

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ ХХІІ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ З  
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ



Херсон – 2021

**МАТЕРІАЛИ ХХІІ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**МАТЕРИАЛЫ ХХІІ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ**

**MATERIALS OF 22TH INTERNATIONAL CONFERENCE  
OF MATHEMATICAL MODELLING**

Збірка матеріалів конференції

**13-17 вересня 2021 року  
Херсон, Україна**

**13-17 сентября 2021 года  
Херсон, Украина**

**September 13-17, 2021  
Kherson, Ukraine**

## **Організатори конференції**

Херсонський національний технічний університет  
Українська асоціація з прикладної геометрії  
Чорноморський національний університет ім. П. Могили (м. Миколаїв)  
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Херсонська філія)  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Akademia Ekonomiczno-Humanistyczna w Warszawie, Polska  
Instituto politécnico nacional, seri-esime-zacatenco, ciudad de México, México  
Брестський державний технічний університет (м. Брест)  
Херсонська державна морська академія

## **Організаційний комітет:**

**Голова** Бардачов Ю.М. – д.т.н., професор, ректор ХНТУ (Херсон)  
**Заступники голови:** Астіоненко І.О. – к.ф.-м.н., доцент кафедри ВМ і ММ ХНТУ (Херсон)  
Литвиненко О.І. – к.т.н., доцент кафедри ІТ та ФМД ХФ НУК (Херсон)

## **Програмний комітет**

**Голова** Хомченко А.Н. – д.ф.-м.н., професор кафедри ПС ЧНУ ім. П. Могили (Миколаїв)  
**Заступники голови** Тулученко Г.Я. – д.т.н., професор кафедри ВМ і ММ ХНТУ (Херсон)  
Рудакова Г.В. – д.т.н., професор кафедри АРМ ХНТУ (Херсон)

## **Члени комітету:**

Абрамов Г.С. к.ф.-м.н. (Херсон);  
Андрейцев А.Ю. к.ф.-м.н. (Київ);  
Babichev S.A. PhD (Czech Republic);  
Баклан І.В. к.т.н. (Київ);  
Бень А.П. к.т.н. (Херсон);  
Ванін В.В. д.т.н. (Київ);  
Вахненко В.О. д.ф.-м.н. (Київ);  
Вирченко Ю.П. д.ф.-м.н. (Белгород); Гвоздева І.М. д.т.н. (Одеса);  
Гнатушенко В.В. д.т.н. (Дніпро);  
Guchek P., Dr.Sc. (Poland);  
Дудченко О.М. к.т.н. (Херсон);  
Жолткевич Г.М. д.т.н. (Харків);  
Комяк В.М. д.т.н. (Харків);  
Корчинський В.М. д.т.н. (Дніпро);  
Куклін В.М. д.ф.-м.н. (Харків);  
Куценко Л.М. д.т.н. (Харків);  
Лазурик В.Т. д.ф.-м.н. (Харків);  
Лебеденко Ю.О. к.т.н. (Херсон);  
Литвиненко В.І. д.т.н. (Херсон);  
Литвинова М.Б. д.п.н. (Херсон);  
Ляшенко В.П. д.т.н. (Кременчук); Мазманішвілі О.С. д.ф.-м.н. (Харків);  
Мельник І.В. д.т.н. (Київ);  
Миргород В.Ф. д.т.н. (Одеса);  
Michtchenko O.V. (México);  
Мусій Р.С. д.ф.-м.н. (Львів);  
Найдиш А.В. д.т.н. (Мелітополь);  
Несвідомін В.М., д.т.н. (Київ);  
Петрик М.Р. д.ф.-м.н. (Тернопіль);  
Пилипака С.Ф. д.т.н. (Київ);  
Плоский В.О. д.т.н. (Київ);  
Поливода О.В. к.т.н. (Херсон);  
Редчиць Д.О. д.ф.-м.н. (Дніпро);  
Рожков С.О. д.т.н. (Херсон);  
Розов Ю.Г. д.т.н. (Херсон);  
Самохвалов С.Є. д.т.н. (Кам'янське);  
Smolarz A. Prof. dr hab. inż. (Poland);  
Свешников В.М. д.ф.-м.н. (РАН);  
Смирнов І.В. д.т.н. (Київ);  
Стрельнікова О.О. д.т.н. (Харків);  
Тарасов С.В. к.т.н. (Дніпро);  
Човнюк Ю.В. к.т.н. (Київ);  
Шоман О.В. д.т.н. (Харків);  
Шуть В.Н. к.т.н. (Брест);  
Wojcik W. Prof. dr hab. inż. (Poland);  
Zimek Z. PhD (Poland);  
Эфендиев Горхмаз Джаваншир оглы. PhD (Азербайджан).

