

Міністерство освіти і науки України

Херсонський національний технічний університет

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Т. 4, № 2.1

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 8 від 17 червня 2021 року)

Журнал включений до Реєстру наукових фахових видань України категорії Б
на підставі Наказу МОН України від 17 березня 2020 року № 409.

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:
Google Scholar, Index Copernicus International Journal Master List,
CiteFactor Academic Scientific Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky).

Херсон 2021

Редакційна рада

Головний редактор

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету.

Заступники головного редактора

Розов Ю.Г.

д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, перший проректор Херсонського національного технічного університету.

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету ім. П. Могили (м. Миколаїв).

Литвиненко О.І.

к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та фіз.-мат. дисциплін Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова.

Відповідальний секретар

Омельчук А.А.

к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних управляючих та обчислювальних систем Університету державної фіскальної служби України (Ірпінь).

Члени редакційної колегії за спеціальностями:

Іноземні фахівці

Бабічев С.А.

д.т.н., доцент, (Чехія)

Гучек П.Й.

д.т.н., доцент, (Польща)

113 – Прикладна математика

Андрейцев А.Ю.

к.ф.-м.н., доцент

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент

Гвоздева І.М.

д.т.н., професор

Гнатушенко Вікт.В.

д.т.н., доцент

Ляшенко В.П.

д.т.н., професор

Миргород В.Ф.

д.т.н., доцент

Різник В.В.

д.т.н., професор

Стрельнікова О.О.

д.т.н., професор

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., професор

122 – Комп'ютерні науки

Борисенко В.Д.	д.т.н., професор
Ванін В.В.	д.т.н., професор
Вірченко Г.А.	д.т.н., професор
Гнатушенко В.В.	д.т.н., професор
Гумен О.М.	д.т.н., професор
Корчинський В.М.	д.т.н., професор
Литвиненко В.І.	д.т.н., професор
Мартин Є.В.	д.т.н., професор
Найдиш А.В.	д.т.н., професор
Несвідомін В.М.	д.т.н., професор
Пилипака С.Ф.	д.т.н., професор
Тулученко Г.Я.	д.т.н., професор
Устенко С.А.	д.т.н., професор
Шоман О.В.	д.т.н., професор

126 – Інформаційні системи та технології

Аль-Амморі А.Н.	д.т.н., професор
Баклан І.В.	к.т.н., доцент
Бень А.П.	к.т.н., доцент
Левикін В.М.	д.т.н., професор
Литвиненко О.І.	к.т.н., доцент
Мороз Б.І.	д.т.н., професор
Стеценко І.В.	д.т.н., професор
Шерстюк В.Г.	д.т.н., професор

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Алексєєв М.О.	д.т.н., професор
Бардачов Ю.М.	д.т.н., професор
Головко В.І.	д.т.н., професор
Кондратець В.О.	д.т.н., професор
Мещеряков Л.І.	д.т.н., професор
Омельчук А.А.	к.т.н.
Осадчий С.І.	д.т.н., професор
Рожков С.О.	д.т.н., професор
Рудакова Г.В.	д.т.н., професор

Інші спеціальності

Дудченко О.М.	к.т.н., професор
Літвінова М.Б.	д.пед.н., к.ф.-м.н., професор
Мельник І.В.	д.т.н., професор
Розов Ю.Г.	д.т.н., професор

ISSN 2618-0332

Министерство образования и науки Украины

Херсонский национальный технический университет

ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т. 4, № 2.1

Рекомендовано к печати Ученым советом
Херсонского национального технического университета
(протокол № 8 от 17 июня 2021 года)

Журнал включен в Реестр научных специализированных изданий Украины
категории Б на основании Приказа МОН Украины от 17 марта 2020 года № 409.

Журнал включен в наукометрические базы, электронные библиотеки и репозитории:
Google Scholar, Index Copernicus International Journal Master List,
CiteFactor Academic Scientific Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky).

Херсон 2021

Редакционный совет

Главный редактор

Астионенко И.А.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры высшей математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета.

Заместители главного редактора

Розов Ю.Г.

д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, первый проректор Херсонского национального технического университета.

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, профессор кафедры интеллектуальных информационных систем Черноморского национального университета им. П. Могилы (г. Николаев).

Литвиненко А.И.

к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и физ.-мат. дисциплин Херсонского филиала Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.

Ответственный секретарь

Омельчук А.А.

к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных управляющих и вычислительных систем Университета государственной фискальной службы Украины (Ирпень).

Члены редакционной коллегии по специальностям:

Иностранные специалисты

Бабичев С.А.

д.т.н., доцент, (Чехия)

Гучек П.И.

д.т.н., доцент, (Польша)

113 – Прикладная математика

Андрейцев А.Ю.

к.ф.-м.н., доцент

Астионенко И.А.

к.ф.-м.н., доцент

Гвоздева И.М.

д.т.н., профессор

Гнатушенко Викт.В.

д.т.н., доцент

Ляшенко В.П.

д.т.н., профессор

Миргород В.Ф.

д.т.н., доцент

Ризнык В.В.

д.т.н., профессор

Стрельникова Е.А.

д.т.н., профессор

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., профессор

122 – Компьютерные науки

Борисенко В.Д.	д.т.н., профессор
Ванин В.В.	д.т.н., профессор
Вирченко Г.А.	д.т.н., профессор
Гнатушенко В.В.	д.т.н., профессор
Гумен Е.Н.	д.т.н., профессор
Корчинский В.М.	д.т.н., профессор
Литвиненко В.И.	д.т.н., профессор
Мартин Е.В.	д.т.н., профессор
Найдыш А.В.	д.т.н., профессор
Несвидомин В.Н.	д.т.н., профессор
Пилипака С.Ф.	д.т.н., профессор
Тулученко Г.Я.	д.т.н., профессор
Устенко С.А.	д.т.н., профессор
Шоман О.В.	д.т.н., профессор

126 – Информационные системы и технологии

Аль-Аммори А.Н.	д.т.н., профессор
Баклан И.В.	к.т.н., доцент
Бень А.П.	к.т.н., доцент
Левыкин В.М.	д.т.н., профессор
Литвиненко Е.И.	к.т.н., доцент
Мороз Б.И.	д.т.н., профессор
Стеценко И.В.	д.т.н., профессор
Шерстюк В.Г.	д.т.н., профессор

151 – Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии

Алексеев М.А.	д.т.н., профессор
Бардачев Ю.Н.	д.т.н., профессор
Головко В.И.	д.т.н., профессор
Кондратец В.А.	д.т.н., профессор
Мещеряков Л.И.	д.т.н., профессор
Омельчук А.А.	к.т.н.
Осадчий С.И.	д.т.н., профессор
Рожков С.А.	д.т.н., профессор
Рудакова А.В.	д.т.н., профессор

Другие специальности

Дудченко О.Н.	к.т.н., профессор
Литвинова М.Б.	д.пед.н., к.ф.-м.н., профессор
Мельник И.В.	д.т.н., профессор
Розов Ю.Г.	д.т.н., профессор

ISSN 2618-0332

Ministry of Education and Science of Ukraine

Kherson National Technical University

APPLIED QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELLING

V. 4, № 2.1

Recommended for publication by the Academic Council of
Kherson National Technical University
(Minutes № 8 on 17th June 2021)

The journal is included in the Register of scientific specialized publications of Ukraine of category B on the basis of Minutes of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated March 17, 2020 № 409.

The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories: Google Scholar, Index Copernicus International Journal Master List, CiteFactor Academic Scientific Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky).

Kherson 2021

Editorial Board

Editor-in-Chief

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Mathematical Modelling of Kherson National Technical University.

Deputies Editor-in-Chief

Rozov Yu.H.

Doctor of Engineering Science, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, First Vice-Rector of Kherson National Technical University.

Khomchenko A.N.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Professor at the Department of Intelligent Information Systems of the Petro Mohyla Black Sea National University (Mykolaiv).

Litvinenko O.I.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Phys.-Math. disciplines of the Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Executive Secretary

Omelchuk A.A.

Ph.D., Associate Professor at the Department of Intelligent Control and Computing Systems of University of State Fiscal Service of Ukraine (Irpin).

Members of Editorial Board by specialities:

Foreign Specialists

Babichev S.A.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor, (Czech Republic)

Guchek P.Y.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor, (Republic of Poland)

113 – Applied Mathematics

Andreytsev A.Yu.

Ph.D., Associate Professor

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor

Hvozdeva I.M.

Doctor of Engineering Science, Professor

Hnatushenko Vikt.V.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor

Liaschenko V.P.

