



# Системи обробки інформації

Щоквартальне  
наукове видання

Випуск 3 (149)

Заснований  
у березні 1996 року

У збірнику відображено результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

**Засновник і видавець:**  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

61023, м. Харків-23,  
вул. Сумська, 77/79, НЦ ПС

**Телефон:**  
+38 (057) 704-91-97  
+38 (067) 998-02-70

**E-mail редколегії:**  
red@hups.mil.gov.ua  
red.hnups@gmail.com

**Інформаційний сайт:**  
www.hups.mil.gov.ua

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ  
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ



ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ  
В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ



МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ



ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ,  
ПІДПРИЄМСТВІ ТА ВИРОБНИЦТВІ



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ



ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ  
ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА



ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ  
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ



Харків • 2017

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### Головний редактор:

ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Заступник головного редактора:

СУХАРЄВСЬКИЙ Олег Ілліч (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Члени редколегії:

БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);  
БАРАНІК Володимир Вікторович (д-р техн. наук, проф., ХНУПС, Харків);  
ВАРША Зігмунд Лех (канд. техн. наук, Інститут промислових досліджень автоматики та вимірювань, Варшава, Польща);  
ВАСЮТА Костянтин Станіславович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХНУ, Харків);  
ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ЄВДОКИМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);  
ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);  
ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);  
КАВУН Сергій Віталійович (д-р екон. наук доцент, ХННІ ДВНЗ „Університет банківської справи”, Харків);  
КАЛАШНИКОВ Вячеслав (д-р техн. наук проф., Монтеррейський технологічний інститут, Мексика);  
КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);  
КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);  
КУЛЬПА Христоф (д-р техн. наук проф., Варшавський політехнічний університет, Польща);  
КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);  
КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., НТУ „ХПІ”, Харків);  
ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХНУПС, Харків);  
ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ „ХПІ”, Харків);  
РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);  
РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);  
СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);  
СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ФРЕЙЛИКХЕР Валентин (д-р фіз.-мат. наук проф., Університет імени Бар-Илана, Ізраїль);  
ХАКИМОВ Ортаголи Шаріпович (д-р техн. наук проф., Науково-дослідний інститут стандартизації, метрології та сертифікації, Ташкент, Узбекистан);  
ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ „ХАІ”, Харків);  
ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);  
ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Відповідальний секретар:

ЗУБРИЦЬКИЙ Григорій Миколайович (канд. техн. наук доц., ХНУПС, Харків).

Затверджений до друку вченою радою Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (протокол від 28 березня 2017 року № 6)

Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук” (технічні та військові науки), затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 22357 – 12257ПР від 30.09.2016 р.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Інформаційний сайт видання: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua).

Розподіл «quotation» (Google Scholar)

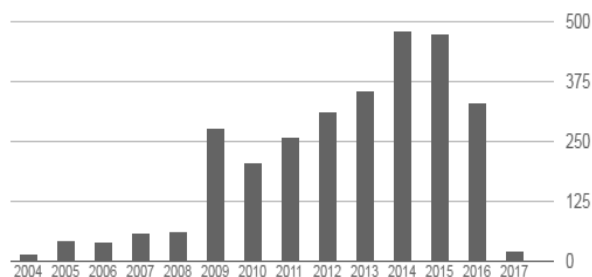
Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.

Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: Academic Resource Index (EC), Google Scholar (США), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща), Open Academic Journals Index (EC), Universal Impact Factor (EC).

#### Наукометричні показники:

ICV (Index Copernicus Value) = 60.92

Google Scholar. «quotation» = 3022 індекс Хірша h = 13 індекс i10 = 37



## З М І С Т

### ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Алімпієв А.М.</i> Напрямок підвищення ефективності системи повітряної розвідки з використанням бортового комплексу безпілотного літального апарату (engl.).....	6
<i>Дергунов О.В., Деменко А.Р., Залевська А.В., Фостенко К.В.</i> Компьютеризованный стенд для випробування гвинтомоторної установки легких безпілотних повітряних суден .....	10
<i>Жиров Г.Б., Ленков Е.С.</i> Усовершенствованная имитационная модель процесса технического обслуживания и ремонта сложного технического объекта .....	14
<i>Лупандін В.А., Закіров С.В., Феклістов А.О., Сторожук О.В., Леушин А.Г.</i> Основні особливості щодо розроблення інформаційно-розрахункових задач з оцінювання радіоелектронної обстановки в інтересах Повітряних Сил ЗС України.....	19

### ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Лысенко А.И., Шенгелия М.О.</i> Модель функционирования системы независимых автотранспортных подразделений внутригородских пассажироперевозок .....	24
<i>Морозов О.О.</i> Алгоритм формування системи виконавчих елементів для обслуговування територіально розосереджених об'єктів .....	28

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Дубницький В.Ю., Петренко О.Е.</i> Управление интенсивностью отказов положительно определённых случайных величин.....	33
<i>Ситников Д.Э., Ситникова П.Э.</i> Логико-алгебраический подход к построению деревьев решений и операциям с ними.....	38
<i>Шаповалова О.О., Бурменський Р.В.</i> Розробка програмного додатка для реалізації методу аналізу ієрархій .....	45

### ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Ларін В.В., Коротенко А.Ю., Байуш Д.О., Іваніченко А.С.</i> Метод створення об'єднаної системи компресії та шифрування відеоданих (engl.).....	49
<i>Логвіненко Я.Р., Мазурова О.А.</i> Использование методов предпроектного анализа для разработки модели требований на этапе концептуального моделирования баз данных.....	53

## C O N T E N T S

### INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

<i>Alimpiev A.M.</i> Ways for greater efficiency aerial reconnaissance system with using on-board complex of unmanned aerial vehicle .....	6
<i>Dergunov O., Demenko A., Zalevska A., Fostenko K.</i> Computerized test bench for unmanned aerial vehicles propeller-engine inspection .....	10
<i>Zhyrov G., Lenkov E.</i> Improved simulation model of the process of maintenance and repair of complex technical object .....	14
<i>Lupandin V.A., Zakirov S.V., Feklistov A.O., Storozhuk O.V., Leushin A.G.</i> The main features of development information and analytical tasks for the assessment of radioelectronic situation for the Air Forces of Ukraine.....	19

### INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS

<i>Lysenko O.I., Shengeliya M.O.</i> Model functioning of the system interdependent trucking subdivisions transportation passengers inside the city.....	24
<i>Morozov A.</i> Chart of formation of the executive elements for service geographically dispersed analyzing processes.....	28

### MATHEMATICAL MODELS AND METHODS

<i>Dubnitskiy V.Yu., Petrenko O.Ye.</i> Management failure rate of positive definite random variables.....	33
<i>Sitnikov D.E., Sitnikova P.E.</i> A logic-algebraic approach to building decision trees and operations with them .....	38
<i>Shapovalova O.O., Burmensky R.V.</i> Development of application for implementing the analytic hierarchy process.....	45

### INFOCOMMUNICATION SYSTEMS

<i>Larin V., Korotenko A., Baiush D., Ivanichenko A.</i> A method for constructing a combined compression system and encryption of video data .....	49
<i>Logvinenko Ya.R., Mazurova O.A.</i> The using of pre-project analysis methods for developing a model of requirements during the conceptual database modeling .....	53

