



ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІСТ-2019

МАТЕРІАЛИ

8-ої міжнародної науково-технічної конференції

9-14 вересня 2019 р
Коблеве-Харків, Україна

Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України
Люблінський відділ Польської Академії Наук
Представництво „Польська академія наук” у Києві
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харківський національний університет міського господарства ім. А.М. Бекетова
AGH науково-технологічний університет в Кракові
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
Одеський національний політехнічний університет
Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника
Українська нафтогазова академія
Українська Федерація Інформатики
Академія Наук Прикладної Радіоелектроніки
Білоруський державний університет інформатики та радіоелектроніки
Білоруський національний технічний університет
Національний університет цивільного захисту України
Запорізький національний технічний університет

«Інформаційні системи та технології» ICT-2019

МАТЕРІАЛИ

8-ї Міжнародної науково-технічної конференції

**9-14 вересня 2019 р
Коблеве-Харків, Україна**

«INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES» IST-2019

**Proceedings
of the 8-th International Scientific and Technical Conference
September 9-14, 2019
Kobleve-Kharkiv, Ukraine**

Харків 2019

УДК: 004.9

Наукові редактори: *А.Д. Тевяшев - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Л.Б. Петришин - доктор технічних наук, професор (AGH University of Science and Technology; Прикарпатський національний університет ім.В.Стефаніка)
В.Г. Кобзєв – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (Харківський національний університет радіоелектроніки)

Рецензенти:

Секція 1. *В.О. Філатов - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 2. *В.В. Безкоровайний - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 3. *Ю.О. Гунченко - доктор технічних наук, професор (Одеський національний університет ім. І.І Мечникова);*
Секція 4. *В.П. Машталір - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
Секція 5. *О.О. Шумейко - доктор технічних наук, професор (Дніпровський державний технічний університет);*
Секція 6. *Н.В. Шаронова - доктор технічних наук, професор (Національний технічний університет «ХПІ»);*
Секція 7. *В.А. Лужецький - доктор технічних наук, професор (Вінницький національний технічний університет);*
Секція 8. *Є.В. Бодянський - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки)*

Матеріали статей рецензовано та опубліковано в авторській редакції.

Інформаційні системи та технології: матеріали статей 8-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Коблеве - Харків, 09-14 вересня 2019 року / наук. ред. А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзєв. – Х.: ХНУРЕ, 2019. – 308 с.

ISBN 987-617-7683-63-5

Збірник містить матеріали статей Міжнародної науково-технічної конференції з проблем сучасних інформаційних систем та технологій.

Матеріали представляють інтерес для фахівців, науковців і аспірантів, діяльність яких пов'язана з розробкою та впровадженням сучасних інформаційних систем і технологій.

© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2019
© Автори статей, 2019

Вплив Властивостей Геометрії Області на Генерацію Сітки

Лариса Халанчук
кафедра вищої математики і фізики
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Мелітополь, Україна
larisavh2201@gmail.com

Сергій Чопоров
кафедра програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
s.choporoff@znu.edu.ua

Influence of Area Geometry Properties on Grid Generation

Larysa Khalanchuk
dept. of Further Mathematics and Physics
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
Melitopol, Ukraine
larisavh2201@gmail.com

Serhii Choporov
dept. of Software Engineering
Zaporizhzhya National University
Zaporizhzhya, Ukraine
s.choporoff@znu.edu.ua

Анотація — Даний рукопис є результатом дослідження генерації структурованих дискретних моделей (сіток) для розв'язку крайових задач на прикладі еліптичного диференціального рівняння Пуассона. Розглянуто властивості сіток та вимоги до програм їхньої генерації. Чисельний розв'язок рівняння Пуассона виконано методом Зейделя на чотирикутній області для двох варіантів початкової сітки. Емпіричним методом було підтверджено вплив опуклості та вгнутості області на згущення комірок сітки та досліджено цей вплив на швидкість утворення сітки і залежність цієї швидкості від початкового вигляду сітки. Комп'ютерне моделювання проводилось на базі пакету програм Scilab.

Abstract — This manuscript is the result of a study of the generation of structured discrete models for the solution of boundary value problems using the Poisson elliptic differential equation. The properties of the grids and the requirements for their generation programs are considered. The numerical solution of the Poisson equation is made by the Seidel method on a quadrilateral region for two variants of the initial grid. The effect of convexity and concavity of the area on the thickening of the grid cells was confirmed by empirical method and the effect on the velocity of the grid formation and the dependence of this velocity on the initial appearance of the grid was investigated. Computer simulation was based on the Scilab software package.