Doctor of Engineering Science, Professor

Myrhorod V.F.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor

Riznyk V.V.

Doctor of Engineering Science, Professor

Strelnikova O.O.

Doctor of Engineering Science, Professor

Khomchenko A.N.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

122 – Computer Science

Borysenko V.D.	Doctor of Engineering Science, Professor
Vanin V.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Virchenko H.A.	Doctor of Engineering Science, Professor
Hnatushenko V.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Humen O.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Korchynskyi V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Lytvynenko V.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Martyn Ye.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Naidysh A.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Nesvidomin V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Pylypaka S.F.	Doctor of Engineering Science, Professor
Tuluchenko H.Ya.	Doctor of Engineering Science, Professor
Ustenko S.A.	Doctor of Engineering Science, Professor
Shoman O.V.	Doctor of Engineering Science, Professor

126 – Information Systems and Technologies

Al-Ammori A.N.	Doctor of Engineering Science, Professor
Baklan I.V.	Ph.D., Associate Professor
Ben A.P.	Ph.D., Associate Professor
Levykin V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Lytvynenko O.I.	Ph.D., Associate Professor
Moroz B.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Stetsenko I.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Tomashevskyi V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sherstiuk V.H.	Doctor of Engineering Science, Professor

151 – Automation and Computer Integrated Technologies

Aleksieiev M.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Bardachov Yu.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Holovko V.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Kondratets V.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Meshcheriakov L.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Omelchuk A.A.	Ph.D.
Osadchyi S.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rozhkov S.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rudakova H.V.	Doctor of Engineering Science, Professor

Other Specialties

Dudchenko O.N.	Ph.D., Professor
Litvinova M.B.	Doctor of Pedagogical Sciences, Ph.D. (physics and mathematics), Professor
Melnyk I.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rozov Yu.H.	Doctor of Engineering Science, Professor

ЗМІСТ

І.В. БАЙРАК, Г.В. РУДАКОВА, Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО МЕТОДИ ОБРОБКИ GPS-ДАНИХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КРУГОВОГО РУХУ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН	16
С.Г. БЛАЖЕВСЬКИЙ, О.М. ЛЕНЮК, О.М. НІКІТІНА, М.І. ШИНКАРИК МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДОМ ГІБРИДНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ ЕЙЛЕРА-БЕССЕЛЯ НА СЕГМЕНТІ	25
І.О. ВЄРУШКІН, О.О. СТРЕЛЬНИКОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГІПЕРСИНГУЛЯРНИХ РІВНЯНЬ	32
К.В. ВАЛЬКО, В.І. КУЗЬМИЧ, Л.В. КУЗЬМИЧ, О.Г. САВЧЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТОЧОК МЕТРИЧНОГО ПРОСТОРУ	48
І.Г. ВЕЛИЧКО, Є.В. СТЕГАНЦЕВ ХРОМАТИЧНЕ ЧИСЛО ФУНКЦІЇ	58
І.М. ГВОЗДЕВА, В.Ф. МИРГОРОД, В.В. БУДАШКО ДВОВИМІРНЕ СИНГУЛЯРНЕ РОЗКЛАДАННЯ КОМПОНЕНТ ЧАСОВИХ РЯДІВ	66
В.В. ГНАТУШЕНКО, Г.К. ВИТОВТОВ АНАЛІЗ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ СТРИБКОПОДІБНІЙ ЗМІНІ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ПОТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ	76
В.В. ГНАТУШЕНКО, К.В. КИТОВА, О.В. ДОРОШ РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКА ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	84
І.В. ГОЯНЮК, М.Р. ПЕТРИК, І.Я. МУДРИК МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО МАСОПЕРЕНОСУ В СЕРЕДОВИЩІ МІКРОПОРИСТИХ ЧАСТИНОК	92
В.В. ГРИЦИК ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРІЇ ЗОБРАЖЕНЬ: МНОЖИНИ ТОЧОК І ОПЕРАЦІЙ НАД НИМИ	102
О.М. ГУМЕН, С.Є. ЛЯСКОВСЬКА, Є.В. МАРТИН ІНФОРМАЦІЙНІ ГРАФІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МОДЕЛЮВАННІ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ	112
С.Л. КАРПЕНКО, Г.В. РУДАКОВА, В.М. ПОЛІЩУК МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	119
В.М. КОРЧИНСЬКИЙ, Д.М. СВИНАРЕНКО ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ	128
В.М. КОРЧИНСЬКИЙ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ ЗА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИМИ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ	135
В.І. МАГРО, С.В. ПЛАКСІН, В.О. СВЯТОШЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ І ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ	142
В.І. МАГРО, С.В. ПЛАКСІН, В.О. СВЯТОШЕНКО ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТЕСТУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ В МІКРОСЕРВІСНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ	150
І.В. МЕЛЬНИК, С.Б. ТУГАЙ ФОРМУВАННЯ ДИСКРЕТНОГО АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ СКІНЧЕННИХ АВТОМАТІВ ТА МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ	159

І.В. МОСУР, О.В. ПОЛИВОДА, Г.В. РУДАКОВА, В.В. ПОЛИВОДА МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ОСНОВІ ІоТ	170
С.О. РОЖКОВ, А.А. ІВАНОВ, К.В. ТИМОФЕЄВ, І.Б. БУТАКОВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ СУДНА	179
О.Н. РОМАНЮК, М.Д. ЗАХАРЧУК, А.В. СНИГУР, Л.Г. КОВАЛЬ, П.І. МИХАЙЛОВ, Р.Ю. ЧЕХМЕЙСТРУК ВИКОРИСТАННЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАСО-ВАГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮДИНИ ПО ЇЇ АНТРОПОМЕТРИЧНИМ ПАРАМЕТРАМ	188
Н.О. СОКОЛОВА, П.С. КОРНЮШЕНКО МУЛЬТИАГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ З ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЮ ПІДТРИМКОЮ	199
С.А. СТАНКЕВИЧ, М.О. СВІДЕНЮК, А.Р. ЛИСЕНКО ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДВОХПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ РАДІОЛОКАЦІЙНИМ ВІДБИТТЯМ МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	207
С.А. СТАНКЕВИЧ, О.В. ТИТАРЕНКО, С.І. ГОЛУБОВ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ ПРИ ОЦІНЮВАННІ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕРИТОРІЙ	216
М.О. ТЕРЕЩУК, О.О. ГОЛОВА, О.О. ЛЕБЕДЄВА, Н.М. ЛИНОК, О.В. ГОЛОВЧЕНКО ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ	225
П.П. ТРОХИМЧУК МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛІОННО-ІНДУКОВАНОГО РОЗПИЛЕННЯ (СУБЛІМАЦІЇ) РЕЧОВИНИ	234
М.М. ХАРИТОНОВ, І.І. КЛІМКІНА, О.В. ТИТАРЕНКО, Л.Б. АНІСІМОВА ГЕОПРОСТОРОВА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ НА ФОРМУВАННЯ ЛАНДШАФТІВ В ЗАПЛАВІ РІЧКИ САМАРА	245
О.В. ЧЕРНІКОВ, О.В. АРХІПОВ, О.А. ЄРМАКОВА, Я.С. КОРЕЦЬКИЙ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА КОМПОНЕНТІВ ВАЛУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ У ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR	253
О.В. ЧЕРНІКОВ, Н.С. КАЛЮЖНА, А. ЛАМДАІНІ ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЮВАННЯ В ПАКЕТІ AUTODESK INVENTOR	261
І.Ф. ШАСХОВА, Ю.О. ОЛІЙНИК ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ АРХІТЕКТУРИ ГЕТЕРОГЕННОЇ МУЛЬТИКОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ	269
В.Н. ШУТЬ, Е.В. ШВЕЦОВА, Е.Е. ПРОЛІСКО ЗБІР ТА АНАЛІЗ ДАНИХ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІСЬКІЙ ПАСАЖИРСЬКІЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ	284

СОДЕРЖАНИЕ

И.В. БАЙРАК, А.В. РУДАКОВА, Ю.А. ЛЕБЕДЕНКО МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ GPS-ДАННЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КРУГОВОГО ДВИЖЕНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН	16
С.Г. БЛАЖЕВСКИЙ, О.М. ЛЕНЮК, О.М. НИКИТИНА, Н.И. ШИНКАРИК МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ГИБРИДНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТИПА ЭЙЛЕРА-БЕССЕЛЯ НА СЕГМЕНТЕ	25
И.А. ВЕРУШКИН, Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГИПЕРСИНГУЛЯРНЫХ УРАВНЕНИЙ	32
Е.В. ВАЛЬКО, В.И. КУЗЬМИЧ, Л.В. КУЗЬМИЧ, А.Г. САВЧЕНКО МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК МЕТРИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	48
И.Г. ВЕЛИЧКО, Е.В. СТЕГАНЦЕВ ХРОМАТИЧЕСКОЕ ЧИСЛО ФУНКЦИИ	58
И.М. ГВОЗДЕВА, В.Ф. МИРГОРОД, В.В. БУДАШКО ДВУМЕРНОЕ СИНГУЛЯРНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КОМПОНЕНТ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	66
В.В. ГНАТУШЕНКО, Г.К. ВЫТОВТОВ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ СКАЧКООБРАЗНО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ИНТЕНСИВНОСТЯХ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ	76
В.В. ГНАТУШЕНКО, К.В. КИТОВА, О.В. ДОРОШ РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ	84
И.В. ГОЯНЮК, М.Р. ПЕТРЫК, И.Я. МУДРЫК МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО МАССОПЕРЕНОСА В СРЕДЕ МИКРОПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ	92
В.В. ГРИЦИК ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ: МНОЖЕСТВА ТОЧЕК И ОПЕРАЦИЙ НАД НИМИ	102
Е.Н. ГУМЕН, С.Е. ЛЯСКОВСКАЯ, Е.В. МАРТЫН ИНФОРМАЦИОННЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	112
С.Л. КАРПЕНКО А.В. РУДАКОВА, В. М. ПОЛИЩУК МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	119
В.М. КОРЧИНСКИЙ, Д.Н. СВИНАРЕНКО ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	128
В.М. КОРЧИНСКИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫМ ЦИФРОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	135
В.И. МАГРО, С.В. ПЛАКСИН, В.О. СВЯТОШЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	142
В.И. МАГРО, С.В. ПЛАКСИН, В.О. СВЯТОШЕНКО ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА В МИКРОСЕРВИСНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ	150

И.В. МЕЛЬНИК, С.Б. ТУГАЙ ФОРМИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ И МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	159
И.В. МОСУР, О.В. ПОЛИВОДА, А.В. РУДАКОВА, В.В. ПОЛИВОДА МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ IoT	170
С.А. РОЖКОВ, А.А. ИВАНОВ, К.В. ТИМОФЕЕВ, И.Б. БУТАКОВ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СУДНА	179
А.Н. РОМАНИЮК, М.Д. ЗАХАРЧУК, А.В. СНИГУР, Л.Г. КОВАЛЬ, П.И. МИХАЙЛОВ, Р.Ю. ЧЕХМЕЙСТРУК ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСО-ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ	188
Н.О. СОКОЛОВА, П.С. КОРНЮШЕНКО МУЛЬТИАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКОЙ	199
С.А. СТАНКЕВИЧ, М.О. СВИДЕНЮК, А.Р. ЛЫСЕНКО ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННОМУ РАДАРНОМУ ОТРАЖЕНИЮ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	207
С.А. СТАНКЕВИЧ, О.В. ТИТАРЕНКО, С.И. ГОЛУБОВ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ	216
Н.А. ТЕРЕЩУК, О.А. ГОЛОВА, О.А. ЛЕБЕДЕВА, Н.М. ЛИНОК, А.В. ГОЛОВЧЕНКО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА	225
П.П. ТРОХИМЧУК МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО РАСПЫЛЕНИЯ (СУБЛИМАЦИИ) ВЕЩЕСТВА	234
Н.Н. ХАРИТОНОВ, И.И. КЛИМКИНА, О.В. ТИТАРЕНКО, Л.Б. АНИСИМОВА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ В ПОЙМЕ РЕКИ САМАРА	245
А.В. ЧЕРНИКОВ, А.В. АРХИПОВ, Е.А. ЕРМАКОВА, Я.С. КОРЕЦКИЙ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА КОМПОНЕНТОВ ВАЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОГРАММЕ AUTODESK INVENTOR	253
А.В. ЧЕРНИКОВ, Н.Е. КАЛЮЖНАЯ, А. ЛАМДАИНИ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ AUTODESK INVENTOR	261
И.Ф. ШАЕХОВА, Ю.О. ОЛЕЙНИК ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ ГЕТЕРОГЕННОЙ МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ	269
В.Н. ШУТЬ, Е.В. ШВЕЦОВА, Е.Е. ПРОЛИСКО СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ	284

CONTENTS

I.V. BAIRAK, H.V. RUDAKOVA, Yu.O. LEBEDENKO METHODS OF GPS-DATA PROCESSING FOR CONTROL OF CIRCULAR MOVEMENT OF SPRINKLER MACHINES	16
S.G. BLAZHEVSKIY, O.M. LENYUK, O.M. NIKITINA, M.I. SHYNKARYK MODELING OF DYNAMIC PROCESSES BY THE METHOD OF HYBRID INTEGRAL TRANSFORM OF EULER-BESSEL TYPE ON THE SEGMENT	25
I.A. VIERUSHKIN, E.A. STRELNKOVA SIMULATION OF HYDROELASTIC OSCILLATIONS OF STRUCTURAL ELEMENTS USING THE HYPERSINGULAR EQUATION METHOD	32
K.V. VALKO, V.I. KUZ'MICH, L.V. KUZ'MICH, O.G. SAVCHENKO MODELING THE MUTUAL LOCATION OF POINTS OF THE METRIC SPACE	48
I.G. VELICHKO, E.V. STEGANTSEV THE CHROMATIC NUMBER OF THE FUNCTION	58
I.M. HVOZDEVA, V.F. MYRHOROD, V.V. BUDASKO TWO-DIMENSIONAL SINGULAR DECOMPOSITION OF TIME SERIES COMPONENTS	66
V.V. HNATUSHENKO, G.K. VYTOVTOV ANALYSIS OF THE QUEUEING SYSTEMS AT JUMPING VARIABLE INFORMATION FLOW INTENSITY	76
Vik.V. HNATUSHENKO, K.V. KYTOVA, O.V. DOROSH DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE MOBILE APPLICATION OF THE DISTANCE LEARNING ORGANIZATION	84
I.V.GOYANYUK, M.R. PETRYK, I.Y. MUDRYK MODELING OF FILTRATION MASS TRANSFER IN THE MEDIUM OF MICROPOROUS PARTICLES	92
V.V. HRYTSYK RESEARCH OF IMAGE THEORY: SETS OF POINTS AND OPERATIONS ON THEM	102
O.M. GUMEN, S.E. LJASKOVSKA, E.V. MARTYN INFORMATION GRAPHIC TECHNOLOGIES IN MODELLING MULTIPARAMETER SYSTEMS	112
S.L. KARPENKO, H.V. RUDAKOVA, V.M. POLISCHUK MODELING THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF A CLOSED IRRIGATION SYSTEM	119
V.M. KORCHYNSKYI, D.M. SVYNARENKO INCREASING THE CAPACITY OF INFORMATION CHANNELS FOR TRANSMITTING MULTISPECTRAL DIGITAL IMAGES OF REMOTE SENSING	128
V.M. KORCHYNSKYI RESTORING THE INFORMATION CHARACTERISTICS OF OBJECTS ON MULTISPECTRAL DIGITAL REMOTE SENSING IMAGES	135
V.I. MAGRO, S.V. PLAKSIN, V.O. SVYATOSHENKO INVESTIGATION OF INFORMATION NETWORK LOADING IN THE CONDITIONS OF REMOTE EDUCATION AND REMOTE MONITORING	142
V.I. MAGRO, S.V. PLAKSIN, V.O. SVYATOSHENKO BUILDING A TEST AND MONITORING MODEL IN A MICROSERVICE INFRASTRUCTURE	150
I.V. MELNYK, S.B. TUHAI CREATION OF DISCRETE ALGORITHM OF VEHICLE CONTROL WITH USING THE THEORY OF FINITE-SEQUENCE MACHINES AND THE METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS	159