<i>Підлісний С.А., Більчук В.М., Медведєв Д.О., Піддубний Б.О.</i> Методи підвищення цілісності інформації в телекомунікаційних системах .....	57	<i>Podlesny S.A., Bilchuk V.M., Medvedev D.O., Poddubny B.A.</i> The methods of information integrity increasing in the telecommunication systems .....	57
<i>Романенко І.О., Животовський Р.М., Петрук С.М., Шишацький А.В., Волошин О.О.</i> Математична модель розподілу навантаження в телекомунікаційних мережах спеціального призначення .....	61	<i>Romanenko I.O., Zhyvotovskiy R.M., Petruk S.M., Shishatskiy A.V., Voloshin O.A.</i> Mathematical model of load distribution in telecommunication networks of special purpose .....	61
<i>Штомпель М.А.</i> Принципи програмної реалізації біоінспірованого методу декодування високошвидкісних лінійних блокових кодів .....	72	<i>Shtompel M.A.</i> Software implementation principles of bioinspired decoding method of high rate linear block codes .....	72
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІІ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ</b>		<b>INFORMATION TECHNOLOGIES AND CONTROL SYSTEMS</b>	
<i>Аксак Н.Г., Барковська О.Ю., Іващенко Г.С.</i> Розробка системи розпізнавання жестів на основі моделі клонального відбору (engl.) .....	76	<i>Axak N.G., Barkovskaya O.U., Ivashchenko H.S.</i> Development of the hand gesture recognition system on the basis of clonal selection model .....	76
<i>Борисенко Є.О.</i> Особливості режимів функціонування мікропроцесорних систем для задач підвищення надійності автоматизованих систем управління енергооб'єктів .....	81	<i>Borysenko Ye.O.</i> Features of operation of microprocessor systems for problems of improving the reliability of automated control systems of energy objects .....	81
<i>Бронніков А.І., Онишко В.О.</i> Обробка інформації при голосовому керуванні у робототехніці .....	85	<i>Bronnikov A., Onyshko V.</i> Information processing for speech control in robotics .....	85
<i>Василець Т.Ю., Варфоломійєв О.О., Тютюн Р.В., Альфьоров Ю.О., Власов А.О.</i> Синтез нейрорегулятора NN Predictive Controller для управління трьохмасовою електромеханічною системою .....	88	<i>Vasilets T.E., Varfolomiyev A.A., Tyutyun R.V., Alfyorov Y.A., Vlasov A.A.</i> Synthesis of the NN Predictive Controller for the three-mass electromechanical system .....	88
<i>Гончаров О.С., Зубрецька Н.А., Федін С.С.</i> Оцінювання довговічності геотекстильних матеріалів на основі прогнозних нейромережних моделей .....	96	<i>Goncharov O.S., Zubretskaya N.A., Fedin S.S.</i> Longevity evaluation of geotextiles by neural network forecasting .....	96
<i>Гуліна І.Г., Мартыненко А.А., Гулін А.А.</i> Построение интеллектуальных прогнозирующих систем управления нелинейными технологическими процессами .....	101	<i>Gulina I.G., Martynenko A.A., Gulin A.A.</i> Building intelligent predictive nonlinear process control systems .....	101
<i>Жук О.Г.</i> Методика адаптивного управління режимами роботи систем військового радіозв'язку .....	106	<i>Zhuk A.G.</i> Methods of adaptive control modes of working radiocommunication military systems .....	106
<i>Звиглянич С.М., Изюмський М.П., Балабуха О.С.</i> Оцінка якості функціонування автоматизованих систем управління .....	115	<i>Zviglyanich S.M., Izyumskiy M.P., Balabuha O.S.</i> The quality of assessment automated control systems .....	115
<i>Кучеренко Ю.Ф.</i> Методика оцінки загального стану автоматизованої системи військового призначення на основі визначення технічного стану комплексів засобів автоматизації, що її складають .....	118	<i>Kucherenko J.F.</i> The method of appreciation general condition of the military automatic system on the basis determines technical condition automatic means .....	118
<i>Луппо О.Є., Алексєєв О.М., Богуненко М.М., Колесник Т.А.</i> Впровадження пілотного спільного проекту в український повітряний простір (engl.) .....	121	<i>Luppo O., Alexeiev O., Bogunenko M., Kolesnyk T.</i> Implementation of the pilot common project into ukrainian airspace .....	121