Ключові слова — структурована дискретна модель; сітка; рівняння Пуассона; опуклість; вгнутість; трансфінитна інтерполяція; рівномірна сітка; чисельний розв'язок; метод Зейделя; комп'ютерне моделювання

Keywords — structured discrete model; grid; the Poisson equation; convexity; concavity; transfinite interpolation;

uniform grid; numerical solution; the Seidel method; computer simulation

I. ВСТУП

Розв'язування багатьох прикладних задач виконується за допомогою чисельних алгоритмів, найбільш поширені серед них використовують ідею розбиття області, в якій досліджуються деякі процеси, на дуже маленькі стандартні комірки (криволінійні трикутники, чотирикутники, тетраедри, призми і т. ін.). Сукупність таких комірок утворює структуровану дискретну модель (сітку), а їхні вершини – вузли сітки. Комірки сітки та їх вузли дискретно моделюють геометрію досліджуваної області і є основою, на якій відбувається заміна математичних моделей досліджуваних процесів на систему алгебраїчних рівнянь. Чисельний розв'язок цих рівнянь дає наближене значення необхідних характеристик досліджуваних явищ.

Одним з найважливіших етапів обчислювальних методів є створення алгоритмів, що дискретно моделюють фізичні закони у вузлах та комірках сітки. Об'єктами застосування таких методів є задачі з простими областями, де різницєва сітка може бути отримана у явному вигляді аналітично за допомогою трансфінитної інтерполяції.

При розв'язках задач в складних областях зі складною конфігурацією зон особливостей фізичних величин найбільш складним є етап побудови сіток, які повинні адаптуватися до межі області розрахунків і до особливостей розв'язків задачі. Наприклад, комірки сітки не повинні сильно деформуватися, але водночас повинні



Інформаційні системи та технології ICT-2019

Секція 2.

Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах.

згущуватися в зонах швидких змін характеристик досліджуваних явищ. Побудову таких сіток можливо виконати за допомогою еліптичних, варіаційних та неструктурованих методів. При цьому налагодження сучасних програм побудови сіток може займати декілька тижнів, а час розрахунку самої сітки можна порівняти з часом розрахунку задачі. Тому поруч з чисельним алгоритмом не менш важливим елементом обчислювального процесу є технологія побудови сіток, за допомогою якої можна більш успішно та економічно розв'язувати прикладні задачі. Тому дослідження з проблеми створення універсальних технологій генерації сіток є одними з найбільш пріоритетних і затребуваних в сучасній прикладній математиці, оскільки на їх основі можуть бути розроблені автоматизовані уніфіковані комп'ютерні програми побудови сіток, які будуть допомагати при розв'язанні актуальних прикладних задач. Ці програми також актуальні для впровадження в науково-дослідницьких організаціях, фірмах, корпораціях і закладах вищої освіти, що займаються розробкою передових технологій на основі чисельних розрахунків рівнянь, що описують фізичні, хімічні та біологічні процеси [1].

Розробкою технологій і комп'ютерних програм автоматичної побудови сіток найбільш активно почали займатися в університетах США ще з початку 90-х років [2] в рамках глобальної національної ініціативи зі створення потужних комп'ютерних центрів і автоматизованих комп'ютерних технологій чисельного розв'язку прикладних задач [3]. Ці технології ґрунтуються на чисельному розв'язанні зворотних рівнянь Пуассона для генерації структурованих сіток та на фронтальному і Делоне методах для неструктурованих сіток. Огляд сучасних методів генерації структурованих дискретних моделей (сіток) для розв'язку крайових задач було виконано в праці [4].

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Основними властивостями сіток, що враховуються в прикладних задачах і повинні бути реалізовані в технологіях їх побудови, є:

- Регулярність (наближеність до ортогональності ліній сітки, невідродженість і мала деформація);
- Гладкість (малі відмінності за формою та розмірами сусідніх комірок);
- Згущення вузлів і комірок сітки в зонах великих змін функції;
- Згущення вузлів в зонах необхідних значень функції (зони більших похибок апроксимації чи інтерполяції);
- Узгодженість граней комірок з векторними полями.