I.V. MOSUR, O.V. POLYVODA, H.V. RUDAKOVA, V.V. POLYVODA MODELING METHODS OF TECHNICAL EQUIPMENT LOCATION SUBSYSTEM OF DATA COLLECTION FOR REMOTE MONITORING OF AGRICULTURE BASED ON IoT	170
S. ROZHKOVA, A. IVANOV, K. TYMOFEIEV, I. BUTAKOV SOLUTION OF THE PROBLEM OF OPTIMAL POWER CONTROL ELECTRIC POWER COMPLEX OF THE SHIP	179
O.N. ROMANYUK, M.D. ZAKHARCHUK, A.V. SNIGUR, L.G. KOVAL, P.I. MYKHAYLOV, R.Y. CHEKHMESTRUK USE OF THREE-DIMENSIONAL SIMULATION TO DETERMINE THE MASSES AND WEIGHT CHARACTERISTICS OF A PERSON WITH ANTHROPOMETRIC PARAMETERS	188
N.O. SOKOLOVA, P.S. KORNIUSHENKO DISEASE SPREADING MULTI-AGENT MODELING WITH GEOINFORMATION SUPPORT	199
S.A. STANKEVICH, M.O. SVIDENIUK, A.R. LYSENKO LAND SURFACE ROUGHNESS PARAMETER RETRIEVAL BY INVERSE SIMULATION OF DUAL-POLARIZATION RADAR BACKSCATTERING	207
S. STANKEVICH, O. TITARENKO, S. GOLUBOV MATHEMATICAL MODEL FOR HETEROGENEOUS DATA INTEGRATION IN THE OIL AND GAS PROSPECTS ESTIMATING.....	216
M.O. TERESCHUK, O.O.GOLOVA, O.O. LEBEDEVA, N.M. LYNOK, O.V. GOLOVCHENKO GEOMETRIC MODELING OF MICROCLIMATE PARAMETERS	225
P.P. TROKHIMCHUCK MODELLING OF THE ELIIONIC-INDUCED SPUTTERING (SUBLIMATION) OF MATTER	234
M.M. KHARYTONOV, I.I. KLIMKINA, O.V. TITARENKO, L.B. ANISIMOVA GEOSPATIAL ASSESSMENT OF THE OF COAL MINING IMPACT ON THE LANDSCAPES FORMATION IN THE FLOOD - PLAINE OF THE SAMARA RIVER	245
O.V. CHERNIKOV, O.V. ARKHIPOV, O.A. YERMAKOVA, Ya.S. KORETSKYI USING A SHAFT COMPONENTS GENERATOR FOR MODELING TYPICAL PARTS IN THE AUTODESK INVENTOR PROGRAM	253
O.V. CHERNIKOV, N.Ye. KALIUZHNYAYA, A. LAMDAINI FEATURES OF AUTOMATION OF MODELING PROCESSES IN THE AUTODESK INVENTOR PACKAGE	261
I. F. SHAIKHOVA, Y.O. OLIINYK APPROACH TO DEVELOPING ARCHITECTURE OF A HETEROGENEOUS MULTICOMPUTER TASK PLANNING SYSTEM	269
V. SHUTS, A. SHVIATSOVA, E. PROLISKO COLLECTION AND ANALYSIS OF DATA FOR ORGANIZATION OF TRANSPORTATION IN THE CITY PASSENGER INFORMATION AND TRANSPORTATION SYSTEM	284

УДК 514.13

К.В. ВАЛЬКО

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В.І. КУЗЬМИЧ, Л.В. КУЗЬМИЧ, О.Г. САВЧЕНКО

Херсонський державний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТОЧОК МЕТРИЧНОГО ПРОСТОРУ

Робота присвячена побудові математичної моделі зображення геометричних образів у метричних просторах за допомогою основних понять метричної геометрії. Головною особливістю цієї геометрії є можливість використання лише однієї характеристики, що встановлюється між точками метричного простору, – відстані між ними. Це накладає на дослідження з метричної геометрії значні обмеження та збільшує складність аналітичних співвідношень між її основними геометричними образами – прямолінійним розміщенням точок, плоским розміщенням точок, кутом і його числовою характеристикою. Образи класичних геометричних фігур евклідової геометрії – трикутник, тетраедр і таке інше можуть мати достатньо незвичні форми та властивості у метричній геометрії. Значною перевагою цієї геометрії є достатньо високий рівень загальності, який дозволяє з однієї точки зору розглядати як класичну геометрію Евкліда, так і неевклідові геометрії. Швидкий розвиток метричної геометрії у наш час зумовлений численними її застосуваннями у різних галузях науки та інженерії. Складність аналітичних перетворень частково компенсується можливістю застосування до них сучасних засобів обчислювальної техніки та комп'ютерної візуалізації геометричних образів.

Однією із перепон до використання комп'ютерної візуалізації є необхідність використання формул перерахунку відстаней між точками метричного простору у декартові координати цих точок. Сучасні програмні засоби для зображення геометричних образів використовують, в основному, задані координати точок, що утруднює геометричну інтерпретацію цих образів та їх перетворення. У роботі пропонуються формули переходу від значень відстані між точками метричного простору до їх декартових координат у випадку геометричного образу тетраедра. Цей образ відіграє значну роль у встановленні фактів прямолінійного та плоского розміщення точок простору і дає можливість візуалізації впливу метрики простору на його геометричні властивості.

Програмне забезпечення результатів роботи використовує як стандартні обчислювальні засоби та засоби візуалізації (електронні таблиці Excel, динамічне геометричне середовище GeoGebra 3D), так і окремі комп'ютерні застосунки для обчислення об'єму тетраедра за довжинами його ребер.

Ключові слова: метричний простір, відстань між точками, прямолінійне розміщення точок, кутова характеристика, плоске розміщення точок, тетраедр.

Е.В. ВАЛЬКО

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В.І. КУЗЬМИЧ, Л.В. КУЗЬМИЧ, А.Г. САВЧЕНКО

Херсонський державний університет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК МЕТРИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Робота посвящена построению математической модели изображения геометрических образов в метрических пространствах с помощью основных понятий метрической геометрии. Главной особенностью этой геометрии является возможность использования только одной характеристики, которая устанавливается между точками метрического пространства, – расстояния между ними. Это накладывает на исследования по метрической геометрии значительные ограничения и увеличивает сложность аналитических соотношений между ее основными геометрическими образами – прямолинейного расположения точек, плоского размещения точек, угла и его числовой характеристики. Образы классических геометрических фигур евклидовой геометрии – треугольник, тетраэдр и т.д. могут иметь достаточно необычные формы и свойства в метрической геометрии. Значительным преимуществом этой геометрии является высокий уровень общности, который позволяет с одной точки зрения рассматривать как классическую геометрию Евклида, так и неевклидовы геометрии. Быстрое развитие метрической геометрии в наше время обусловлено многочисленными ее приложениями в различных областях науки и инженерии. Сложность аналитических преобразований

частично компенсується можливістю застосування до них сучасних засобів обчислювальної техніки та комп'ютерної візуалізації геометричних образів.

Одною з перешкод до використання комп'ютерної візуалізації є необхідність використовувати формули пересчёта відстаней між точками метричного простору в декартові координати цих точок. Сучасні програмні засоби зображення геометричних образів використовують, в основному, задані координати точок, що ускладнює геометричну інтерпретацію цих образів та їх перетворення. В роботі пропонуються формули переходу від значень відстаней між точками метричного простору до їх декартових координат в разі геометричного образу тетраедра. Цей образ грає важливу роль в установленні фактів прямолинійного та плоского розміщення точок простору, і дає можливість візуалізації впливу метрики простору на його геометричні властивості.

Програмне забезпечення результатів роботи використовує як стандартні обчислювальні засоби та засоби візуалізації (електронні таблиці Excel, динамічне геометричне середовище GeoGebra 3D), так і окремі комп'ютерні застосування для обчислення об'єму тетраедра по довжинам його ребер.

Ключові слова: метричний простір, відстань між точками, прямолинійне розміщення точок, тетраедр.

K.V. VALKO

Taras Shevchenko National University of Kyiv

V.I. KUZ'MICH, L.V. KUZ'MICH, O.G. SAVCHENKO

Kherson State University

MODELING THE MUTUAL LOCATION OF POINTS OF THE METRIC SPACE

The work is devoted to the construction of a mathematical model of the image of geometric images in metric spaces using the basic concepts of metric geometry. The main feature of this geometry is the ability to use only one characteristic that is established between the points of the metric space - the distance between them. This imposes significant limitations on the study of metric geometry, and increases the complexity of analytical relationships between its basic geometric images - rectilinear placement of points, flat placement of points, angle and its numerical characteristics. Images of classical geometric figures of Euclidean geometry - a triangle, tetrahedron and so on, can have quite unusual shapes and properties in metric geometry. A significant advantage of this geometry is a significant level of generality, which allows from one point of view to consider both classical Euclidean geometry and non-Euclidean geometries. The significant development of metric geometry in our time is due to its numerous applications in various fields of science and engineering. The complexity of analytical transformations is partially offset by the possibility of applying modern computer technology and computer visualization of geometric images.

One of the obstacles to the use of computer visualization is the need to use formulas for calculating the distances between points of a metric space in the Cartesian coordinates of these points. Modern software for displaying geometric images uses mainly the specified coordinates of points. This makes it difficult to geometrically interpret these images and transform them. The paper proposes formulas for the transition from the values of the distance between the points of the metric space to their Cartesian coordinates in the case of a geometric image of a tetrahedron. This image plays a significant role in establishing the facts of rectilinear and flat placement of points in space and makes it possible to visualize the influence the metric of space on its geometric properties.

The results software uses both standard computing and visualization tools (Excel spreadsheets, GeoGebra 3D dynamic geometric environment) and individual computer applications to calculate the volume of a tetrahedron by the lengths of its edges.

Keywords: metric space, distance between points, rectilinear placement of points, angular characteristic, flat placement of points, tetrahedron.

Постановка проблеми

Тема роботи зумовлена необхідністю розробки програмних засобів для візуалізації геометричних образів у метричних просторах. Такі образи використовуються для вивчення геометричних властивостей та структуризації метричних просторів, а також для вивчення впливу метрики простору на його геометрію. Як правило, у метричному просторі будуються аналоги відповідних

геометричних об'єктів класичної геометрії Евкліда, однак їх властивості, форма можуть значно відрізнятися від звичних. Для того, щоб провести певну “геометризацію” метричного простору, необхідно коректно означити у ньому основні геометричні поняття, такі як точка, відстань між точками, прямолінійне розміщення точок, плоске розміщення точок, кут і його числова характеристика і таке інше. При цьому слід зберігати основні співвідношення класичної геометрії, з тим, щоб вони розглядалися як частинні випадки такої геометризації. Одним із таких засобів “геометризації” метричного простору є метрична геометрія. Її суть полягає у використанні поняття відстані між двома точками, яке означається за допомогою відповідних аксіом.

Сучасні засоби комп'ютерної візуалізації базуються на використанні методу координат та векторної графіки при побудові геометричних образів. Однак, не завжди є змога отримати відразу необхідні числові значення координат і оперувати з ними. Інколи, перш ніж отримати значення необхідних координат, потрібна попередня аналітична обробка числових значень. Така ситуація виникає і при спробі візуалізації окремих образів метричної геометрії. Зокрема, достатньо проста, на перший погляд, задача зображення тетраедра, заданого довжинами своїх ребер, у деякому комп'ютерному графічному середовищі нашоухується на значні труднощі, пов'язані з визначенням самої можливості побудови такого тетраедра, а також з визначенням координат його вершин. У даній роботі будуть наведені формули переходу від довжин ребер тетраедра до координат його вершин, а також приклад впливу метрики простору на геометричні властивості взаємного розміщення точок цього простору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основи метричної геометрії були закладені англійським математиком Артуром Келі (1821-1895) та австрійсько-американським математиком Карлом Менгером (1903-1985). Із сучасним її станом можна ознайомитись, наприклад, за монографією Марселя Берже [1]. Поняття прямолінійного розміщення точок розглядалось В.Ф. Каганом [2] і вивчалось, зокрема, у [3, 4]. Плоске розміщення точок метричного простору розглядалось у роботах [5, 6, 7]. Окремі аналітичні співвідношення геометричного змісту у метричних просторах вивчались у роботі [8]. Поняття кута, утвореного трьома точками метричного простору розглядалось у роботах [9, 10]. У роботі [11] були отримані аналоги формули Юнгіуса для обчислення об'єму тетраедра, на основі яких у роботі [12] було представлено програмний засіб для виконання цих обчислень. Цей засіб, зокрема, частково вирішує питання існування тетраедра із заданими довжинами його ребер.

Мета дослідження

Метою цієї роботи є представлення математичної моделі візуалізації взаємного розміщення точок метричного простору за допомогою динамічного геометричного середовища GeoGebra 3D, на прикладі візуалізації взаємного розміщення чотирьох точок простору (візуалізація тетраедра і плоского розміщення точок).

Викладення основного матеріалу дослідження

Поняття метричного простору є базовим у математиці. У його основі лежить поняття відстані між двома точками простору. Поняття відстані означається за допомогою трьох аксіом: відстань невід'ємна, вона комутативна і, крім того, повинна виконуватись нерівність трикутника – відстань між двома точками простору не більша ніж сума відстаней від цих точок до третьої точки простору. Поряд з метричними просторами також активно досліджуються їх спеціальні класи та модифікації, що мають застосування у різних галузях сучасної науки. У цьому плані особливої уваги

заслужують розмиті метричні простори, зокрема, стаціонарні розмиті метричні простори та пов'язані з ними функторіальні конструкції [13, 14]. Так, в роботі [15] розглянуто утворений за допомогою певної ультраметризації функтор ймовірнісних мір, який утворює монаду на категорії розмитих ультраметричних просторів та нерозтягуючих відображень.

У роботі ми розглянемо, у якості прикладу, два метричних простори, які часто використовуються у застосуваннях. Перший з них - це простір неперервних на відрізьку $[a, b]$ функцій. Його позначають $C_{[a,b]}$, а за відстань між двома його точками $f(x)$ і $g(x)$ беруть число: $\rho(f, g) = \max_{x \in [a,b]} |f(x) - g(x)|$. Крім цього, розглянемо простір неперервних на відрізьку $[a, b]$ функцій, у якому за відстань між двома точками $f(x)$ і $g(x)$ простору беруть число: $\rho(f, g) = \int_a^b |f(x) - g(x)| dx$. Цей простір позначають через C_L . Правило ρ , за яким встановлюють відстань $\rho(x, y)$ між точками x і y метричного простору X , називають метрикою цього простору, а сам простір позначають через (X, ρ) .

У метричному просторі розглядають геометричні образи відповідних геометричних об'єктів класичної геометрії Евкліда. Наприклад, якщо для трьох різних точок x, y і z метричного простору (X, ρ) виконується рівність:

$$\rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y), \tag{1}$$

то кажуть, що ці точки прямолінійно розміщені у просторі (X, ρ) , а якщо будь-які три різні точки деякої множини точок простору розміщені прямолінійно, то таку множину природно назвати прямолінійно розміщеною у цьому просторі [2, с. 527; 4, с. 32; 5, с. 60; 6, с. 436].

Кутом, що утворений трьома різними точками x, y, z метричного простору (X, ρ) , будемо називати упорядковану трійку цих точок: (x, y, z) . При цьому, точку y будемо називати вершиною кута, пари точок (x, y) і (y, z) – його сторонами, а позначати сам кут будемо звичним чином: $\angle(x, y, z)$. Числову характеристику $\varphi(x, y, z)$ кута $\angle(x, y, z)$ у метричному просторі можна означити за допомогою аналога формули косинусів [6, с. 436; 9, с. 28-29; 10, с. 11]:

$$\varphi(x, y, z) = \frac{\rho^2(x, y) + \rho^2(y, z) - \rho^2(x, z)}{2\rho(x, y)\rho(y, z)}. \tag{2}$$

Такий запис можна дещо спростити, увівши позначення:

$$\rho(x_i, x_j) = \rho_{ij}, \quad \varphi(x_i, x_j, x_k) = \frac{\rho_{ij}^2 + \rho_{jk}^2 - \rho_{ik}^2}{2\rho_{ij}\rho_{jk}} = \varphi_{ijk} \quad (i, j, k = 1, 2, 3, \dots).$$

Кутова характеристика у вигляді (2) зручна для означення плоского розміщення точок метричного простору. А саме: чотири різні точки x_1, x_2, x_3, x_4 метричного простору (X, ρ) будемо називати плоско розміщеними у цьому просторі, якщо виконується рівність:

$$1 + 2\varphi_{213}\varphi_{214}\varphi_{314} - \varphi_{213}^2 - \varphi_{214}^2 - \varphi_{314}^2 = 0. \tag{3}$$

Рівність (3), фактично, означає рівність нулю об'єму тетраедра, вершинами якого є точки x_1, x_2, x_3, x_4 [5, с. 62-63; 6, с. 440; 11, с. 61-62]. Якщо будь-які чотири різні точки деякої множини точок метричного простору плоско розміщені, то таку множину точок природно назвати плоско розміщеною у цьому просторі [5, с. 63; 6, с. 440; 7, с. 43].