<i>Постільник І.О.</i> Розробка онлайн-сервісу системи попередження про грозову небезпеку ..... 127	<i>Postilnyk I.O.</i> The designing of online-service for the lightning warning system..... 127
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ПІДПРИЄМСТВІ ТА ВИРОБНИЦТВІ</b>	<b>INFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMICS, ON AN ENTERPRISE AND A FACTORY</b>
<i>Воронько В.В., Шостак І.В., Воронько І.А., Степаненко В.Н., Завистовський Д.І.</i> Синтез динамической модели промышленного робота для дорнования отверстий в конструкциях летательных аппаратов..... 131	<i>Voronko V.V., Shostak I.V., Voronko I.A., Stepanenko V.N., Zavistovsky D.I.</i> Synthesis of the dynamic model of industrial robot for dorning holes in the design of flighting devices ..... 131
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ</b>	<b>INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION</b>
<i>Приліпко О.Ф.</i> Особливості застосування методу кейсів на заняттях з професійно-орієнтованих дисциплін в ході підготовки майбутніх офіцерів ..... 139	<i>Prilipko O.F.</i> Peculiarities of the application of the case method for activities in vocational-specified sciences in the preparation of the future officers ..... 139
<i>Мась Н.М.</i> Показники морально-психологічного стану особового складу військових підрозділів ..... 143	<i>Mas' N.M.</i> Indicators of moral and psychological status of personal composition military units..... 143
<b>ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА</b>	<b>INFORMATION SECURITY AND CYBERSECURITY</b>
<i>Добринін І.С., Мальцева Н.О.</i> Вдосконалення методики факторного аналізу інформаційних ризиків..... 146	<i>Dobrynin I.S., Maltseva N.A.</i> Improvement of the method of factor analysis information risk..... 146
<i>Красиленко В.Г., Нікітович Д.В.</i> Моделювання протоколів узгодження секретного матричного ключа для криптографічних перетворень та систем матричного типу ..... 151	<i>Krasilenko V., Nikitovich D.</i> Modeling of coordination protocols of secret matrix key for cryptographic transformation and matrix type systems..... 151
<b>ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ</b>	<b>EMERGENCY PREVENTION AND MITIGATION</b>
<i>Задунай О.С., Азаров С.І., Сидоренко В.Л.</i> Забезпечення електромагнітної сумісності вторинних електричних ланцюгів на об'єктах критичної інфраструктури ..... 158	<i>Zadunay O.S., Azarov S.I., Sydorenko V.L.</i> Procuring electromagnetic compatibility of the secondary electrical circuits critical infrastructure ..... 158
<i>Катещенко А.В., Неклонський І.М.</i> Модель процесу виникнення й розповсюдження пожежі у разі диверсій, що здійснюються шляхом ініціювання пожеж на важливих елементах об'єкта без проникнення на його територію ..... 164	<i>Kateshchenok A.V., Neklonskyi I.M.</i> Model of origin and distribution in case of fire sabotage carried out by initiating fire on an important element of the object without penetration on its territory ..... 164
<i>Чернявський І.Ю., Калугин В.Д., Тютюнник В.В., Пудло І.В.</i> Использование методов дозиметрии ионизирующих излучений для оценки воздействия на живые организмы низкоэнергетического гамма-излучения на радиоактивно зараженной локальной территории в рамках проведения радиационного мониторинга в Украине ..... 169	<i>Cherniavskiy I.Y., Kalugin V.D., Tiutiunyk V.V., Pudlo I.V.</i> Use of methods of radiation ionizing dosimetry for assessment of impact on live organisms of low-energy gamma radiation on is radioactive the infected local territory within carrying out radiation monitoring in Ukraine..... 169
<b>Наші автори</b> ..... 180	<b>Authors</b> ..... 180
<b>Алфавітний покажчик</b> ..... 183	<b>Alphabetical index</b> ..... 183

УДК 629.7.035.7:681.2.087

О.В. Дергунов, А.Р. Деменко, А.В. Залевська, К.В. Фостенко

Національний авіаційний університет, Київ

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ГВИНТОМОТОРНОЇ УСТАНОВКИ ЛЕГКИХ БЕЗПІЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

*Розглянуто задачу розробки комп'ютеризованого стенду для випробування гвинтомоторної установки на основі безколекторних електричних двигунів, що використовуються в легких безпілотних повітряних суднах як літакового, так і мультироторного типу. Представлено загальну структуру стенду, його вимірювальних каналів та розглянуто його практичну реалізацію.*

**Ключові слова:** комп'ютеризований стенд, випробування гвинтомоторної установки, вимірювальний канал, вимірювальна система.