Природніми вимогами ефективності, що пред'являються до комп'ютерних програм побудови сіток, є наступні:

- Надійність (простота, зручність);

- Універсальність (реалізація всіх необхідних властивостей сіток, можливість бистрої та уніфікованої їх побудови для найрізноманітніших додатків в досліджуваних областях);
- Автоматизація (мінімальне використання ручної праці при налагодженні програм побудови сіток, якщо виникає необхідність перейти до нової області чи задачі);
- Інваріантність (забезпечення незалежності розподілу вузлів сіток від параметризації фізичної геометрії).

Щоб забезпечити вищеперераховані вимоги до програм та якості сіток, необхідна ефективна базисна математична модель, яка дозволила б уніфіковано забезпечити індивідуальні та збалансовані властивості сіток.

Для побудови сіток в фізичній геометрії з довільною межею широке застосування отримали диференціальні методи, що ґрунтуються на розв'язанні еліптичних та параболічних рівнянь. Такі рівняння мають багато переваг, а саме:

- Вони дозволяють отримати гладкі сітки;
- Вони враховують розподіл вузлів сітки на межі фізичної геометрії, не розповсюджують всередину особливості на межі;
- Для них існує менша небезпека перехрещення комірок сітки;
- Їх можна ефективно розв'язувати різними існуючими методами.

Застосування параболічних та еліптичних систем дозволяє отримувати близькі до ортогональних лінії. Еліптичні рівняння також використовуються для згладжування неструктурованих сіток або сіток, що отримані алгебраїчними чи гіперболічними методами.

Найбільш відомими еліптичними рівняннями є узагальнені рівняння Пуассона.

У найпростішому двовимірному випадку використовується рівняння Пуассона у вигляді системи

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} = P(\xi, \eta), \\ \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} = Q(\xi, \eta), \end{cases}$$

де P і Q – деякі функції, що використовуються для контролю згущення внутрішніх точок сітки. Розв'язок цієї системи в розрахунковій області системи координат (ξ, η) отримує вигляд



Інформаційні системи та технології ICT-2019

Секція 2.

Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах.

$$g_{22} \frac{\partial^2 x}{\partial \xi^2} - 2g_{12} \frac{\partial^2 x}{\partial \xi \partial \eta} + g_{11} \frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + g \left(P \frac{\partial x}{\partial \xi} + Q \frac{\partial x}{\partial \eta} \right) = 0,$$

$$g_{22} \frac{\partial^2 y}{\partial \xi^2} - 2g_{12} \frac{\partial^2 y}{\partial \xi \partial \eta} + g_{11} \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} + g \left(P \frac{\partial y}{\partial \xi} + Q \frac{\partial y}{\partial \eta} \right) = 0,$$

де

$$g_{11} = \left(\frac{\partial x}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \xi} \right)^2, \quad g_{12} = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta},$$

$$g_{22} = \left(\frac{\partial x}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta} \right)^2, \quad g = \left(\frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} \right)^2.$$

У загальному випадку вказані рівняння розв'язуються чисельно, використовуючи, наприклад, різницьві схеми.

Для розв'язання диференціального рівняння за допомогою різницьвих схем можна використовувати методи простих ітерацій, Зейделя тощо, враховуючи, що вказані рівняння не є лінійними. Оскільки метод Зейделя має кращу збіжність відносно простих ітерацій, тому для досліджень було обрано метод Зейделя.

Можливими способами побудови початкової дискретної моделі є, наприклад, рівномірна сітка та сітка, отримана в результаті трансфінітної інтерполяції.

Раніше було вивчено [1], що опуклість і вгнутість досліджуваної області впливають на згущення комірок сітки, а саме: вузли сітки, що побудовано на двовимірній поверхні, мають згущення біля вгнутої частини межі області і розріджуються біля опуклої частини межі, причому опуклість та вгнутість розуміють в сенсі геометрії поверхні.

Постає питання: чи може опуклість чи вгнутість поверхні впливати на інші особливості під час генерації сітки? Для відповіді на це питання було проведено емпіричне дослідження.

Побудова сітки виконана на чотирикутній області, в якій дві протилежні сторони були прямими, а дві інші визначалися кривими Безьє. Було змодельовано 11 різних випадків, які відрізнялися властивостями форми області (опуклість, угнутість), для кожного з яких досліджено по 5 різних випадків кількості точок розбиття N .

Критерієм вибору оптимального розбиття була швидкість збіжності методу за умови квадратичного відхилення по x і y не більшого, ніж 0,001.

