work is to use computer technologies to obtain these parameters. The tasks of the work are: development of a computer system for determining static and dynamic characteristics of drives; creation and verification of operating algorithms and necessary calculations on a laboratory bench using the ARDUINO controller. The control law was selected and tested on a computer system for calculating the necessary parameters, which is implemented on the ARDUINO controller. The applied value of the work is the further use of the obtained results for the study of modern aircraft drives.

**Keywords:** electric; pneumatic and hydraulic drives; computer system for determining static and dynamic characteristics of drives; laboratory sample.

**Відомості про авторів:**

**Немшилов Юрій Олександрович** – доц., к.т.н., доцент кафедри «Мехатроніки та електротехніки», Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. е-mail: [y.nemshilov@khai.edu](mailto:y.nemshilov@khai.edu). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6610-461X>.

**Пасічник Сергій Миколайович** – к.т.н., доцент кафедри «Системи управління літальних апаратів», Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна, е-mail: [snpasichnik@gmail.com](mailto:snpasichnik@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7016-8835>.

**Кочук Сергій Борисович** – доц., к.т.н., доцент кафедри «Мехатроніки та електротехніки», Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. е-mail: [s.kochuk@khai.edu](mailto:s.kochuk@khai.edu). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1429-2246>.

**About the authors:**

**Yuriy NEMSHILOV** – Associate Professor, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine. е-mail: [y.nemshilov@khai.edu](mailto:y.nemshilov@khai.edu). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6610-461X>.

**Serhii PASYCHNYK** – Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department of Aircraft Control Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine. е-mail: [snpasichnik@gmail.com](mailto:snpasichnik@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7016-8835>.

**Serhii KOCHUK** – Associate Professor, Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine. е-mail: [s.kochuk@khai.edu](mailto:s.kochuk@khai.edu). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1429-2246>.