### Вступ

**Постановка задачі та аналіз досліджень.** Сучасні легкі безпілотні повітряні судна (БПС) – прості, надійні, компактні та багатоцільові апарати. Вони знайшли своє застосування в багатьох галузях господарства: від екологічного моніторингу та вирішення спеціальних задач агросектору [1; 2] до охорони громадянського порядку та персональних засобів фото та відео аерозйомки. За останні п'ять років мультироторні БПС, або як їх ще називають «дрони», увійшли в повсякденний інструментарій спеціалістів різних профілів. Такі БПС допомагають проводити енергетичний аудит будівель, термомоніторинг стану лінії електропередач, є обов'язковим інструментом сучасного відеооператора тощо. Це стало можливим завдяки появі на ринку готових та відносно недорогих, комерційних продуктів, переважно виробництва компанії DJI [3]. В лінійці цієї компанії є багато різних продуктів, які можуть задовольнити потреби багатьох різних галузей. Разом з цим для вирішення специфічних задач виникає потреба розробки власних рішень. Особливо це є актуальним для наукової та інженерно-конструкторської галузей. Незалежно від конструкційного виконання одним з обов'язкових елементів БПС є його гвинтомоторна установка, яка в багатьох випадках для легких БПС складається з безколекторного електричного двигуна (БКЕД), контролеру обертів двигуна (КО) та пропелеру. Параметри гвинтомоторної установки впливають на всі експлуатаційні характеристики БПС. Слід зазначити, що далеко не всі БКЕД супроводжуються детальною технічною документацією. Серед характеристик БКЕД в документації зазвичай зазначається параметр швидкості обертів без навантаження (без пропелера), сумісні напруги акумуляторної батареї (АКБ), проте не завжди зазначені типи сумісних пропелерів та відповідні рівні тяги [4].

При плануванні експлуатаційних можливостей БПС важливу роль відіграє проектування гвинтомоторної установки, а саме – планування необхідного рівня тяги, струмоспоживання, швидкості польоту тощо. Широко розповсюдженим є розрахунок таких параметрів з використанням спеціалізованих калькуляторів, база даних яких охоплює різних виробників елементів гвинтомоторної установки [5]. Проте, слід зазначити, що результати розрахунків не завжди збігаються з дійсними через неідентичність параметрів БКЕД або пропелерів з різних партій навіть одного виробника, а також наявності на ринку великої кількості елементів, що не включені в такі бази даних. В цьому випадку найбільш правильним рішенням є експериментальне випробування гвинтомоторної установки з метою встановлення її характеристик та граничних можливостей.

Найбільш важливими характеристиками гвинтомоторної установки є:

- тяга;
- швидкість обертів БКЕД;
- струмоспоживання.

Для забезпечення правильної експлуатації установки необхідно впевнитися, що температури БКЕД та КО не виходять за безпечні межі для усіх режимів їх роботи на всіх рівнях тяги.

Отже, стенд для випробування гвинтомоторної установки повинен контролювати такі параметри:

- тягу, з номінальним значенням 2 кг та роздільною здатністю 0,05 кг;
- швидкість обертів БКЕД, з номінальним значенням 40000 об/хв;
- струмоспоживання установки, з номінальним значенням 30 А;
- температуру БКЕД;
- температуру КО.

**Метою роботи** є розробка комп'ютеризованого стенду для проведення випробувань гвинтомоторних установок легких БПС із можливістю контролю

зазначених параметрів, представлення структурних схем стенду, його вимірювальних каналів, їх практичної реалізації, а також спеціалізованого програмного забезпечення для персонального комп'ютера (ПК).

### Основна частина

Для вирішення поставлених задач запропоновано загальну структуру комп'ютеризованого стенду (рис. 1), яка складається з вимірювальних каналів (ВК) швидкості обертів електричного двигуна, його температури, тяги, температури контролера обертів двигуна та його струмоспоживання. Інформація з вимірювальних каналів поступає до мікроконтролера (МК), який виконує задачі керування режимом роботи електричного двигуна, відображення поточних результатів відповідних вимірювань на дисплеї та передачі всіх поточних даних на персональний

комп'ютер із спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ).

В якості центрального мікроконтролера обрано 8-бітний мікроконтролер Atmega 328p, з тактовою частотою 16 МГц по причині достатніх можливостей для вирішення поставлених задач (кількість портів вводу/виводу, наявність 8 портів АЦП, наявність апаратних контролерів I2C, SPI, UART) та великої кількості бібліотек для роботи з різною периферією, що значно спрощує розробку мікропрограмного забезпечення. Мікроконтролер підключається до ПК за допомогою інтерфейсу UART з використанням перетворювача UART/USB. В якості дисплею використано популярний монохромний рідкокристалічний дисплейний модуль NOKIA 5110 з діагоналлю 1,6 дюйма та роздільністю 84×84 пікселів.