При дослідженні для опуклої області було згенеровано сітку (Рис. 1) та отримано дані про кількість кроків циклу (Табл. I) для побудови цієї сітки, якщо початкову сітку було зроблено за допомогою рівномірного розбиття та трансфінітної інтерполяції. Це дало змогу порівняти вплив початкового вибору сітки на швидкість генерації результативної сітки за вказаними умовами збіжності.

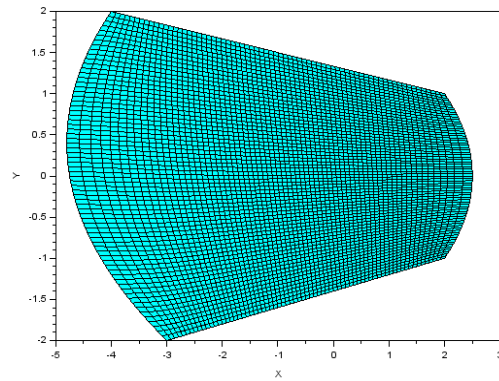


Рис. 1. Результат генерації сітки для опуклої області

ТАБЛИЦЯ I. Кількість кроків циклу для отримання сітки опуклої області, кожна сторона якої розділена на N точок

N	Рівномірне розбиття	Трансфінітна інтерполяція
31	472	639
41	768	1045
51	1113	1524
61	1503	2068
71	1932	2670

Аналогічні дослідження (Табл. II) були проведені для вгнутої області (Рис. 2).

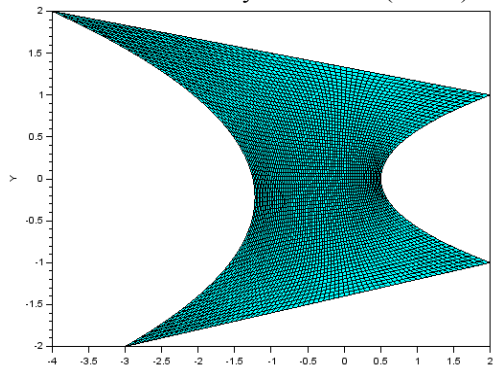


Рис. 2. Результат генерації сітки для вгнутої області

ТАБЛИЦЯ II. Кількість кроків циклу для отримання сітки вгнутої області, кожна сторона якої розділена на N точок

N	Рівномірне розбиття	Трансфінітна інтерполяція
31	368	184
41	622	287
51	932	403
61	1292	532
71	1700	672



Також була розглянута область, де одна сторона була опуклою, а інша вгнутою (Рис. 3). Результати наведені в табл. III.

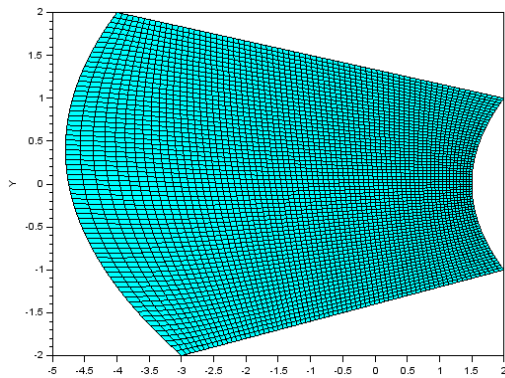


Рис. 3. Результат генерації сітки для області, що має опуклу та вгнуту сторони

ТАБЛИЦЯ III. Кількість кроків циклу для отримання сітки опуклої та вгнутої області, кожна сторона якої розділена на N точок

N	Рівномірне розбиття	Трансфінитна інтерполяція
31	541	804
41	872	1336
51	1254	1973
61	1679	2707
71	2140	3530

Реалізація розв'язку на базі скінченних різниць методу простих ітерацій виконана за допомогою пакету програм Scilab.

III. ВИСНОВКИ

Емпіричне дослідження дозволило зробити висновок, що вибір початкової моделі залежить від форми області: рівномірна сітка є кращою для опуклої, а трансфінитна інтерполяція – для вгнутої області, за наявності однієї опуклої та однієї вгнутої сторони перевагу отримала рівномірна сітка.

Аналізуючи дані кількості кроків циклу для отримання сітки (Табл. I, Табл. II, Табл. III), можна зробити висновок про швидкість побудови сітки, яка залежить від форми області, але є спільною для двох запропонованих початкових сіток (рівномірна та побудована за допомогою трансфінитної інтерполяції): найшвидшою була побудова для вгнутої області, повільнішою для опуклої, найповільнішою для комбінованого варіанту.