У збірнику представлено матеріали XXII міжнародної конференції з математичного моделювання МКММ-2021, яка відбулася з 13 по 17 вересня 2021 року в ХНТУ і була присвячена актуальним питанням математичного моделювання, прикладної геометрії та інформаційних технологій.

XXII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2021) [Збірка тез (13-17 вересня 2021 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2021. – 108 с.

## ЗМІСТ

<b>А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ, Ю.Э. ВЯЛА, А.В. ГЕЙЛИК, О.В. ЛЯШКО</b> <b>АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА</b> <b>И СВЕДЕНИЕ К НЕЙ НЕКОТОРЫХ РОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ</b>	10
<b>А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ, И.В. СМИРНОВ, А.В. ЧОРНИЙ, С.Н. МИНАКОВ</b> <b>АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ</b> <b>ПОРОШКА ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ СФЕРОИДИЗАЦИИ</b>	11
<b>Л.Г. АХМЕТШИНА, А.А. ЕГОРОВ</b> <b>УЛУЧШЕНИЕ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ</b> <b>АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ЯРКОСТИ НЕЧЕТКИХ ФУНКЦИЙ</b> <b>ПРИНАДЛЕЖНОСТИ</b>	12
<b>S. BABICHEV, L. YASINSKA-DAMRI</b> <b>TECHNIQUE OF GENE REGULATORY NETWORK TOPOLOGY OPTIMIZATION</b> <b>BASED ON THE USE OF ANSAMBLE OF THE TOPOLOGICAL PARAMETERS</b>	14
<b>І.В. БАЙРАК, Г.В. РУДАКОВА, Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО</b> <b>МЕТОДИ ОБРОБКИ GPS-ДАНИХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КРУГОВОГО РУХУ</b> <b>ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН</b>	16
<b>М.Г. БЕРДНИК., І.Г. ГУЛІНА</b> <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОД РІШЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ</b> <b>НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ ПАРАБОЛОЇДА ОБЕРТАННЯ</b>	17
<b>С.Г. БЛАЖЕВСЬКИЙ, О.М. ЛЕНЮК, О.М. НІКІТІНА, М.І. ШИНКАРИК</b> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІКИ МЕТОДОМ ГІБРИДНОГО</b> <b>ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ</b> <b>ТИПУ ЕЙЛЕРА-БЕССЕЛЯ НА СЕГМЕНТІ</b>	18
<b>В.Д. БОРИСЕНКО, С.А. УСТЕНКО, І.В. УСТЕНКО</b> <b>НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ СТАРОВИННИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ</b>	19
<b>Л.П. ВАКАЛ, Є.С. ВАКАЛ</b> <b>ПОБУДОВА ЗВУКОВИХ ОБРАЗІВ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ</b>	20
<b>К.В. ВАЛЬКО, В.І. КУЗЬМИЧ, Л.В. КУЗЬМИЧ, О.Г. САВЧЕНКО</b> <b>ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТОЧОК МЕТРИЧНОГО ПРОСТОРУ</b> <b>ЗА ДОПОМОГОЮ ДИНАМІЧНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА</b> <b>GEOGEBRA 3D</b>	21
<b>В.О. ВАХНЕНКО, Д.Б. ВЕНГРОВИЧ</b> <b>СОЛІТОН З ПОЛЮСОМ ДРУГОГО ПОРЯДКУ В ОБЕРНЕНІЙ ЗАДАЧІ</b> <b>РОЗСІЯННЯ</b>	23
<b>I.G. VELICHKO, E.V. STEGANTSEV</b> <b>THE CHROMATIC NUMBER OF THE FUNCTION</b>	24
<b>В.М. ВЕРЕЩАГА, О.М. ПАВЛЕНКО</b> <b>ТРИРОЗМІРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТРИЦІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ</b> <b>СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄМНИХ</b> <b>ОБ'ЄКТІВ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ</b>	25
<b>І.О. ВСРУШКІН, О.О. СТРЕЛЬНІКОВА</b> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З</b> <b>ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГІПЕРСИНГУЛЯРНИХ РІВНЯНЬ</b>	26

<b>О.В. ВОРОНЦОВ, О.В. ВОРОНЦОВА</b> <b>ДИСКРЕТНА ГІПЕРБОЛІЧНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ</b> <b>КООРДИНАТ ТРЬОХ ДОВІЛЬНО ЗАДАНИХ ТОЧОК</b>	27
<b>D.V. VORONTSOVA, A.O. DASHKEVYCH, H.V. FEDCHENKO, V.V. TIANLO</b> <b>3D OBJECTS CREATION APPROACHES</b>	29
<b>І.М. ГВОЗДЕВА, В.Ф. МИРГОРОД, В.В. БУДАШКО</b> <b>ТРЕНДОВИЙ АНАЛІЗ ДВОВИМІРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ</b>	30
<b>Вікт. В. ГНАТУШЕНКО, Н. Л. ДОРОШ, Т. М. ФЕНЕНКО</b> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПОМИЛОК НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ</b>	31
<b>Вікт. В. ГНАТУШЕНКО, К.В. КИТОВА, О.В. ДОРОШ</b> <b>МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ВНЗ</b>	33
<b>С. І. ГОМЕНЮК, С. М. ГРЕБЕНЮК, Н. І.-В. МАНЬКО, О. Г. СПИЦЯ</b> <b>ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ШТАМПІВ ТА</b> <b>ГУМОВОКОРДНОЇ СМУГИ</b>	34
<b>І.В. ГОЯНЮК, М.Р. ПЕТРИК, І.Я. МУДРИК</b> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО МАСОПЕРЕНОСУ В СЕРЕДОВИЩІ</b> <b>МІКРОПОРИСТИХ ЧАСТИНОК</b>	35
<b>В.В. ГРИЦИК</b> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРІЇ ЗОБРАЖЕНЬ – МНОЖИНИ ТОЧОК І ОПЕРАЦІЙ НАД</b> <b>НИМИ</b>	36
<b>О.М. ГУМЕН, С.Є. ЛЯСКОВСЬКА,Є.В. МАРТИН</b> <b>ПОБУДОВА ТРИВИМІРНОГО ЦИЛІНДРА ЧОТИРИВИМІРНОГО ПРОСТОРУ</b>	37
<b>О.П. ДЕМ'ЯНЧЕНКО</b> <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОРОЖНИСТОГО</b> <b>ВАЛКА ПРОКАТНОГО СТАНУ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ТЕПЛООБМІНУ НА</b> <b>ПОВЕРХНІ</b>	39
<b>В.В. ДУМАНСЬКА, Ю.В. ДОЦЕНКО, Н.В. СИДОРОВА, Л.М. МАКАРЕНКО</b> <b>ПОКРИТТЯ ІЗ ФЕМ З ОСНОВОЮ ІЗ ПІРАМІДАЛЬНОГО ТА РЕБРИСТИХ</b> <b>ЕЛЕМЕНТІВ</b>	40
<b>Н.М. ЗАЩЕПКІНА, В.В. ТАРАНОВ, С.О БОЙЧУН, Д. С. МЕЛЬНИЧЕНКО</b> <b>ВИМІРЮВАННЯ НІТРАТИВ У ВОДІ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ</b>	42
<b>Т.С. КАГАДІЙ, А.Г. ШПОРТА, Ю.О. БІЛОВА, О.В. БІЛОВА, І.В. ЩЕРБИНА</b> <b>ЗАСТОСУВАННЯ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ</b> <b>ГЕОМЕТРИЧНО НЕЛІНІЙНОЇ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ</b>	44
<b>С.Л. КАРПЕНКО, Г.В. РУДАКОВА, В.М. ПОЛЩУК</b> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ГІДРАВЛІЧНІ</b> <b>ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ</b>	46
<b>В.М. КОМЯК, К.Т. КЯЗІМОВ</b> <b>ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОБМЕЖЕНЬ В ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ГРУП ЛЮДЕЙ</b> <b>ПРИ ЕВАКУАЦІЇ З БУДІВЕЛЬ ВАНТАЖЕМ</b>	47
<b>Є.С. КОНОНЕНКО</b> <b>КОЛИВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ДІЄЮ ПЕРІОДИЧНИХ</b> <b>НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТІВ ГІДРОПРУЖНОСТІ</b>	48

<b>В.М.КОРЧИНСЬКИЙ</b> <b>ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ ЗА</b> <b>БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИМИ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ</b> <b>ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ</b>	49
<b>В.М.КОРЧИНСЬКИЙ, Д.М.СВИНАРЕНКО</b> <b>ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ</b> <b>ПЕРЕДАЧІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ</b> <b>ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ</b>	50
<b>ЛІСІН Д.О., ЛІСІНА О.Ю., ШИЛЬМАН Ю.</b> <b>АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ГРАФІВ ОДИНИЧНИХ КРУГІВ</b>	51
<b>М.Б. ЛІТВИНОВА, О.Д. ШТАНЬКО, С.О. КАРПОВА, К.О. ЯНОВСЬКА</b> <b>МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОБМІНУ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ГЕНЕРАТОРІ</b> <b>ПІД ЧАС УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПОБУТОВОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ</b> <b>ПЕЧІ</b>	52
<b>В.І. МАГРО, С.В. ПЛАКСІН, В.О. СВЯТОШЕНКО</b> <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ</b> <b>ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ І ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ</b>	53
<b>В.І. МАГРО, С.В. ПЛАКСІН, В.О. СВЯТОШЕНКО</b> <b>ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТЕСТУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ В МІКРОСЕРВІСНІЙ</b> <b>ІНФРАСТРУКТУРІ</b>	54
<b>А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Н.В. МОСКАЛЕЦ, А.А. ЩЕРБАКОВ</b> <b>ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭМИССИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ</b> <b>ЭЛЕКТРОНОВ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА</b> <b>ФОТОНОВ В КАНАЛЕ ВЫВОДА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b> <b>НАКОПИТЕЛЯ "НЕСТОР" ННЦ ХФТИ</b>	55
<b>І.В. МЕЛЬНИК, С.Б. ТУГАЙ</b> <b>ДИСКРЕТНИЙ АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ,</b> <b>ОСНОВАНІЙ НА МЕТОДАХ ТЕОРІЇ СКІНЧЕННИХ АВТОМАТІВ</b>	56
<b>І.В. МЕЛЬНИК, С.Б. ТУГАЙ, В.О. КИРИК, Д.В. КОВАЛЬЧУК</b> <b>ОЦІНЮВАННЯ РОБОЧОГО ТИСКУ ГАРМАТ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТЛЮЧОГО</b> <b>РОЗРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ</b>	58
<b>І.В. МОСУР, О.В. ПОЛИВОДА, Г.В. РУДАКОВА, В.В. ПОЛИВОДА</b> <b>МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> <b>ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ</b> <b>ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ОСНОВІ ІОТ</b>	60
<b>Р.С. МУСІЙ, У.В. ЖИДИК, Н.Б. МЕЛЬНИК, В.К. ШИНДЕР, О.М. М'ЯУС,</b> <b>Р.А. НАКОНЕЧНИЙ</b> <b>ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ В ШАРУВАТІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ</b> <b>ОБОЛОНЦІ ЗА ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВУ</b>	61
<b>Р.С. МУСІЙ, Н.Б. МЕЛЬНИК, А.Й. НАКОНЕЧНИЙ, Л.В. ГОШКО, Б.Й. БАНДИРСЬКИЙ</b> <b>ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ КУЛІ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО</b> <b>ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ</b>	62
<b>D.O. NECHAI</b> <b>USING METADATA TO GENERATE INFORMATION SYSTEMS</b>	63

А. Ю. НИЦЫН <b>СВЯЗЬ ГРУППЫ СИММЕТРИИ ОРНАМЕНТА НА ЭСКИЗЕ М. К. ЭШЕРА «МОРСКИЕ КОНЬКИ» С ДВИЖЕНИЯМИ ПЛОСКОСТИ, ОПИСЫВАЮЩИМИ ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ФИГУРНОЙ ПЛИТКИ</b>	65
О.В. ОСТАПЧУК, Ю.В. ШКІЛЬ, І.В. ТИМЧЕНКО <b>МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОДІЙНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ</b>	66
Ю.І. ПЕРШИНА <b>ВІДНОВЛЕННЯ ТРИВИМІРНОГО ТІЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАТОРА МІШАНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ПОЛІНОМАМИ БЕРНШТЕЙНА</b>	67
Б. В. ПЕТРИК, В. І. ДУБРОВІН <b>DETECTION OF DOS ATTACKS IN NETWORK TRAFFIC BY WAVELET TRANSFORM</b>	68
Т.А. ПРОКОФЬЕВ, А.В. ИВАНЧЕНКО, В.В. ГНАТУШЕНКО <b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЦЕНТРОВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ШИРОКИМИ СПЕКТРАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ</b>	69
Д.А. РЕДЧИЦ, А.В. ЗИНЧЕНКО, О.Б. ПОЛЕВОЙ, С.В. МОЙСЕЕНКО, В.А. ЗАЙКА <b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ</b>	71
С.О. РОЖКОВ, А.А. ІВАНОВ, К.В. ТИМОФЕСЬ, І.Б. БУТАКОВ <b>ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ СУДНА</b>	72
О. Н. РОМАНЮК, О. В. РОМАНЮК, О. М. ЦІХАНОВСЬКА, Л. Г. КОВАЛЬ <b>РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ</b>	74
О.М. СЕРІКОВА, О.О. СТРЕЛЬНИКОВА, В.І. ГНІТЬКО, К.Г. ДЕГТЯРЬОВ, А.М. ТОНКОНОЖЕНКО <b>ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ І МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКОМПОЗИТІВ ІЗ НЕВПОРЯДКОВАНИМИ СФЕРИЧНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ</b>	77
В.Ю. СКОСАР, С.В. БУРИЛОВ, В.О. ДЗЕНЗЕРСЬКИЙ <b>МОДЕЛЮВАННЯ ВИНАХІДНИЦЬКОГО ПРОЦЕСУ НА ПРИКЛАДІ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ</b>	79
В.Ю. СКОСАР, О.С. ВОРОШИЛОВ, С.В. КОМАРОВ <b>МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ КОСМІЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	81
Н.О.СОКОЛОВА, П.С.КОРНЮШЕНКО <b>МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ COVID-19 З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ ПАРАДИГМИ</b>	82
S.A. STANKEVICH, M.O. SVIDENIUK, A.R. LYSENKO <b>LAND SURFACE DIELECTRIC PERMITTIVITY SEQUENTIAL RESTORATION BY DUAL-POLARIZATION RADAR IMAGE</b>	84
СТАНКЕВИЧ С.А., ТИТАРЕНКО О.В., ГОЛУБОВ С.И. <b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ</b>	86