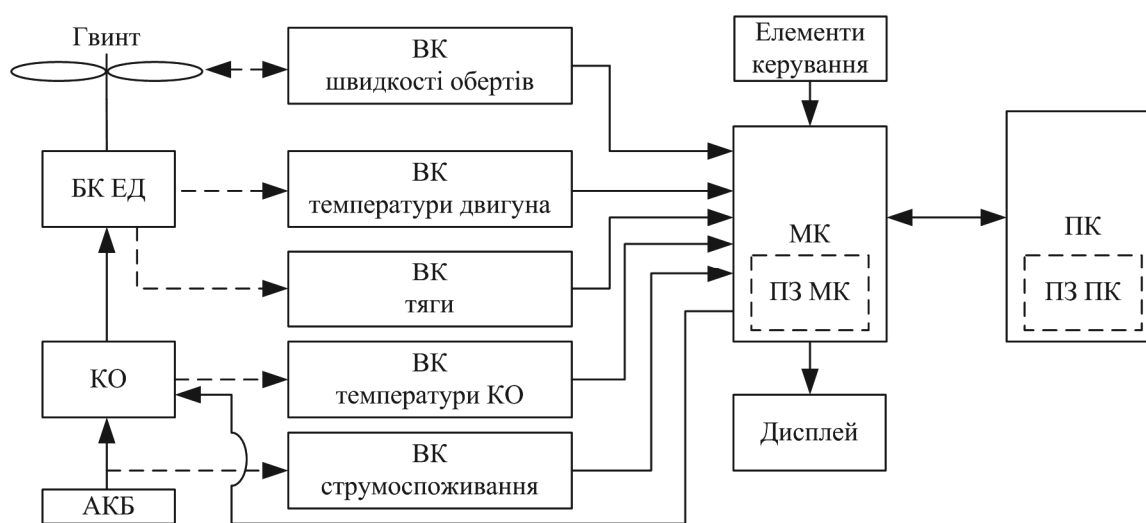


Рис. 1. Структурна схема комп'ютеризованого випробувального стенду

Основний режим роботи стенду передбачає обов'язкове підключення до ПК та спеціалізованого програмного забезпечення, в якому відображаються поточні результати вимірювань, часові реалізації усіх вимірювальних сигналів за останню сесію роботи стенду, керування швидкістю обертів двигуна, а також дозволяє встановлювати граничні значення вимірювальних величин, за яких спрацьовує аварійне вимкнення двигуна.

Наприклад, при наближенні струму до максимальних значень, за яких може працювати АКБ або КО, швидкість обертів двигуна автоматично знижується.

Можливе використання стенду без підключення до ПК. В цьому випадку задавати швидкість обертів двигуна можна за допомогою відповідних елементів керування, а зчитувати результати вимірювань з дисплею. Проте, в цьому випадку не можливо задати порогові значення контрольованих величин, тому необхідно уважно слідкувати за показами стенду.

Вимірювальні канали спроектовані з використанням сучасних датчиків та інтегральних пристроїв узгодження, переважно з цифровими інтерфейсами. На рис. 2 представлена структурна схема вимірювального каналу швидкості обертів електричного двигуна, а на рис. 3 – функціональна схема датчика та його пристрою узгодження.

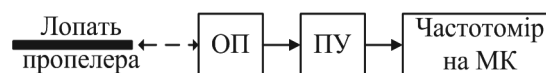


Рис. 2. Структурна схема вимірювального каналу швидкості обертів двигуна

Основою ВК швидкості обертів двигуна є оптопара (ОП) відкритого типу, яка відслідковує оберт лопаті пропелера. Сигнал з оптопари подається на компаратор, де порівнюється із граничним значенням заданим потенціометром. Прямокутні імпульси з виходу компаратора поступають на вхід МК для вимірювання їх частоти за допомогою вбудованих таймерів/лічильників.

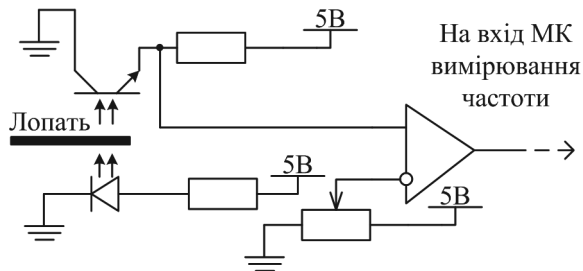


Рис. 3. Функціональна схема пристрою узгодження вимірювального каналу швидкості обертів двигуна

Реалізований на мікроконтролері частотомір перевірено шляхом безпосереднього зіставлення його показів з показами лабораторного частотоміру (клас точності 0,01) для імпульсного сигналу поданого з лабораторного генератора імпульсів. Похибка реалізованого частотоміру не перевищувала 0,1% в діапазоні частот 40...500 Гц.