Наочним є підтвердження (Рис. 1, Рис. 2, Рис. 3) властивості згущення сітки у вгнутій частині області та розрідження в опуклій частині.

Отримані результати можна використовувати при комп'ютерній автоматизації побудови структурованих дискретних моделей (сіток) для розв'язання крайових задач з урахуванням властивостей геометрії досліджуваної області.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В. Д. Лисейкин. Разностные сетки. Теория и приложения. Монография. Новосибирск, 2014.
- [2] J. F. Tompson. A reflection on grid generation in the 90s: trends, needs influences: Numerical Grid Generation in CFD. Mississippi State University, 1996. Vol. 1, pp 1029-1110.
- [3] H. J. Raveche, D. H. Lawrie, A. M. Despain. A National Computing Initiative. SIAM. Philadelphia, 1987.
- [4] Khalanchuk L.V., Choporov S.V. Review of discrete models of geometric objects generation methods. Visnyk of Zaporizhzhya National University. Physical and Mathematical Sciences. Zaporizhzhya: ZNU. №1. pp. 139-152. 2018.



Секція 2. Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах

Section 2. Mathematical and computer modeling in information systems

	55
Андрій Єрохін, Георгій Зацеркляний МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ПРОЦЕСУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ БУДІВЛІ	56
Людмила Кириченко, Петр Зинченко КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО АНАЛИЗА	60
Игорь Конох, Наталия Истомина МОДЕЛЬ САМООБУЧАЮЩЕЙСЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРЕДИКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ	63
Андрій Левченко АЛГОРИТМИ БАЗОВИХ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ДВІЙКОВИХ ЧИСЕЛ ПРЕДСТАВЛЕНИХ ЯК МАСИВИ	67
Олег М. Литвин, Олександра Литвин, Марк Бобков ТЕСТУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ СУМ ФУР'Є ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ 2D ЗОБРАЖЕНЬ З ОБЧИСЛЕННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОЕКЦІЙ	72
Володимир Луханін КОНСТРУКТИВНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОДНОГО КЛАСУ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ НЕЛІНІЙНИХ ЕЛІПТИЧНИХ РІВНЯНЬ	79
Олена Двірна ВИКОРИСТАННЯ ГРІД-ГРАФІВ КОМБІНАТОРНИХ КОНФІГУРАЦІЙ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	85
Алла Нагорная ЗАДАЧА КВАДРАТИЧНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА МНОЖЕСТВЕ РАЗМЕЩЕНИЙ	89
Лариса Халанчук, Сергій Чопоров ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОМЕТРІЇ ОБЛАСТІ НА ГЕНЕРАЦІЮ СІТКИ	93
Сергій Чопоров, Андрій Лісняк, Оксана Чопорова МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРЯМОКУТНОЇ ПЛАСТИНИ З КРУГЛИМ ВИРІЗОМ	97
Ирина Оксанич, Игорь Шевченко СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА И БИЗНЕС-ОПЕРАЦИИ	100
Павел Тьютюк, Игорь Шевченко О КЛАССИФИКАЦИИ ЗОН И СИТУАЦИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ	102

Секція 3. Інформаційні технології сталого розвитку. Геоінформаційні системи та технології

Section 3. Information technologies of sustainable development. Geo-information systems and technologies

	104
Анна Бакурова, Олеся Юськів РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЛАНІВ ІНВЕСТИЦІЙ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	105

Наукове видання

**«Інформаційні системи та технології»
ІСТ-2019**

М А Т Е Р І А Л И

8-ї Міжнародної науково-технічної конференції

9-14 вересня 2019

Коблеве-Харків, Україна

**«INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES»
IST-2018**

**Proceedings
of the 8-th International Scientific and Technical Conference**

September 9–14, 2019

Kobleve-Kharkiv, Ukraine

**Наукові редактори: А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзев
Коректор – Н.Р. Сухина
Комп'ютерна верстка – Ю.В. Міщеряков, Т.Є. Сергієнко**

**Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14,
ХНУРЕ**

Підписано до друку 14.09.2019.

Папір 80 г/м².

**Умов.-друк. арк. – 19,25. Обл.-вид. арк. – 17,9.
Наклад 150. Зам. № 574 від 14.09.2019.**

**Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057) 756-53-25
www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua**