



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

ISSN 1681-7710



Системи обробки інформації

Щоквартальне
наукове видання

Випуск 1 (156)

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, 126,
а/с 11800

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



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ



ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА



МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ



Харків • 2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

Тимочко Олександр Іванович, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна.

Заступник головного редактора:

Сухаревський Олег Ілліч, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна.

Члени редколегії:

- Бараннік Володимир Вікторович, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Варша Зігмунд Лех, кандидат технічних наук,
Інститут промислових досліджень автоматики та вимірювань, Варшава, Польща;
- Василюк Віталій Олександрович, доктор технічних наук старший науковий співробітник,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Висоцька Олена Володимирівна, доктор технічних наук професор,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Україна;
- Дробаха Григорій Андрійович, доктор військових наук професор,
Національна академія Національної гвардії України, Україна;
- Кавун Сергій Віталійович, доктор економічних наук професор,
Харківський технологічний університет "ШАГ", Україна;
- Калашніков Вячеслав, доктор фізико-математичних наук професор,
Монтеррейський технологічний інститут, Мексика;
- Кульпа Христоф, доктор технічних наук професор,
Варшавський політехнічний університет, Польща;
- Купченко Леонід Федорович, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Кучук Георгій Анатолійович, доктор технічних наук професор,
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Україна;
- Молодецька Катерина Валеріївна, доктор технічних наук доцент,
Житомирський національний агроєкологічний університет, Україна;
- Оваїд Сальман Рашід, кандидат технічних наук,
Коледж університету Аль Мареф, Рамаді, Ірак;
- Стасев Юрій Володимирович, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Фрейлихер Валентин, доктор фізико-математичних наук професор,
Університет ім. Бар-Ілана, Ізраїль;
- Худов Геннадій Володимирович, доктор технічних наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Шишацький Андрій Володимирович, кандидат технічних наук,
Центральний науково-дослідний інститут ОВТ Збройних Сил України, Україна;
- Ярош Сергій Петрович, доктор військових наук професор,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна.

Відповідальний секретар:

Зубрицький Григорій Миколайович, кандидат технічних наук доцент,
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна.

*Затверджений до друку вченою радою Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
(протокол від 26 лютого 2019 року № 2)*

*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 29.12.2014 № 1528 (із змінами від 22.12.2016 № 1604)*

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

*Усі статті, що публікуються у журналі, проходять обов'язкове рецензування,
яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів (подвійне сліпе рецензування).
Унікальність текстів публікацій перевіряється за допомогою системи пошуку ознак плагіату Unichesk.
За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.*



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

Публічність та доступ: Журнал зберігається у загальнодержавній базі даних Державної бібліотеки ім. Вернадського „Україніка наукова” та включено у довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ.

Авторські права: За авторами зберігаються усі авторські права та права на видання без обмежень. Журнал дозволяє користувачам: читати, завантажувати, копіювати, поширювати, друкувати та посилатися на повні тексти статей за умови зазначення авторства. Дозволяється повторне використання змісту журналу у відповідності з ліцензією Creative Commons CC-BY.

Наукометричні показники:

ICV (Index Copernicus Value - 2017) = 81.99



MINISTRY OF DEFENCE OF UKRAINE
IVAN KOZHEDUB KHARKIV NATIONAL
AIR FORCE UNIVERSITY

ISSN 1681-7710



Information Processing Systems

Quarterly
scientific publication

Issue 1 (156)

Founded in March, 1996

The journal Information Processing Systems was founded in 1996 and became first information platform for Ukrainian specialists in the field of data-processing system. The objective of journal is to publish research finding on the development of new information technologies both for solving traditional problems such as harvesting, manipulating and presentation of data and for building data-processing system in different fields.

Founder and publisher:
Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University

Address: a/c 11800,
Sumska street 126,
Kharkiv, 61023,
Ukraine

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

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

Website: www.hups.mil.gov.ua

INFORMATION PROCESSING
IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS



INFORMATION PROCESSING
IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS



MATHEMATICAL MODELS AND METHODS



INFORMATION TECHNOLOGIES
AND CONTROL SYSTEMS



INFORMATION SECURITY
AND CYBERSECURITY



METROLOGY, INFORMATION AND
MEASUREMENT TECHNOLOGIES AND SYSTEMS



INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION



Kharkiv • 2019

EDITORIAL STAFF

Editor-in-Chief:

Oleksandr Tymochko, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine.

Deputy Editor-in-Chief:

Oleh Sukharevsky, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;

Editorial Board:

- Volodymyr Barannik, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;
- Zygmunt Lech Warsza, Candidate of Technical Sciences (PhD),
Industrial Research Institute for Automation and Measurements PIAP, Warsaw, Poland;
- Vitalii Vasilets, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;
- Olena Vysotska, Doctor of Technical Sciences Professor,
National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute, Ukraine;
- Hryhorii Drobakha, Doctor of Military Sciences Professor,
National Academy of the National Guard of Ukraine, Ukraine;
- Serhii Kavun, Doctor of Economic Sciences Associate Professor,
Kharkiv University of Technology "STEP", Ukraine;
- Viacheslav Kalashnikov, Doctor of Physics and Mathematics Professor,
Monterrey Institute of Technology and Higher Education, Mexico;
- Krzysztof Kulpa, Doctor of Sciences Professor,
Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland;
- Leonid Kupchenko, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;
- Heorhii Kuchuk, Doctor of Technical Sciences Professor,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine;
- Kateryna Molodetska, Doctor of Technical Sciences Associate Professor,
Zhytomyr National Agroecological University, Ukraine;
- Salman Rashid Owaid, Candidate of Technical Sciences (PhD),
Al Maaref University College, Iraq;
- Yurii Stasiev, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;
- Valentyn Freilikher, Doctor of Physics and Mathematics Professor,
Bar-Ilan University, Ramat Gan, Israel;
- Hennadii Khudov, Doctor of Technical Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine;
- Andrii Shyshatskyi, Candidate of Technical Sciences (PhD),
Central Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine;
- Serhii Yarosh, Doctor of Military Sciences Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine.