Вимірювальний канал температури двигуна (рис. 4) складається з інтегрального безконтактного датчика температури MLX90614, похибка якого в необхідному діапазоні температур не перевищує 0,5°C. Датчик має цифровий інтерфейс зв'язку з МК, тобто не потребує додаткового пристрою узгодження.

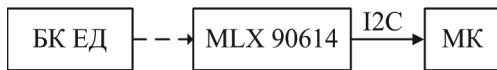


Рис. 4. Структурна схема вимірювального каналу температури двигуна

Принцип вимірювання тяги гвинтомоторної установки полягає у використанні тензомодуля YZC-133. Умовна схема конструкційного виконання стенду, що пояснює спосіб вимірювання тяги представлена на рис. 5.

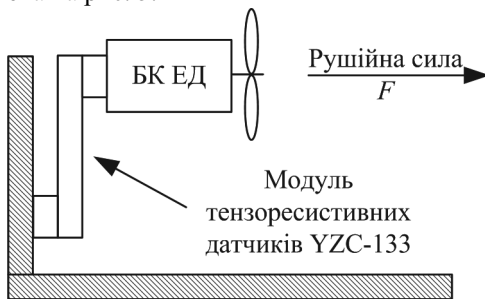


Рис. 5. Умовна схема конструкції стенду

Вимірювальний канал тяги (рис. 6) складається з модуля тензоперетворювача YZC-133 та інтегрального пристрою узгодження для роботи з датчиками ваги – HX711. Модуль тензоперетворювача складається з чотирьох тензорезистивних датчиків, об'єднаних за схемою моста Уітстона. Такі модулі використовуються в побутових електронних вагах та випускаються на різні номінальні значення діапазону. В роботі використаний модуль з номінальним значенням ваги 2 кг, номінальним коефіцієнтом перетворення  $1,0 \pm 0,15$  мВ/В та сумарною похибкою,

що не перевищує 1,5%. Для узгодження сигналів тензомодуля застосовується інтегральний пристрій узгодження HX711, який представляє собою спеціалізоване 24-бітне АЦП з низьким рівнем шуму, двома диференційними входами для діапазонів  $\pm 20$  мВ та  $\pm 40$  мВ (вибирається програмно) та цифровим вихідним інтерфейсом SPI для підключення до МК.

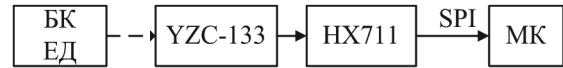


Рис. 6. Структурна схема вимірювального каналу тяги

Калібрування каналу тяги виконувалося шляхом вимірювання ваги еталонних гир за загальноприйнятою методикою калібрування електронних ваг. В результаті калібрування визначено, що зведена похибка каналу не перевищує 2%, що задовольняє поставлені вимоги.

Вимірювання температури контролера обертів двигуна можна виконати контактним способом за допомогою термоелектричного датчика – термопари типу К. Вимірювальний канал температури КО (рис. 7) складається з власне термопари типу К та інтегрального пристрою узгодження – MAX 31855.

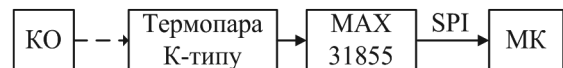


Рис. 7. Структурна схема вимірювального каналу температури контролера обертів

Перетворювач MAX 31855 забезпечує узгодження сигналів термопари в широкому діапазоні вимірюваних температур ( $-200^{\circ}\text{C} \dots +1350^{\circ}\text{C}$ ), має вбудований модуль компенсації температури холодного спаю, 14-бітний АЦП, який забезпечує роздільну здатність  $0,25^{\circ}\text{C}$  та цифровий інтерфейс SPI для підключення до МК.

Оцінку поточного струмоспоживання електричним двигуном можна за допомогою датчика струму на ефекті Холла – ACS712. Даний датчик випускається в різних версіях під різні номінальні значення струму. В роботі використаний датчик із номінальним струмом 30 А. Структурна схема вимірювального каналу наведена на рис. 8.