Слід зазначити, що коли чотири точки метричного простору задані, то питання візуалізації їх взаємного розміщення наштовхується на питання можливості побудови тетраедра із заданими довжинами його ребер. Ця задача схожа із задачею про побудову трикутника за заданими довжинами його сторін, однак, для тетраедра вона значно складніша, оскільки усіх можливих варіантів побудови тетраедра (його орієнтації) набагато більше: $6! = 720$. Якщо є однаковий набір шести довжин ребер тетраедра, то при різній його орієнтації тетраедр може існувати (його об'єм буде додатним), може не існувати (об'єм буде від'ємним), або може бути виродженим (об'єм буде дорівнювати нулю) [12]. В останньому випадку, як сказано вище, вершини тетраедра будуть плоско розміщеними у просторі. Числові розрахунки об'єму тетраедра, при різних варіантах його орієнтації, можна провести за допомогою спеціального калькулятора [11, с. 63; 12].

При моделюванні геометричних образів, утворених точками метричного простору, слід мати на увазі, що ці образи можуть мати властивості, які притаманні неевклідовій геометрії. Наприклад, прямолінійне розміщення чотирьох точок метричного простору, на відміну від геометрії Евкліда, не завжди забезпечує їх плоске розміщення [6, с. 439-441].

Наведемо приклад моделювання взаємного розміщення чотирьох різних точок простору $C_{[a,b]}$ за допомогою динамічного геометричного середовища GeoGebra 3D. Для цього встановимо певну орієнтацію тетраедра, вершинами якого є ці точки. Позначимо через $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $C(x_C, y_C, z_C)$, $S(x_S, y_S, z_S)$ вершини тетраедра. Довжини ребер тетраедра позначимо: $AB = a_1$, $AS = a_2$, $AC = a_3$, $BS = a_4$, $BC = a_5$, $CS = a_6$. Вершину A помістимо у центр системи тривимірних декартових прямокутних координат (простір R^3), а вершину B – на додатну піввісь абсцис (рис. 1).

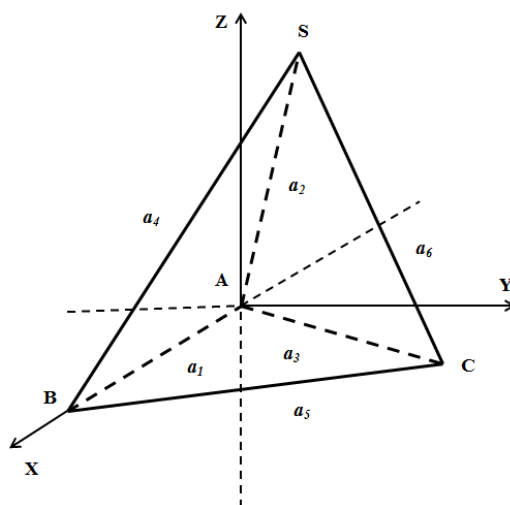


Рис. 1. Орієнтація тетраедра у просторі R^3

При розрахунку координат вершин тетраедра ординату точки C і аплікату точки S завжди будемо вибирати невід'ємними. Формули координат вершин тетраедра, при такій його орієнтації, будуть:

$$x_A = 0; y_A = 0; z_A = 0.$$

$$x_B = a_1; y_B = 0; z_B = 0.$$

$$x_C = \frac{1}{2a_1} (a_1^2 + a_3^2 - a_5^2); y_C = \frac{1}{2a_1} \sqrt{2(a_1^2 a_3^2 + a_1^2 a_5^2 + a_3^2 a_5^2) - a_1^4 - a_3^4 - a_5^4}; z_C = 0.$$

$$x_S = \frac{1}{2a_1} (a_1^2 + a_2^2 - a_4^2);$$

$$y_s = \frac{2a_1^2 a_2^2 + 2a_1^2 a_3^2 - 2a_1^2 a_6^2 - (a_1^2 + a_2^2 - a_4^2)(a_1^2 + a_3^2 - a_5^2)}{2a_1 \sqrt{2(a_1^2 a_3^2 + a_1^2 a_5^2 + a_3^2 a_5^2) - a_1^4 - a_3^4 - a_5^4}};$$

$$z_s = \sqrt{\frac{a_1^2 a_6^2 (a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2 - a_1^2 - a_6^2) + a_2^2 a_5^2 (a_1^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_6^2 - a_2^2 - a_5^2) + a_3^2 a_4^2 (a_1^2 + a_2^2 + a_5^2 + a_6^2 - a_3^2 - a_4^2) - a_2^2 a_3^2 a_6^2 - a_1^2 a_3^2 a_5^2 - a_1^2 a_2^2 a_4^2 - a_4^2 a_5^2 a_6^2}{(a_1 + a_3 + a_5)(a_3 + a_5 - a_1)(a_1 + a_5 - a_3)(a_1 + a_3 - a_5)}}.$$

Приклад 1. Розглянемо у просторі $C_{[0,1]}$ чотири функції (точки простору): $y_1 = 0$, $y_2 = 1$, $y_3 = x$, $y_4 = 1 - x$. У двовимірному прямокутному евклідовому просторі (простір R^2) графіки цих функцій мають вигляд (рис. 2):

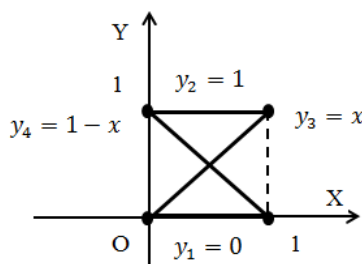


Рис. 2. Графіки функцій y_1, y_2, y_3, y_4 у просторі R^2

За метрикою простору $C_{[0,1]}$ відстані між точками y_1, y_2, y_3, y_4 будуть:

$$\rho_{12} = \rho_{13} = \rho_{14} = \rho_{23} = \rho_{24} = \rho_{34} = 1.$$

У просторі R^3 тетраедр з такими довжинами ребер є правильним. У цьому можна перекопати візуально, увівши вказані довжини у спеціально створений у динамічному геометричному середовищі GeoGebra 3D калькулятор, розрахунки якого базуються на використанні наведених вище формул координат вершин тетраедра. У тому, що отримана візуалізація є саме тетраедром, можна впевнитись, повернувши зображення на певний кут таким чином, щоб спостерігач знаходився у площині основи тетраедра (рис. 3).

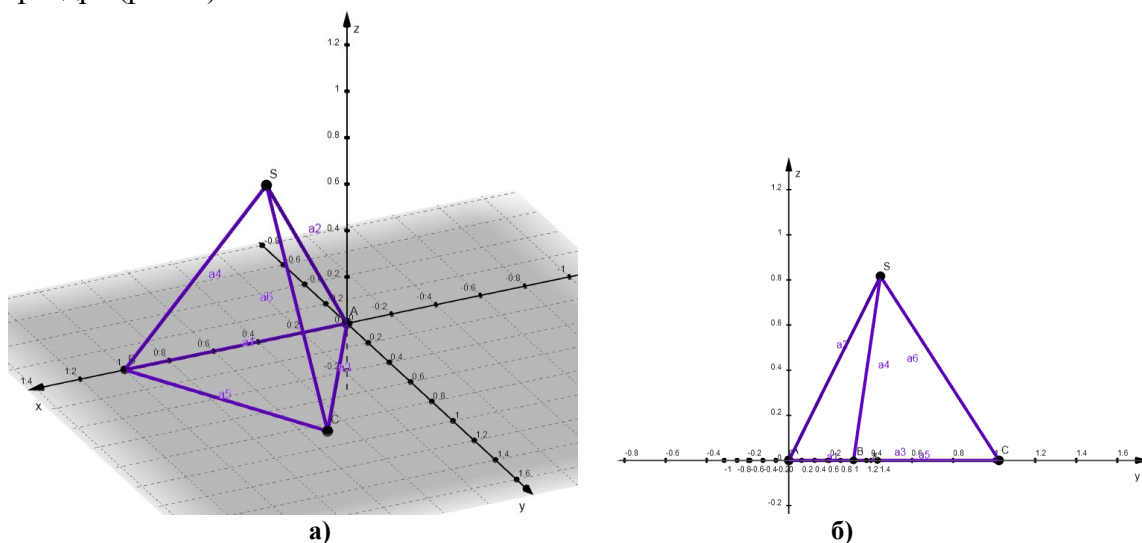


Рис. 3. Візуалізація взаємного розміщення точок y_1, y_2, y_3, y_4 простору $C_{[0,1]}$ у просторі R^3 : а) вид з точки над площиною основи ($z > 0$), б) вид з точки площини основи ($z = 0$)

Тепер покажемо, що зміна метрики простору впливає на його геометрію. Для цього обчислимо відстані між точками y_1, y_2, y_3, y_4 за метрикою простору C_L . Ці відстані будуть:

$$\rho_{12} = 1; \rho_{13} = \rho_{14} = \rho_{23} = \rho_{24} = \rho_{34} = 0,5.$$

У геометрії Евкліда при таких значеннях відстаней точки y_1, y_2, y_3 повинні бути прямолінійно розміщені, оскільки для них виконується рівність (1):

$$\rho_{12} = \rho_{13} + \rho_{23} = 0,5 + 0,5 = 1,$$

і, при цьому, точка y_3 повинна лежати посередині між точками y_1 і y_2 . Аналогічно, точки y_1, y_2, y_4 теж повинні бути прямолінійно розміщені, а точка y_4 теж повинна лежати посередині між точками y_1 і y_2 . Таким чином, у геометрії Евкліда точки y_3 і y_4 повинні співпадати, однак, відстань між ними за метрикою простору C_L відмінна від нуля: $\rho_{34} = 0,5$. На рисунку 4 можна побачити візуалізацію цього факту у просторі R^3 :

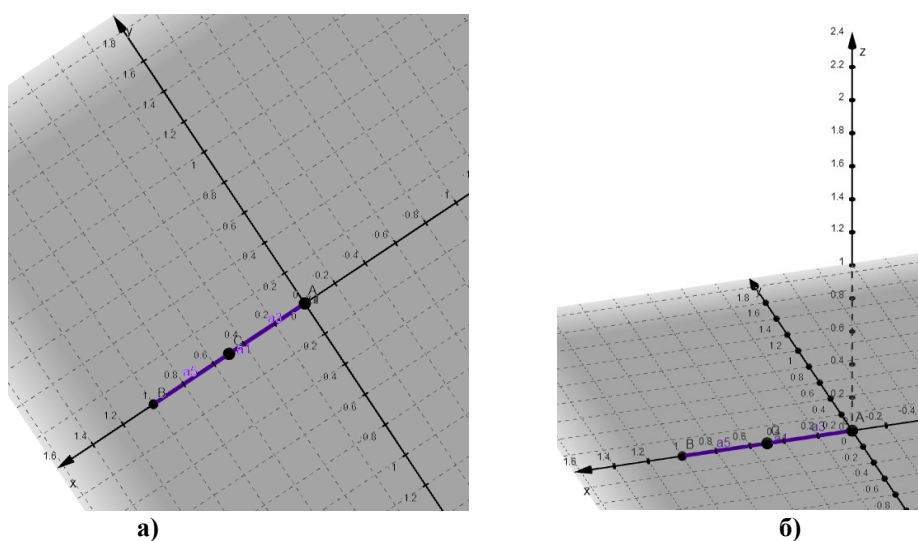


Рис. 4. Візуалізація прямолінійного розміщення точок y_1, y_2, y_3 простору C_L : а) вид з точки $(0,0,z_0)$ осі координат, б) вид з точки над площиною основи ($z > 0$)

Приклад 2. Якщо відстані між точками x_1, x_2, x_3, x_4 деякого метричного простору задовольняють рівність (3), то ці точки плоско розміщені у даному просторі (вироджений тетраедр). Це може бути, наприклад, коли виконуються рівності:

$$\rho_{12} = 5; \rho_{13} = 3; \rho_{14} = 4; \rho_{23} = 4; \rho_{24} = 3; \rho_{34} = 5.$$

Дійсно, знайшовши за формулою (2) відповідні кутові характеристики, будемо мати:

$$\begin{aligned} \varphi_{213} &= \frac{\rho_{12}^2 + \rho_{13}^2 - \rho_{23}^2}{2\rho_{12}\rho_{13}} = \frac{5^2 + 3^2 - 4^2}{2 \cdot 5 \cdot 3} = \frac{3}{5}; \\ \varphi_{214} &= \frac{\rho_{12}^2 + \rho_{14}^2 - \rho_{24}^2}{2\rho_{12}\rho_{14}} = \frac{5^2 + 4^2 - 3^2}{2 \cdot 5 \cdot 4} = \frac{4}{5}; \\ \varphi_{314} &= \frac{\rho_{13}^2 + \rho_{14}^2 - \rho_{34}^2}{2\rho_{13}\rho_{14}} = \frac{3^2 + 4^2 - 5^2}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 0. \end{aligned}$$

Підставивши знайдені значення кутових характеристик у ліву частину рівності (3), будемо мати:

$$1 + 2\varphi_{213}\varphi_{214}\varphi_{314} - \varphi_{213}^2 - \varphi_{214}^2 - \varphi_{314}^2 = 1 + 2 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{4}{5} \cdot 0 - \left(\frac{3}{5}\right)^2 - \left(\frac{4}{5}\right)^2 - 0^2 = 0.$$

Оскільки рівність (3) виконується, то точки x_1, x_2, x_3, x_4 плоско розміщені у метричному просторі.

На Рисунку 5 представлена візуалізація у просторі R^3 плоского розміщення точок x_1, x_2, x_3, x_4 метричного простору. На рисунку а) зображено вигляд взаємного розміщення точок з точки над площиною основи виродженого тетраедра, а на рисунку б) зображено це ж розміщення, але з точки площини основи, що досягається поворотом системи координат. Обидва зображення цілком відображають плоске розміщення точок x_1, x_2, x_3, x_4 метричного простору.

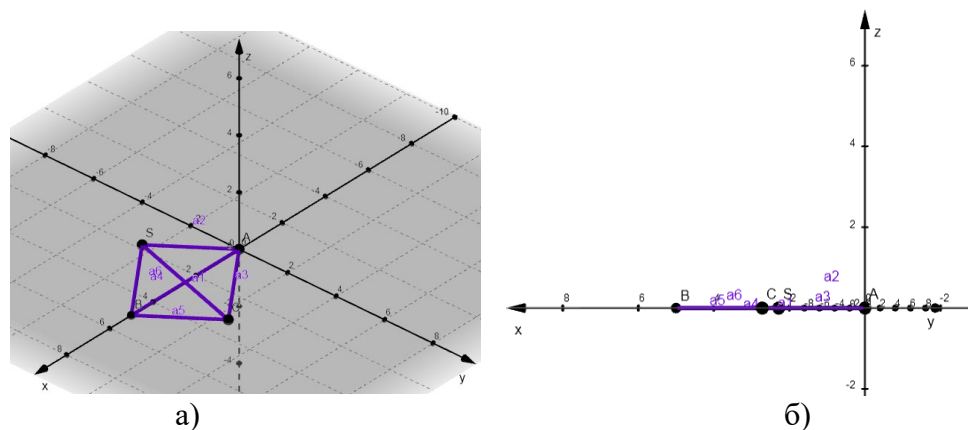


Рис. 5. Візуалізація плоского розміщення точок x_1, x_2, x_3, x_4 метричного простору у просторі R^3 : а) вид з точки над площиною основи ($z > 0$), б) вид з точки площини основи виродженого тетраедра ($z = 0$)

Оскільки візуалізація геометричних образів відображає взаємне положення точок з певною похибкою, то на цей випадок у калькуляторі передбачене відображення розрахованих числових значень координат вершин тетраедра, квадрату його об'єму, а також значення для перевірки можливості існування кожного з чотирьох трикутників, вершинами яких є вершини тетраедра, за довжинами їх сторін (різниця між сумою довжин двох сторін трикутника та довжиною третьої його сторони).

У випадку, коли значення квадрату об'єму тетраедра набуває значення нуль, тетраедр є виродженим, і його вершини плоско розміщені у відповідному метричному просторі, і апліката точки S , при цьому, теж дорівнює нулю.

Якщо квадрат об'єму тетраедра набуває від'ємних значень, то при відповідному виборі довжин ребер такий тетраедр не існує (його неможливо побудувати). У цьому випадку апліката точки S не вираховується і сама точка на зображення не виноситься.

Якщо хоча б одна з різниць між сумою довжин двох сторін трикутника та довжиною третьої його сторони буде від'ємною, то апліката точки S не вираховується і сама точка на зображення не виноситься, при цьому не вираховується також об'єм тетраедра.

Висновки

Застосування сучасних засобів динамічної візуалізації геометричних образів дає можливість проводити геометричну структурування множин точок у різних метричних просторах. Зокрема, з'являється можливість більш глибокого вивчення властивостей функцій та їх взаємозв'язків. Геометричну структурування метричних просторів можна звести до звичних геометричних образів класичної геометрії Евкліда, з можливістю візуалізації елементів неевклідових геометрій.

Подальші дослідження у цьому напрямі слід спрямувати на побудову більш складних геометричних образів, які є композицією образів тетраедра.

Список використаної літератури

1. Берже М. Геометрия. Том 1. М.: Мир, 1984. 559 с.
2. Каган В.Ф. Очерки по геометрии. М.: Издательство Московского университета, 1963. 571 с.
3. Довгошей А. А., Дордовский Д. В. Отношение “лежать между” и изометрические вложения метрических пространств. *Український математичний журнал*. 2009. № 10(61). С. 1319-1328.
4. Кузьмич В., Кузьмич Л. Побудова прямолінійно розміщених множин при вивченні метричних просторів. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Педагогічні науки*. 2018. № 9(382). С. 30-36.
5. Кузьмич В. І. Плоско розміщені множини точок у метричному просторі. *Вісник Львівського університету. Серія: механіко-математична*. 2017. Вип. 83. С. 58–71.
6. Kuz'mich V. I. Geometric Properties of Metric Spaces. *Ukrainian Mathematical Journal*, 2019, volume 71, No. 3, p. 435-454. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11253-019-01656-1>.
7. Кузьмич В. І. Побудова плоских образів у довільному метричному просторі. *Вісник Черкаського університету. Серія: Педагогічні науки*. 2017. № 11. С. 40–46.
8. Kuz'mych, V. I., Savchenko A. G. Geometric relations in an arbitrary metric space. *Matematychni Studii*. 2019. № 1(52). С. 86-95. DOI: [10.30970/ms.52.1.76-85](https://doi.org/10.30970/ms.52.1.76-85).
9. Кузьмич В. І. Поняття кута при вивченні властивостей метричного простору. *Вісник Черкаського університету. Серія: Педагогічні науки*. 2016. № 13. С. 26-32.
10. Кузьмич В. І. Кутова характеристика у метричному просторі. *Algebraic and geometric methods of analysis: International scientific conference : book of abstracts*. 2017. С. 11–12. [електронний ресурс] код доступу URL: https://www.imath.kiev.ua/~topology/conf/agma2017/agma2017_abstracts.pdf.
11. Кузьмич В.І., Кузьмич Ю.В. Аналоги формули Юнґіуса об'єму тетраедра. *Вісник Черкаського університету. Серія: Педагогічні науки*. 2012. № 36(249). С. 55-64.
12. Kuz'mich V. I., Kuz'mich Y. V. Software tool for calculating the volume of the tetrahedron on the lengths of its edges. *Інформаційні технології в освіті: Збірник наукових праць*. Херсон: Видавництво Херсонського державного університету. 2012. Вип. 12. С. 67-72.
13. Savchenko O. A remark on stationary fuzzy metric spaces. *Carpathian Mathematical Publications*. 2011. **3** (1). 124–129. URL: <http://journals.pu.if.ua/index.php/cmp/article/view/85>.
14. Savchenko A. Fuzzy hyperspace monad. *Mat. Stud.* 2010. **33**(2). 192–198. URL: http://matstud.org.ua/texts/2010/33_2/192-198.pdf.
15. Savchenko A., Zarichnyi M. Probability measure monad on the category of fuzzy ultrametric spaces. *Azerbaijan Journal of Mathematics*. 2011. **1**(1). 114–121. URL: <https://www.azjm.org/volumes/0101/0101-6.pdf>.

References

1. Berzhe, M. (1984). *Geometriya*. Tom 1. M.: Mir.
2. Kagan, V. F. (1963). *Ocherki po geometrii*. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta.
3. Dovhoshei, A. A., & Dordovskiy, D. V. (2019). Otnoshenye lezhat mezhd u yzometrycheskye vlozheniya metrycheskykh prostranstv. *Ukrainskyi matematychnyi zhurnal*. **10**(61), 1319-1328.
4. Kuz'mych, V., & Kuz'mych, L. (2018). Pobudova pryamoliniyno rozmishchenykh mnozhyn pry vyvchenni metrychnykh prostoriv. *Naukovyy visnyk Skhidnoyevropeys'koho natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrayinky. Seriya: Pedahohichni nauky*. **9**(382), 30-36.

5. Kuz'mych, V. I. (2017). Plosko rozmishcheni mnozhyny tochok u metrychnomu prostori. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriya: mekhaniko-matematychna*. Vyp. 83, 58–71.
6. Kuz'mich, V. I. (2019). Geometric Properties of Metric Spaces. *Ukrainian Mathematical Journal*, **71**(3), 435-454. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11253-019-01656-1>.
7. Kuz'mych, V. I. (2017). Pobudova ploskykh obraziv u dovil'nomu metrychnomu prostori. *Visnyk Cherkas'koho universytetu. Seriya: Pedahohichni nauky*. **11**, 40–46.
8. Kuz'mych, V. I., & Savchenko, A. G. (2019). Geometric relations in an arbitrary metric space. *Matematychni Studii*. **1**(52), 86-95. DOI: <https://doi.org/10.30970/ms.52.1.76-85>.
9. Kuz'mych, V. I. (2016). Poniattia kuta pry vyvchenni vlastyvostei metrychnoho prostoru. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriya: Pedahohichni nauky*. **13**, 26-32.
10. Kuz'mych, V. I. (2017). Kutova kharakterystyka u metrychnomu prostori. *Algebraic and geometric methods of analysis: International scientific conference : book of abstracts*, pp. 11-12. [elektronnyy resurs] kod dostupu URL: https://www.imath.kiev.ua/~topology/conf/agma2017/agma2017_abstracts.pdf
11. Kuz'mych, V. I., & Kuz'mych, Yu. V. (2012). Analohy formuly Yunhiosa ob'yemu tetraedra. *Visnyk Cherkas'koho universytetu. Seriya: Pedahohichni nauky*. **36**(249), 55-64.
12. Kuz'mich, V. I., & Kuz'mich, Yu. V. (2012). Software tool for calculating the volume of the tetrahedron on the lengths of its edges. *Informatsiyini tekhnolohiyi v osviti: Zbirnyk naukovykh prats'*. Kherson: Vydavnytstvo Khersons'koho derzhavnoho universytetu. **12**, 67-72.
13. Savchenko, O. (2011). A remark on stationary fuzzy metric spaces. *Carpathian Mathematical Publications*. **3** (1), 124–129. URL: <http://journals.pu.if.ua/index.php/cmp/article/view/85>.
14. Savchenko, A. (2010). Fuzzy hyperspace monad. *Mat. Stud.* **33**(2), 192–198. URL: http://matstud.org.ua/texts/2010/33_2/192-198.pdf.
15. Savchenko, A., & Zarichnyi, M. (2011). Probability measure monad on the category of fuzzy ultrametric spaces. *Azerbaijan Journal of Mathematics*. **1**(1), 114–121. URL: <https://www.azjm.org/volumes/0101/0101-6.pdf>.

Валько Катерина Віталіївна – студентка бакалавріату спеціальності “Комп’ютерні науки”, факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
e-mail: katerynavalko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9746-018X.

Кузьмич Валерій Іванович – к.ф.-м.н., доцент, професор кафедри алгебри, геометрії та математичного аналізу Херсонського державного університету,
e-mail: vikuzmichksu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8150-3456.

Кузьмич Людмила Василівна – к.пед.н., доцент, доцент кафедри алгебри, геометрії та математичного аналізу Херсонського державного університету,
e-mail: lvkuzmichksu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6727-9064.

Савченко Олександр Григорович – д.ф.-м.н., професор, професор кафедри алгебри, геометрії та математичного аналізу Херсонського державного університету,
e-mail: savchenko.o.g@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4687-5542.

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Відповідальний за випуск	Хомченко Анатолій Никифорович, д.ф.-м.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України
Технічний редактор	Литвиненко Олена Іванівна к.т.н., доцент
Макетування	Омельчук Антон Анатолійович

Свідоцтво про державну реєстрацію засобу масової інформації –
серія KB № 23529-13369P от 03.08.2018

Підписано до друку 06.09.2021 р. Формат 60x84/8 Папір офсетний.
Ум. друк. аркушів 34,3. Замовлення № 9/0820. Наклад 120 прим.

© Херсонський національний технічний університет 2021

Адреса редакції: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, корп. 3,
каб. 425, тел. (0552) 32-69-95. E-mail: aqmm@kntu.net.ua

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
E-mail: office@oldiplus.com
Свід. ДК № 6532 від 13.12.2018 р.