Executive Secretary:

Hryhorii Zubrytskyi, Candidate of Technical Sciences (PhD) Associate Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine.

*Academic Council of Ivan Kozhedub Kharkiv national Air Force University confirmed for printing
(record № 2 dated February, 26, 2019)*

*Inscribed to the "List of Scientific Professional Publications of Ukraine, where results of final papers
for the Doctor of Science degree and Doctor of Philosophy can be published" (Technical and Military Sciences),
maintained by order of Ministry of Education and Science of Ukraine № 1528 dated December, 29, 2014
(as amended № 1604 dated December, 22, 2016)*

*The State Registration Certificate of printed mass media
KB № 22357 – 12257ПП dated October, 30, 2016*

All the articles that are published in the journal must be peer reviewed.

It is conducted anonymous both for authors and reviewers (double blind peer review).

The uniqueness of the texts of publications is checked with using the Unicheck plagiarism signs search system.

The authors take responsibilities for the reliability of stated facts, quotations and other statements.



Website: www.hups.mil.gov.ua.

Publicity and access: The journal is stored in federal abstract database of Vernadsky National Library „Ukrayinika naukova” and included with periodical reference book Ulrich’s Periodicals Directory (USA) and the Directory of Open Access Journals (DOAJ).

Author’s rights: The authors retained all copyrights and publishing rights with no limited publications. The journal allows users: to read, download, copy, distribute, type and refer to the whole articles upon conditions of affiliation. Repeated recycling of journal contents is allowed according to Creative Commons CC-BY licence.

Scientometrical indexes:

ICV (Index Copernicus Value-2017) = 81,99

З М І С Т

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Костенко П.Ю., Тарнополова В.В., Какава Д.О.
Розділення-виявлення хаотичних зондувальних
сигналів 7

Лубко Д.В., Зінов'єва О.Г., Шаров С.В.
Проектування та розробка експертної системи
діагностування несправностей
транспортних засобів 15

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Голян В.В., Самойленко Д.І.
Створення архітектури програмної системи
моніторингу інформації про стан здоров'я
людини 22

Мілов О.В., Мілевський С.В., Король О.Г.
Розробка базових принципів корпоративного
планування (engl.) 28

Поморцева О.С., Герасименко М.Д.
Розробка туристичного маршруту
за допомогою геоінформаційних технологій 37

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

Антошкін О.А., Панкратов О.В.
Узагальнена математична модель задачі
покриття області ідентичними колами
та її основні реалізації 44

*Дубницький В.Ю., Скорикова І.Г., Фесенко Г.В.,
Черепнев І.А.*
Решение в параметрическом виде прямой и
обратной задачи о разорении страховой
компания для модели индивидуального риска 50

*Ситников Д.Э., Ситникова П.Э., Титов С.В.,
Титова Е.В.*
Определение параметров обобщенных
ассоциативных правил методом декомпозиции 58

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

*Гриб Д.А., Демідов Б.О., Кучеренко Ю.Ф.,
Ткачов А.М., Шубін Є.В.*
Принципи, методи і технології моделювання і
дослідження процесів функціонування і
складних багатоструктурних систем
військового призначення і управління їх
структурною динамікою 64

*Певцов Г.В., Залкін С.В., Сідченко С.О.,
Хударковський К.І.*
Методичний підхід до формування сценарію
проведення інформаційно-психологічного
впливу на осіб, що приймають рішення 74

C O N T E N T S

INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

Kostenko P., Tarnapolova V., Kakava D.
Permission-detection of chaotic
probing signals 7

Lubko D., Zinovieva O., Sharov S.
Design and development
of an expert vehicle fault
diagnosis system 15

INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS

Golian V., Samoilenko D.
Creation of architecture of software monitoring
system information on the condition of human
health 22

Milov O., Milevskiy S., Korol O.
Development of basic principles for corporate
planning 28

Pomortseva O., Herasimenko M.
Modeling the tourist route using
geoinformation technologies 37

MATHEMATICAL MODELS AND METHODS

Antoshkin O., Pankratov O.
A generalized mathematical model of the problems
of covering the area by identical circles
and its major implementations 44

*Dubnytskyi V., Skorikova I., Fesenko H.,
Cherepnov I.*
The parametric type decision of the direct and
inverse problems of bankruptcy of the insurance
company for the individual risk model 50

*Sitnikov D., Sitnikova P., Titov S.,
Titova O.*
Defining parameters of generalized associative
rules by means of decomposition 58

INFORMATION TECHNOLOGIES AND CONTROL SYSTEMS

*Grib D., Demidov B., Kucherenko Y.,
Tkachov A., Shubin E.*
Principles, methods and technologies of modeling
and research processes
of functioning complicated systems of military
purposes and management
of structure dynamics 64

*Pievtsov H., Zalkin S., Sidchenko S.,
Khudarkovskij K.*
Methodological approach to formation of the
scenario realization information and psychological
influence on the person who make a decision 74

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА	INFORMATION SECURITY AND CYBERSECURITY
<i>Красиленко В.Г., Лазарєв О.О., Шеремета О.П.</i> Проектування масиву нейро-еквіваленторів з квазіуніверсальною функцією активації для створення самонавчальних еквівалентнісно-згорткових нейронних структур (engl.).....	<i>Krasilenko V., Lazarev A., Sheremeta A.</i> Designing of array neuron-equivalentors with a quasi-universal activation function for creating a self-learning equivalent-convolutional neural structures
82	82
<i>Красиленко В.Г., Нікітович Д.В., Яцковська Р.О., Яцковський В.І.</i> Моделювання покращених багатокрокових 2D RSA алгоритмів для криптографічних перетворень та сліпого електронного цифрового підпису.....	<i>Krasilenko V., Nikitovich D., Yatskovska R., Yatskovskiy V.</i> Modeling of improved multi-stage 2D RSA algorithm for cryptographic transformations and blind electron digital signature
92	92
<i>Федотова-Півень І.М., Лада Н.В., Мельник О.Г., Пустовіт М.О.</i> Технологія побудови оберненої двооперандної чотирьохрозрядної операції мінімальної складності для строгого стійкого криптографічного кодування.....	<i>Fedotova-Piven I., Lada N., Melnik O., Pustovit M.</i> Modeling a reverse two-operand four-digit operation of minimal complexity for strictly sustainable cryptographic coding.....
101	101
МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ	METROLOGY, INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES AND SYSTEMS
<i>Мещеряк О.О., Величко О.М., Шевкун С.М., Добролюбова М.В.</i> Калібрування прецизійних мір частоти.....	<i>Meshcheriak O., Velychko O., Shevkun S., Dobroliubova M.</i> Calibration of precision frequency measures
106	106
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ	INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION
<i>Невмержицький І.М., Дацків Ю.І., Сидоренко Д.С., Оленін О.М.</i> Досвід використання в освітньому процесі університету Simulink-додатків для візуально-імітаційного моделювання алгоритмів перешкодозахисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ.....	<i>Nevmerzhitsky I., Datskiv Yu., Sidorenko D., Olenin O.</i> Experience of use in the educational process of the university Simulink-applications for visual-imitation modeling of interference protection algorithms of radiolocation stations of radiotechnical troops
112	112
<i>Сурков К.Ю., Калачова В.В., Качан М.В.</i> Метод синтезу адаптивного інформаційного середовища тренажера підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.....	<i>Surkov K., Kalachova V., Kachan M.</i> Method of adaptive information environment simulator synthesis of the air traffic controllers preparation.....
118	118
Алфавітний покажчик	Alphabetical index
125	125

О.А. Антошкін¹, О.В. Панкратов²

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків

²Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ПОКРИТТЯ ОБЛАСТІ ІДЕНТИЧНИМИ КОЛАМИ ТА ЇЇ ОСНОВНІ РЕАЛІЗАЦІЇ.

Розглянуто задачу покриття довільної області ідентичними колами. На основі формалізації критеріїв повноти покриття побудовано узагальнену математичну модель задачі кругового покриття у вигляді задачі негладкої оптимізації. Область допустимих розв'язків задачі описано системою нерівностей, що виникає при запису функції належності для формування умов покриття і додатковою системою нерівностей для врахування технологічних обмежень, що записується за допомогою ρ -функцій. Негладкість моделі виникає внаслідок мінімаксного характеру деяких ρ -функцій та функцій належності. Розроблено засоби генерації множини реалізацій узагальненої математичної моделі покриття для широкого класу прикладних задач. Запропоновано стратегію розв'язку виникаючих задач нелінійного програмування.

Ключові слова: кругове покриття, критерій повноти, ρ -функції, функції належності, математична модель, нелінійна оптимізація.

Вступ

Постановка проблеми. На сучасному етапі стрімко зростає інтерес до задач покриття колами областей R^2 , що пояснюється різноманітністю практичних застосувань, які варіюються від безпеки музеїв до захисту природи. Останнім часом цей напрям стає все більш перспективним. До таких задач відносяться: проектування систем пожежної сигналізації, захист лісових масивів від пожеж, визначення необхідної кількості і розміщення станцій стільникового зв'язку, побудова мережі призначених для контролювання кругових орбіт штучних супутників Землі та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачі оптимального кругового покриття областей складної форми відносяться до класу NP-складних і для їх вирішення використовуються, як правило, евристичні алгоритми [1]. Це пояснюється як складністю формалізації задач покриття, так і відсутністю ефективних методів для їх розв'язання.

Тільки кілька робіт присвячені побудові математичних моделей задач покриття колами. В роботі [2] використовується математична модель задачі, побудована на основі діаграм Вороного. Однак метод, запропонований в [2], можна застосувати тільки до покриття багатокутників однаковими колами.

В [3] розглянуто підхід до покриття квадрата одиничними колами, заснований на теорії температурних розширень і стиснень стрижневих структур.

Основна ідея запропонованого в [4] алгоритму полягає в ітераційному побудові покриттів Діріхле-Вороного. Результати представлені лише для оди-

ничного квадрата, і реалізація алгоритму істотно залежить від форми покривається області.

Для безперервної задачі оптимального покриття колами компактної множини в [5] запропоновано алгоритм, заснований на теорії оптимального розбиття множин і застосуванні алгоритму Шора.

В роботі [6] запропоновано чисельні методи побудови покриттів, що базуються на розбитті множини на області Діріхле і знаходженні так званих характерних точок.

В [7] приводиться математична модель задачі покриття багатокутної множини колами різних радіусів, при цьому радіуси й координати центрів кіл задаються за допомогою сплайнів для моделювання залежності радіуса від рельєфу місцевості.

З результатами аналізу можна зробити висновок, що переважна більшість робіт, що розглядають задачу кругового покриття, присвячені дослідженню евристичних методів розв'язку. Наявні аналітичні моделі і методи розв'язку мають, як правило, недоліки і обмежені областю застосування, що не дозволяє використовувати їх для побудови кругового покриття складних областей.

Таким чином, **метою роботи** є побудова адекватної узагальненої математичної моделі задачі покриття ідентичними колами довільної області, реалізації якої охоплюють основні задачі кругового покриття, що виникають на практиці.

Виклад основного матеріалу

Нехай задана множина кіл $S = \{C_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ і замкнута обмежена область

$\Omega \subset \mathbb{R}^2$ із кусочно-гладкою межею, сформованою L фрагментами аналітично описаних кривих, причому гладкість межі порушується у точках $p_k, k=1,2,\dots,K$. Далі вважаємо, що $C_i = C_i(u_i)$, де $(u_i) = (x_i, y_i)$ – змінні координати центру круга C_i .

Об'єднання $Y = \bigcup_{i=1}^n C_i(u_i)$ називається круговим покриттям області Ω , якщо $\Omega \subseteq Y$.

Постановка **узагальненої задачі кругового покриття**: знайти покриття Y області Ω , що задовольняє системі технологічних обмежень, які накладаються на вектор параметрів розміщення кіл, оптимальне відповідно до заданого критерію якості $F(u), u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, де $F(u)$ – гладка функція.

Сформуємо множину P точок p_k , у яких порушується гладкість меж Ω .

Виключимо надалі з розгляду покриття, у яких є надлишкові кола. Надалі також вважаємо, що кривизна границі області в будь-якій її точці, крім точок з P , менше кривизни кіл з множини C . Для ділянок межі з порушенням цієї умови будується зовнішня апроксимація фрагментами кривих меншої кривизни.

Критерій повноти покриття може бути сформульований у вигляді: для того, щоб множина Y була невідродженим круговим покриттям множини Ω , необхідно й достатньо, щоб [8]:

1) для кожної точки $p_k \in P$ знайшлося хоча б одне коло $C_i, i \in I_n$ таке, що $p_k \in \text{int } C_i$;

2) для будь-якої точки $t_{ik}^* \in \text{fr } C_i \cap \text{fr } \Omega, i \in I_n, k \in \{1,2\}$ знайшлося хоча б одне коло $C_{jk}, j \in I_n, i \neq j$, таке, що $t_{ik}^* \in \text{int } C_{jk}$ й, відповідно, точка $t_{ijk} \in \text{fr } C_i \cap \text{fr } C_j$ належить $\Omega^* = \mathbb{R}^2 \setminus \text{int } \Omega$;

3) для будь-якої точки $t_{ijk} \in \text{fr } C_i \cap \text{fr } C_j, i, j \in I_n, i \neq j, t_{ijk} \in \text{int } \Omega, k \in \{1,2\}$, існує $C_{sk}, s \neq i, s \neq j$, таке що, $t_{ijk} \in \text{int } C_{sk}$.

Побудуємо індексні множини Ξ_1, Ξ_2 та Ξ_3 елементами яких є усі двійки, трійки та четвірки індексів, що задовольняють відповідно першому, другому і третьому критерію повноти покриття Y .

При побудові математичної моделі виконання першого критерію забезпечується додаванням у систему обмежень задачі нерівностей виду $\varphi^{p_k C_i} \geq 0$, другого критерію – нерівностей виду $\varphi^{t_{ik}^*} \geq 0$, третього критерію – нерівностей виду $\varphi^{t_{Cs}} \geq 0$, де $\varphi^{p_k C_i}, \varphi^{t_{C_j}}$ – функції належності а $\varphi^{t_{\Omega^*}}$, залежно від виду області Ω^* , може бути функцією належно-

сті або квазі-функцією належності [8].

Таким чином, **узагальнена математична модель задачі покриття** може бути записана у вигляді

$$\text{extr}_{u \in W \subset \mathbb{R}^\delta} F(u), \quad (1)$$

$$W = \{u \in \mathbb{R}^\delta : \varphi^{p_k C_i} \geq 0 \forall (i, k) \in \Xi_1,$$

$$\varphi^{t_{ijk}^*} \geq 0, \varphi^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i, j, k) \in \Xi_2, \quad (2)$$

$$\varphi^{t_{ijk}^{C_{sk}}} \geq 0, \varphi^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i, j, s, k) \in \Xi_3, \Psi \geq 0\},$$

де

$$\sigma = 2n + 1,$$

l – кількість додаткових змінних, що залежить від постановки задачі, обраних засобів моделювання відносин між геометричними об'єктами й виду технологічних обмежень задачі,

$u = (u_1, u_2, \dots, u_n, t)$ – вектор змінних задачі,

t – вектор додаткових змінних задачі,

$u_i = (x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$ – параметри розміщення i -го кола,

$\varphi^{p_k C_i}, \varphi^{t_{ijk}^{C_{sk}}}$ – функції належності,

$\varphi^{t_{ik}^*}$ – функції (або квазі-функції) належності (залежно від виду області Ω й обраних засобів моделювання відносин між геометричними об'єктами).

$t_{ijk} = f(u_i, u_j, k), k \in \{1, 2\}$ – точка перетинання окружностей C_i і C_j .

$f(u_i, u_j, k), k \in \{1, 2\}$ – функція, що побудована на основі виразів виду (2.26)-(2.29), яка розраховує координати точок перетинання окружностей C_i і C_j ,

$$\Phi_{-}^{C_i C_j} = 4r^2 - (x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2$$

– псевдонормалізована ρ -функція, що формалізує умови розміщення пари кіл на максимально припустимій відстані $\rho = 0$,

$\Psi(u)$ – система допоміжних обмежень (наприклад, умов належності центрів кіл області Ω).

Нижче виділені й досліджені важливі із практичної точки зору реалізації узагальненої моделі (1)-(2).

Задача мінімізації довжини провідної мережі виникає, наприклад, при оптимізації сенсорної мережі системи пожежної сигналізації. До моделі (1)-(2) вносяться наступні зміни:

1. У систему додаткових обмежень вносяться умови належності сенсорів області з урахуванням мінімально припустимих відстаней до границі області.

2. У систему додаткових обмежень вносяться умови неналежності центрів сенсорів областям заборони.

3. У систему додаткових обмежень задачі вно-

сяться мінімально припустимі відстані між центрами сенсорів.

4. Функція цілі представляє собою довжину траси. Для кільцевого типу провідних з'єднань функція цілі може бути записана у вигляді

$$\rho(u_0, u_{m_1}) + \sum_{i=1}^{n-1} \rho(u_{m_i}, u_{m_{i+1}}) + \rho(u_{m_n}, u_0) \quad \text{де}$$

$m_i \in \{1, 2, \dots, n\}$ – номери кіл, $m_i \neq m_j$, $i \neq j$; доданок

$$\sum_{i=1}^{n-1} \rho(u_{m_i}, u_{m_{i+1}}) \quad \text{– сума відстаней між центрами кіл,}$$

узятих у певній послідовності m_1, m_2, \dots, m_n ;

$\rho(u_0, u_{m_1})$ і $\rho(u_{m_n}, u_0)$ – відстані від точки початку

траси u_0 до центра першого й останнього в обраній послідовності кола відповідно. Для радіального типу провідних з'єднань функція цілі може бути предста-

влена у вигляді
$$\sum_{q=1}^Q (\rho(u_0, u_{m_1^q}) + \sum_{i=1}^{n_q-1} \rho(u_{m_i^q}, u_{m_{i+1}^q}))$$

де Q – кількість шлейфів; $m_i^q \in \{1, 2, \dots, n\}$ – номери

кіл,
$$m_i^q \neq m_j^q, \quad i \neq j, \quad q = 1, 2, \dots, Q,$$

$$m_1^{q_1} \neq m_1^{q_2}, q_1 \neq q_2, q_1, q_2 = 1, 2, \dots, Q, \quad \sum_{q=1}^Q n_q = n;$$
 до-

данок
$$\sum_{i=1}^{n_q-1} \rho(u_{m_i^q}, u_{m_{i+1}^q})$$
 – сума відстаней між

центрами кіл, узятих у певній q -й послідовності

$m_1^q, m_2^q, \dots, m_{n_q}^q$; $\rho(u_0, u_1^q)$ – відстань від точки початку

траси u_0 до центра першого в q -ой послідовності кола. Тут $\rho(u_1, u_2)$ – відстань між точками u_1

й u_2 . Для пошуку послідовності кіл розв'язуються

допоміжні задачі дискретної оптимізації: задача комівояжера для кільцевого типу провідних з'єднань

та задача маршрутизації для радіального типу провідних з'єднань, які виникають, наприклад, при проектуванні систем пожежної сигналізації з урахуванням технологічних вимог і вимог нормативних документів [9, 10].

Задача мінімізації радіуса кіл, що формують покриття – одна з найвідоміших оптимізаційних задач для кругових покриттів і її розв'язанню присвячена значна кількість робіт у світовій літературі.

У тому числі використовуються для підвищення надійності сенсорних покриттів. Оскільки реальний радіус сенсорних зони не змінюється, то після розв'язання задачі збільшується їх взаємне перекриття і таким чином розв'язується **задача оптимізації щільності покриття**. У модель виду (1)-(2) вноситься дуже проста зміна – радіус кіл r оголошується змінним, розмірність задачі збільшується

на 1 і мінімізується функція $F(u) = r$.

Задача корегування покриття виникає при проектуванні сенсорних мереж у випадку, якщо необхідно виправити розміщення кіл, що не задовольняє критерію повноти покриття. Подібні ситуації можуть виникати при розв'язанні задачі формування покриття наближеними методами або в інтерактивному режимі. Позначимо через r_0 радіус сенсорної зони. На першому етапі з малим наперед заданим кроком послідовно збільшується радіус покриваючих кіл доти, поки покриття не стане припустимим. Ця задача завжди має розв'язок, якщо у формуванні покриття бере участь хоча б одне коло. На другому етапі вирішуємо задачу мінімізації радіуса кіл при допоміжному обмеженні $r \geq r_0$. Якщо у результаті досягнуто глобальний мінімум задачі ($r = r_0$), то побудовано припустиме покриття.

Задача корегування неприпустимого розміщення сенсорів виникає при розміщенні сенсорів в області, що отримана наближеними методами або в інтерактивному режимі. У математичну модель задачі виду (1)-(2) водиться додаткова змінна λ . При генерації системи технологічних обмежень на положення сенсорів в області визначається, чи виконуються додаткові обмеження задачі виду $\psi(u) \geq 0$

для стартової точки $u = u^0$. Якщо виконуються, то вони включаються в систему обмежень задачі, у

протилежному випадку в систему обмежень задачі включається обмеження виду $\lambda \leq \psi(u)$. Максимізується функція цілі $F(u) = \lambda$ за умови $\lambda \leq 0$. Якщо

додаткова змінна λ досягає 0, то отримана точка u^* є припустимою для вихідної задачі, оскільки всі обмеження у u^* виконуються.

Задача мінімізації кількості кіл, що покривають область має досить велику практичну значимість, тому що дуже часто виникає при оптимізації покриттів, побудованих наближеними методами або отриманих в інтерактивному режимі. У рамках даного дослідження розглядався наступний підхід: вибирається одне з кіл (випадково або оператором) і виконується спроба зменшення його радіуса до 0 зі збереженням покриття області. Якщо операція завершилася успішно, коло викреслюється з множини кіл, що формують покриття, і здійснюється перехід до оптимізації нового покриття. У протилежному випадку здійснюється спроба видалити інше коло з покриття. Процедура повторюється певне число раз.

Дослідження властивостей побудованої моделі показує, що задача (1)-(2) являє собою задачу негладкої оптимізації, бо функція $\varphi^{ijk\Omega^*}$ в загальному випадку є мінімаксною, область припустимих розв'язків W у загальному випадку є незв'язною

множиною, при цьому кожний компонент зв'язності W може бути багатозв'язним. Задача (1)-(2) нестійка, тобто як завгодно мала зміна початкових даних може привести до значної зміни функції цілі.

Оскільки область W незв'язна і кожний компонент зв'язності може бути багатозв'язним, то задача (1)-(2) у загальному випадку є багатоекстремальною. За способом побудови область припустимих розв'язань W може бути представлена у вигляді

$$W = \bigcup_{k=1}^{\eta} W_k, \text{ де } W_k \text{ описується системою нерівностей}$$

з гладкими функціями, що дозволяє звести розв'язання задачі (1)-(2) до розв'язання набору задач нелінійного програмування виду

$$F(u) = \min\{F(u^{*1}), \dots, F(u^{*k}), \dots, F(u^{*\eta})\}, \quad (3)$$

$$F(u^{*k}) = \min_{u \in W_k \subset R^{\sigma}} F(u). \quad (4)$$

Кожна з η підзадач (4) у загальному випадку багатоекстремальна.

Пропонується **стратегія розв'язання задачі**, заснована на методі мультістарту, що є основним методом випадкового пошуку глобального екстремуму багатомірних функцій.

Нижче для прикладу наведена принципова схема пошуку локального мінімуму для оптимізаційної задачі побудови дрютяної сенсорної мережі для системи пожежної сигналізації:

1. Генерується початкове покриття (одним з наближених методів чи у інтерактивному режимі).

2. Аналізуються повнота покриття області колами. Якщо умови покриття порушуються, то виконується перехід до кроку 3, інакше – перехід до кроку 4.

3. Будується припустиме покриття на основі неприпустимого шляхом збільшення радіуса кіл, що покривають область.

4. Генерується система обмежень і цільова функція задачі корекції неприпустимого покриття виду (1)-(2). Технологічні обмеження на даному етапі ігноруються. Цільова функція – мінімізація радіуса кіл, що покривають, до значення, заданого у вихідній постановці задачі.

5. Розв'язується задача, яка побудована на попередньому кроці. Якщо в результаті вдалося побудувати припустиме покриття, то побудована точка

приймається в якості стартової й здійснюється перехід до кроку 6, інакше аварійне завершення роботи.

6. Аналізується виконання системи технологічних та інших обмежень. Якщо технологічні обмеження порушуються, перехід до кроку 7, інакше перехід до кроку 9.

7. Генерується система обмежень і цільова функція для задачі корекції порушення технологічних обмежень виду (1)-(2).

8. Розв'язується побудована на попередньому кроці задача. Якщо в результаті вдалося виправити порушення технологічних обмежень при збереженні допустимості покриття, то побудована точка приймається в якості стартової й здійснюється перехід до кроку 9, інакше аварійне завершення роботи.

9. Генерується система обмежень і цільова функція для однієї з оптимізаційних задач виду (1)-(2), описаних вище. Конкретний вид моделі визначається постановкою вихідної практичної задачі.

10. Вирішується побудована на попередньому кроці задача нелінійного програмування.

Висновки

Задачі оптимального покриття областей довільної форми колами важко формалізуються і для їх вирішення відсутній єдиний підхід. Ситуація ускладнюється можливою наявністю технологічних обмежень на взаємне розташування кіл і положення кіл щодо області. Тому більшість методів, запропонованих в літературі для розв'язку задачі, є наближеними. Це призводить до втрати оптимальних і локально оптимальних рішень, в результаті чого знижується ефективність отриманих розв'язків. Доступні точні методи реалізовані для окремих випадків задачі. Запропоновані засоби формалізації умов покриття та побудована на їх основі узагальнена математична модель задачі покриття однаковими колами довільної області, реалізація якої охоплює основні задачі кругового покриття, що виникають на практиці, представляють безперечний практичний інтерес.

На базі побудованої математичної моделі запропоновано ефективну стратегію розв'язання задачі, засновану на поєднанні методу мультістарту з набором генераторів обмежень та цільових функцій для основних реалізацій узагальненої моделі.

Список літератури

1. Wang B. Coverage problems in sensor networks: A survey / B. Wang // ACM Comput. Surv. – 2011. – 43. – P. 1–56.
2. Стоян Ю.Г. Покриття многоугольной области минимальным количеством одинаковых кругов заданного радиуса / Ю.Г. Стоян, В.Н. Пацук // Доп. НАН України. – 2006. – Вип. 3. – С. 74–77.
3. Tarnai T. Covering a square by equal circles / T. Tarnai, Zs. Gaspar // Elem. Math. 1995. – V. 50. – P. 167–170.
4. Брусов В.С., Пиявский С.А. Вычислительный алгоритм оптимального покрытия областей плоскости / В.С. Брусов, С.А.Пиявский // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1971. – Вип. 2 (11). – С. 304–312.
4. Киселева Е.М. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств / Е.М. Киселева, Л. И. Лозовская, Е.В. Тимошенко // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – Вип. 3. – С. 98–117.

6. Ушаков В. Н. Алгоритмы оптимального покрытия множеств на плоскости R^2 / В. Н. Ушаков, П. Д. Лебедев // Вестн. Удмуртск. ун-та. Матем. Мех. Компьют. науки, – 2016. – Вып. 3 (26), – С. 258–270.
7. Кomyak V. The problem of covering the fields by the circles in the task of optimization of observation points for ground video monitoring systems of forest fires / V. Komyak, A. Pankratov, V. Patsuk, A. Prikhodko // An international quarterly journal –2016. – No.2 (5). – P. 133-138.
8. Antoshkin, O. Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape / O. Antoshkin, A. Pankratov // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Вып. 6(4), – С. 45-53.
9. Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5–56–2014 [Чинний від 2015-07-01]. К. : ДП «Укрархбудінформ». 2014. 127 с.
10. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтажування, введення в експлуатацію, експлуатування і технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2004, IDT) : ДСТУ-N CEN/TS 54-14:2009. [Чинний від 2010-01-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2009. 68 с.

References

1. Wang, B. (2011), Coverage problems in sensor networks: A survey. *ACM Comput. Surv.*, 43. – P. 1–56.
2. Stoyan, YU.G., Patcuk, B.H. (2006), “Pokrytie mnogougol'noj oblasti minimal'nym kolichestvom odinakovykh krugov zadannogo radiusa” [Covering a polygonal area with a minimum number of identical circles of a given radius], *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine* – No. 3, pp. 74-77.
3. Tarnai, T., Gaspar, Zs. (1995), Covering a square by equal circles. *Elem. Math.* – V. 50. – P. 167-170.
4. Brusov, B.S., Piyavskij, S.A. (1971), “Vychislitel'nyj algoritm optimal'nogo pokrytiya oblastej ploskosti” [Computational algorithm for optimal coverage of plane areas], No. 2 (11), pp. 304-312.
5. Kiseleva, E.M., Lozovskaya, L.I., Timoshenko, E.V. (2009), “Reshenie nepreryvnykh zadach optimal'nogo pokrytiya sharami s ispol'zovaniem teorii optimal'nogo razbieniya mnozhestv” [Solving continuous problems of optimal ball coverage using the theory of optimal partitioning of sets], *Cybernetics and Systems Analysis.* – No. 3, pp. 98-117.
6. Ushakov, V.N., Lebedev, P.D. (2016), Algoritmy optimal'nogo pokrytiya mnozhestv na ploskosti R^2 [Algorithms for optimal coverage of sets on the plane in R^2], *Vestn. Udmurtsk. in-ta. Matem. Mekh. Komp'yut. nauki*, No 3 (26), pp. 258–270.
7. Komyak, V., Pankratov, A., Patsuk, V., Prikhodko, A. (2016), The problem of covering the fields by the circles in the task of optimization of observation points for ground video monitoring systems of forest fires, *An international quarterly journal*, No.2 (5), pp. 133-138.
8. Antoshkin, O., Pankratov, A. (2016), Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – No. 6(4), pp. 45-53.
9. Fire protection systems: DBN V.2.5-56-2014 [Effective from 2015-07-01]. K.: Ukhbudinform, State Enterprise. 2014. 127 p.
10. Fire alarm and warning systems. Part 14. Guidelines for the construction, design, installation, commissioning, operation and maintenance (CEN / TS 54-14: 2004, IDT): DSTU-N CEN / TS 54-14: 2009. [Effective from 01/01/2010]. K.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2009. 68 p.

Надійшла до редколегії 00.00.2018
Схвалена до друку 00.00.2018

Відомості про авторів:

Антошкін Олексій Анатолійович

викладач

Національного університету цивільного захисту

України,

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2481-2030>

e-mail: antoshkin@nuczu.edu.ua

Панкратов Олександр Вікторович

доктор технічних наук

старший науковий співробітник Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>

e-mail: pankratov2001@yahoo.com

Information about the authors:

Oleksiy Antoshkin

Instructor

National University of Civil Protection of

Ukraine

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2481-2030>

e-mail: antoshkin@nuczu.edu.ua

Olexander Pankratov

Senior Research

Senior Research Associate of A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of

Ukraine,

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>

e-mail: pankratov2001@yahoo.com

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ ОБЛАСТИ ИДЕНТИЧНЫМИ КРУГАМИ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ

А.А. Антошкин, А.В. Панкратов

Рассмотрена задача покрытия произвольной области идентичными кругами. На основе формализации критериев полноты покрытия построена математическая модель задачи кругового покрытия в виде задачи негладкой оптимизации. Область допустимых решений задачи описана системой неравенств, которая возникает при записи функций принадлежности для формирования условий покрытия и дополнительной системой неравенств для учета технологических ограничений, записывается с помощью ϕ -функций. Негладкость модели возникает вследствие минимаксного характера некоторых ϕ -функций и функций принадлежности. Разработаны средства генерации множества реализаций обобщенной математической модели покрытия для широкий класса прикладных задач. Предложена стратегия решения возникающих задач нелинейного программирования.

Ключевые слова: круговое покрытие, критерий полноты, ϕ -функции, функции принадлежности, математическая модель, нелинейная оптимизация.

A GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF THE PROBLEMS OF COVERING THE AREA BY IDENTICAL CIRCLES AND ITS MAJOR IMPLEMENTATIONS

O. Antoshkin, O. Pankratov

There is a rapidly growing interest in an effective solution to the problems of optimal coverage of regions of arbitrary shape by circles at the present stage. This is due to the variety of practical applications, the difficult formalizability of the conditions of the problem and the lack of a common approach for its solution. The situation is complicated by the presence of technological limitations on the mutual position of the circles and the position of the circles relative to the region. Most of the approaches proposed in the literature are heuristic for the reasons listed above. This leads to the loss of optimal and locally optimal solutions. The efficiency of solving the problem decreases as a result. The available exact approaches are implemented for particular cases of the problem. Thus, it seems relevant to build an adequate mathematical model of the problem of covering with identical circles of an arbitrary area, whose implementation covers the main tasks of a circular covering that arises in practice. The problem of covering an arbitrary region with identical circles is considered in the paper. A generalized mathematical model of the circular coverage problem is constructed in the form of a nonsmooth optimization problem based on the formalization of the criteria for completeness of the coverage. The feasible region of the problem is described by a system of inequalities consisting of two subsystems. The first of them occurs when writing membership functions for the formation of coating conditions. The second, an additional system of inequalities, serves to take into account technological constraints and is written using ϕ -functions. The model is nonsmooth due to the minimax nature of some ϕ -functions and membership functions. The tools for generating a set of implementations of a generalized mathematical model have been developed, covering a wide class of applied problems, including such problems: minimizing the length of wires; minimizing the radius of the circles; minimizing the number of laps; adjusting invalid coverage and adjusting invalid sensor placement. An effective strategy for solving the problem is proposed, based on the combination of the multi-start method with a set of constraint generators and objective functions for the basic implementations of the generalized model.

Keywords: circular coverage, completeness criterion, ϕ -functions, membership functions, mathematical model, nonlinear optimization.

Алфавітний покажчик

Антошкін О.А.	44	Лада Н.В.	101	Сідченко С.О.	74
Величко О.М.	106	Лазарев О.О.	82	Скорікова І.Г.	50
Герасименко М.Д.	37	Лубко Д.В.	15	Сурков К.Ю.	118
Голян В.В.	22	Мельник О.Г.	101	Тарнополова В.В.	7
Гриб Д.А.	64	Мещеряк О.О.	106	Тітов С.В.	58
Дацків Ю.І.	112	Мілевський С.В.	28	Тітова О.В.	58
Демідов Б.О.	64	Мілов О.В.	28	Ткачов А.М.	64
Добролюбова М.В.	106	Невмержицький І.М.	112	Федотова-Півень І.М.	101
Дубницький В.Ю.	50	Нікітович Д.В.	92	Фесенко Г.В.	50
Залкін С.В.	74	Оленин О.М.	112	Хударковський К.І.	74
Зінов'єва О.Г.	15	Панкратов О.В.	44	Черепнєв І.А.	50
Какава Д.О.	7	Пєвцов Г.В.	74	Шаров О.В.	15
Калачова В.В.	118	Поморцева О.Є.	37	Шевкун С.М.	106
Качан М.В.	118	Пустовіт М.О.	101	Шеремета О.П.	82
Король О.Г.	28	Самойленко Д.І.	22	Шубін Є.В.	64
Костенко П.Ю.	7	Сидоренко Д.С.	112	Яцковська Р.О.	92
Красиленко В.Г.	82, 92	Ситніков Д.Е.	58	Яцковський В.І.	92
Кучеренко Ю.Ф.	64	Ситнікова П.Е.	58		

Алфавітний покажчик

Альравашдех Ракі	103	Карнишов К.Р.	41	Петрушенко М.М.	47
Баришев І.В.	7	Касім Аббуд Махді.....	66	Печерська А.І.	57
Барсуков О.М.	19	Клименко В.М.	47	Радван Мухамед Жавад	
Беспалов Ю.Г.	57	Колеснікова Т.А.	29	Кадім	7
Бих А.І.....	57	Корсун В.І.	140	Ружин П.О.	140
Борисенко Є.А.....	92	Костенко П.Ю.....	19	Семенець В.В.	29
Будур О.М.....	47	Кудрявцев В.В.	47	Сіногін А.М.	29
Букраба О.М.	41	Курбанов Н.А.....	157	Сотник С.В.	29
Василишин В.І.....	13	Кушніренко Н.І.	41	Спуднова Д.В.....	98, 150
Величко О.М.	77	Левін С.Ф.	120	Стародубцев М.Г.	29
Висоцька О.В.....	57	Луняка В.Д.	13	Строкоус А.В.	35
Владимирова Т.М.	84	Львов С.Г.....	92	Тарасова А.Л.	57
Гордієнко Т.Б.	77	Люттов В.В.	13	Тюріна Ю.Г.	98
Горкунов Б.М.	92	Мазепа Ф.С.	41	Усс М.Л.	7
Дамінов А.А.	157	Матвієнко Р.В.....	57	Хакимов О.Ш.	157
Данилов О.О.	98	Мельник О.Ф.	114	Чеховський С.А.....	161
Дегтярьов О.В.	103	Нікул С.О.	47	Чуніхіна Т.В.	109
Дербаба В.А.....	140	Новосолов О.А.....	128	Шалабанова М.С.	84
Запорожець О.В.	103	Павезе Ф.....	134	Шаповалов О.В.	19
Захаров І.П.....	109	Папченко В.Ю.	109	Шинкарук Х.М.....	161
Ісаєв В.В.	114	Пацера С.Т.	140	Яковенко О.О.	41

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Випуск 1 (156)

Відповідальний за випуск *Г.М. Зубрицький*
Комп'ютерна верстка *В.В. Кірвас*
Комп'ютерний дизайн обкладинки *І.В. Львіна*
Техн. редактор *В.В. Кірвас* Коректор *І.С. Ряполов*
Формат 60×84/8 Ум.-друк. арк. – 14,6
Підписано до друку 28.02.2019



Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 22357 – 12257ПП від 30.09.2016 р.
Ціна договірна Тираж 150 пр. Зам. 0228-19
Адреса редакції: 61023, Харків-23, а/с 11800
тел. (057) 704-91-97, (067) 998-02-70 e-mail: red@hups.mil.gov.ua red.hnups@gmail.com

Видавництво Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5370 від 30.06.2017 р.
Адреса видавництва: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009 р.
61144, Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137
тел. (057) 778-60-34 e-mail: bookfabrik@mail.ua