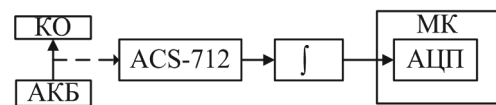


Рис. 8. Структурна схема вимірювального каналу струмоспоживання

Враховуючи імпульсний та швидкозмінний характер струмоспоживання БК ЕД, необхідно вимірювати діюче значення сигналу на виході датчика струму. Для цього в схемі використано інтегратор.



Представлені вимірювальні канали підключаються до МК за допомогою відповідних цифрових інтерфейсів. Програма МК виконує наступні функції:

1. Опитування вимірювальних каналів для отримання нових значень контрольованих величин.
2. Вивід отриманих даних на дисплей.
3. Передача отриманих даних на ПК.
4. Прийом сигналів керування з ПК або елементів керування стенду.
5. Подача сигналів керування на контролер обертів двигуна.

Спеціалізоване програмне забезпечення випробувального стенду розроблене з використанням технологій National Instruments LabVIEW. Його структура наведена на рис. 9.



Рис. 9. Структура спеціалізованого програмного забезпечення комп'ютеризованого стенду

На графічному інтерфейсі користувача відображаються поточні значення контрольованих параметрів, часові діаграми їх зміни упродовж останньої сесії роботи зі стендом, наявні індикатори перевищення певних граничних значень контрольованих величин та інструменти встановлення цих граничних значень. В ПЗ реалізовано функцію автоматизованого тестування гвинтомоторної групи та

формування вихідного протоколу випробування з наведенням визначених характеристик: залежності струму, швидкості обертів, тяги від відносного рівня тяги, що задається на КО в діапазоні 0–100%.

## Висновки

В ході даної роботи розроблено комп'ютеризований стенд, який дозволяє визначати тягу гвинтомоторної установки, температури ключових її елементів, швидкість обертів двигуна та його струмоспоживання, що є необхідним при проектуванні легких безпілотних повітряних суден. За допомогою представленого стенду можливо оцінювати характеристики різних моделей безколекторних електричних двигунів, підбирати для них оптимальний пропелер, оцінювати час польоту БПС. Це особливо актуально в умовах обмеженої інформації про двигун в його технічній документації.

## Список літератури

1. Chabot D. *Small unmanned aircraft: precise and convenient new tools for surveying wetlands* / D. Chabot, D.M. Bird // *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. – 2013. – No. 01. – P. 15-24.
2. Babak S. *Radiation monitoring of environment using unmanned aerial complex* / S. Babak // *The Advanced Science Journal*. – 2014. – Issue 12. – P. 41-44.
3. DJI – *The Future of Possible* [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.dji.com>.
4. DJI – *E305 characteristics* [Electronic resource] – Access mode: <http://www.dji.com/e305/spec>.
5. *eCalc-xCopterCalc* [Electronic resource] – Access mode: <http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php>
6. *Винтомоторная группа. Практические советы и расчеты* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view\\_entry/454/](http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/454/).

Надійшла до редколегії 22.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. Л.М. Щербак, Національний авіаційний університет, Київ.

## КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ВИНТОМОТОРНОЙ УСТАНОВКИ ЛЕГКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.В. Дергунов, А.Р. Деменко, А.В. Залевская, К.В. Фостенко

*Рассмотрена задача разработки компьютеризированного стенда для испытания винтомоторной установки на основе безколекторных электрических двигателей, которые используются в легких беспилотных воздушных судах как самолетного, так и мультироторного типов. Представлена общая структура стенда, его измерительных каналов, а также рассмотрена его практическая реализация.*

**Ключевые слова:** компьютеризированный стенд, испытание винтомоторной установки, измерительный канал, измерительная система.

## COMPUTERIZED TEST BENCH FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES PROPELLER-ENGINE INSPECTION

O. Dergunov, A. Demenko, A. Zalevska, K. Fostenko

*The development of the computerized test bench for inspection of propeller-engine system of light unmanned aerial vehicles is presented. General structures of test bench and its measurement channels are shown.*

**Keywords:** computerized test bench, propeller-engine system inspection, the measurement channel, measurement system.