<b>С.В. ТАРАСОВ, О.В. ДОРОШ, А.С. ТАРАСОВ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ І РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОЗСУВНИХ ЛОПАТЕЙ І ТРАВЕРС Н-РОТОРІВ ДАР'Є</b>	87
<b>С.В. ТАРАСОВ, І.Ю. КОСТЮКОВ, І.Б. ЧАШИНА КОРИГУВАННЯ ЕМПІРИЧНОГО РІВНЯННЯ ГЛАУЕРТА ДЛЯ КОЕФІЦІЄНТА ОСЬОВОЇ СИЛИ ПОТОКА В ІМПУЛЬСНИХ МОДЕЛЯХ Н-РОТОРА ДАР'Є</b>	89
<b>М.О. ТЕРЕЩУК, О.О. ГОЛОВА, О.О. ЛЕБЕДЄВА, Н.М. ЛИНОК, О.В. ГОЛОВЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ</b>	90
<b>Н. К. ТИМОФІЄВА ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХНЬОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ</b>	91
<b>Р.В. ТРЕМБОВЕЦЬКА, В.Я. ГАЛЬЧЕНКО, В.В.ТИЧКОВ ОПТИМАЛЬНЕ СУРОГАТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ НАКЛАДНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ</b>	92
<b>Р. Р. ТРОКНІМШУК SOME QUESTIONS OF MODELLING THE ELIIONIC-INDUCED ATOMIZATION OF MATTER</b>	94
<b>О.В.ТУМАШОВА ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ ТА ДОВЖИНИ ГНУЧКОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПАНЕЛІ НА ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН</b>	95
<b>А. В. УСОВ, М. В. КУНЦІН, Ю. І. ЗАЙЧИК МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ КОНІЧНИХ ВИРОБІВ НА ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЯХ</b>	96
<b>А. В. УСОВ, М. В. КУНЦІН, Ю. Є. СІКІРАШ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕТЕРОГЕННОЇ СТРУКТУРИ СПЛАВІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЯХ</b>	97
<b>Л.А.ФРОЛОВА, Т.Є. БУТИРІНА, М.О. САВЧЕНКО, М.К. СУХИЙ ВИКОРИСТАННЯ СИМПЛЕКС-РЕШІТЧАСТИХ ПЛАНІВ ШЕФФЕ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДІВ Mn-Ni-Zn ФЕРИТІВ</b>	98
<b>Н.Н. ХАРИТОНОВ, И.И. КЛИМКИНА, О. В. ТИТАРЕНКО, Л.Б. АНИСИМОВА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ В ПОЙМЕ РЕКИ САМАРА</b>	99
<b>А. Н. ХОМЧЕНКО, О.І. ЛИТВИНЕНКО, І.О. АСТІОНЕНКО МОДЕЛІ КОНОЇДІВ ТА МЕТОД ПЕРЕРІЗІВ НА ПРИКЛАДІ БІКВАДРАТИЧНОГО СКІНЧЕННОГО ЕЛЕМЕНТА</b>	100
<b>.В. ЧЕРНІКОВ, О.В. АРХІПОВ, О.А. ЄРМАКОВА, Я.С. КОРЕЦЬКИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МАЙСТРА ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛІВ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ РІЗНОЇ ГЕОМЕТРІЇ</b>	101



<b>О.В. ЧЕРНИКОВ, Н.С. КАЛЮЖНА, А. ЛАМДАІНІ</b> <b>РОЗРОБКА ДОДАТКІВ ДО ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR 3</b> <b>ВИКОРИСТАННЯМ АРІ</b>	102
<b>О. В. ЧОПОРОВА, С. В. ЧОПОРОВ, А. О. ЛІСНЯК</b> <b>ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ</b> <b>НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КРУГЛОЇ ПЛАСТИНКИ</b>	103
<b>І. Ф. ШАЄХОВА, Ю.О. ОЛІЙНИК</b> <b>ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ АРХІТЕКТУРИ ГЕТЕРОГЕННОЇ</b> <b>МУЛЬТИКОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ</b>	104
<b>В.Н. ШУТЬ, Е.В.ШВЕЦОВА, Е.Е. ПРОЛИСКО</b> <b>СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДСКОЙ</b> <b>ПАССАЖИРСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ</b>	106
<b>Н.О. ЯРЕЦЬКА</b> <b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПОПЕРЕДНЬО</b> <b>НАПРУЖЕНОГО КІЛЬЦЕВОГО ШТАМПА ТА ПРУЖНОГО ПІВПРОСТОРУ З</b> <b>ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ</b>	107

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА И СВЕДЕНИЕ К НЕЙ НЕКОТОРЫХ РОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ**

Задача коммивояжера (задача о кольцевом маршруте): определение кратчайшего пути по замкнутому маршруту, является одной из основных составляющих любой логистической программы при планировании транспортных перевозок. Методы её решения достаточно широко освещены во многих монографиях, а так же в учебной литературе. Однако, на практике встречается ряд родственных задач, которые не могут быть решены в рамках классических подходов.

В данной работе проведён сравнительный анализ эффективности трёх методов решения задачи о кольцевом маршруте. Сделан вывод о том, что при небольшом количестве пунктов посещения наиболее эффективным является прямой комбинаторный метод (метод перебора всех возможных маршрутов). При увеличении количества посещаемых пунктов более эффективным становится метод ветвей и границ. Однако эффективность данного метода снижается в случае наличия нескольких оптимальных решений. Метод решения вырожденной транспортной задачи, несмотря на свою алгоритмичность, является приемлемым только в случае единственности решения или поиска одного из оптимальных решений

В докладе также рассмотрены два класса задач, которые могут быть сведены к классической задаче коммивояжера, а также предложены методы сведения рассмотренных задач к ней.

Первым из классов задач о кольцевом маршруте рассмотрен вариант, когда транспортное средство (судно) с необходимостью должно посетить один или несколько пунктов дважды, то есть для некоторых пунктов снимается ограничение одноразовости посещения. Показано, что данная задача распадается на две или более отдельных задач о кольцевом маршруте и её решение является суммой решений соответствующих классических задач. При этом решение задачи необходимо начинать с построения оптимального маршрута для последней группы пунктов, для которых определяется оптимальный кольцевой маршрут.

Второй класс задач, которые могут быть сведены к классической – это задачи с приоритетными участками: маршрутами, которые в силу определённых причин должны быть пройдены первыми или последними. В данном случае исходная задача может быть решена двумя способами. Первый из них состоит в выделении приоритетных маршрутов и дальнейшем решении задачи о кратчайшем пути для оставшихся неприоритетных пунктов. Второй способ заключается в поэтапном редуцировании матрицы перевозок при помощи введения фиктивных времени или затрат равных нулю для приоритетных маршрутов. Дальнейшее решение проводится по классической схеме решения задачи о кольцевом маршруте.

При наличии участков с одинаковыми приоритетами оптимальный маршрут, составленный из них, определяется непосредственным комбинаторным методом. Кроме того, отмечено, что при наличии большого количества приоритетных участков или нескольких не связанных между собой таких участков, эффективнее решать поставленную задачу путём сведения её к цепочке задач о нахождении кратчайшего пути по неприоритетным маршрутам.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ ПОРОШКА ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ СФЕРОИДИЗАЦИИ

В современных технологических процессах, например 3D печати, возникает необходимость использования металлических, керамических и металло-керамических порошков, частицы которых имеют идеальную сферическую форму, то есть лишены шероховатостей и неровностей, которые мешают качественному послойному наращиванию слоев. Таким образом, возникает задача эффективной сфероидизации порошков, полученных различными способами.

Наиболее эффективным способом сфероидизации является обработка порошка в потоке низкотемпературной плазмы. Для получения частиц сферической формы необходимо исследовать их термодинамические характеристики в процессе полёта. Для достижения нужного результата необходимо, чтобы к концу дистанции частица имела минимальную скорость, для избегания деформации при ударе о поверхность для сбора порошка. Кроме того, в процессе полёта частица должна полностью расплавиться, но не достигнуть температуры испарения, а потом затвердеть и на поверхности сбора порошка иметь достаточно низкую температуру.

С учётом указанных требований, задача моделирования процесса сфероидизации частиц порошка плазменно-дуговым методом распадается на две. Первая – определение скорости частицы в потоке низкотемпературной плазмы. Вторая – получение температурных характеристик частицы с учетом изменения её агрегатного состояния.

Определение скорости частицы проведено с использованием второго закона Ньютона. При этом единственной силой, действующей на частицу, считаем силу аэродинамического сопротивления. Остальными силами пренебрегаем, поскольку они оказывают незначительное влияние на полёт частицы. Скорость плазменного потока аппроксимируем экспоненциальной функцией. В результате, получаем неявное решение дифференциального уравнения для определения скорости частицы вдоль дистанции.

Для исследования температурного режима разбиваем вторую задачу на пять этапов.

На первом из них происходит разогрев частицы до температуры плавления. В данном случае используем для определения температуры уравнение теплового баланса, поскольку частица ещё не приобрела сферическую форму.

Второй этап – процесс плавления частицы. Здесь мы определяем время плавления частицы, исходя из уравнения теплового баланса, при условии отсутствия теплового потока на границе фазового перехода.

Третий этап – полёт частицы в расплавленном состоянии. Для моделирования процесса решаем краевую задачу для одномерного уравнения теплопроводности для сферического тела. При этом дистанция разбивается на участки, на каждом из которых физико-химические характеристики плазмообразующего газа и материала порошка считаем постоянными, а температуру плазмы аппроксимируем кубическим сплайном.

Для четвертого этапа (затверждение частицы) использована та же модель, что и для второго. На пятом этапе (остывание частицы) использован тот же подход, что и на третьем.

Нами установлено, что для частиц титана диаметром 10 мкм, скорость частицы при достижении поверхности для сбора порошка равна приблизительно 2-5 м/с, а температура – 500-600<sup>0</sup>С. При этом максимальная температура частицы в процессе полёта не превышает 2800<sup>0</sup>С, что ниже температуры испарения.

## УЛУЧШЕНИЕ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ЯРКОСТИ НЕЧЕТКИХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Число практических задач, связанных с цифровой обработкой изображений, в разных областях человеческой деятельности постоянно возрастает. Противоречивость процесса преобразования изображений заключается в том, что необходимо как обеспечение максимальной чувствительности используемых методов к небольшим локальным вариациям значений яркости, так и устойчивость к влиянию структурных и измерительных шумов. При этом нужно учитывать неопределенность изображений [1], которая является атрибутом информации [2]. Современный подход к решению задачи анализа изображений базируется на использовании нечетких методов [3].

Нечеткие множества типа\_1 (НМТ1), предложенные Л. Заде позволяют преобразовать неопределенность в функцию принадлежности, имеющую числовое значение на отрезке [0,1]. Нелинейность нечетких методов обработки дает возможность усилить влияние вариаций яркостных свойств анализируемых изображений и устранять неоднозначность серого. Однако, НМТ1 не позволяют учитывать неопределенности в функциях принадлежности, т.к. они характеризуются четкими значениями. Нечеткая логика типа\_2 (Т2) являются обобщением концепции теории обычных нечетких множеств и позволяет рассматривать задачи, имеющие более высокую степень неопределенности, заключающуюся, в частности, в методах представления изображений и в алгоритмах их обработки [4].

В работе рассмотрены информационные возможности характеристик, синтезируемых в нечетком пространстве признаков с применением функции принадлежности типа\_2 (ФПТ2) и влияние способа их формирования на получаемый результат в задаче улучшения качества полутоновых изображений. Предложен метод автоматизированного отбора наиболее информативных нечетких составляющих на основе анализа их яркостных характеристик на этапе дефазификации с применением сингулярного разложения.

Предложенный в данной работе алгоритм включает следующие шаги.

1. Масштабирование исходного полутонового изображения  $I$  на отрезок [0,1].
2. Предобработка, выполняемая в этой работе на основе адаптивной степенной коррекции яркости [5] и локального вычитания фона и формирование изображения  $I^3$ .
3. Расчет значений «верхней» ( $I_h^3$ ) и «нижней» ( $I_l^3$ ) функция принадлежности типа\_1 (ФПТ1) на основе степенных преобразований, а также вычисление ФПТ2 ( $I^4$ ) на основе их разности для  $I^3$ , которое интерпретируется как ФПТ1.
4. Автоматизированный отбор наиболее значимых из изображений  $I^3$ ,  $I^4$ ,  $I_l^3$ ,  $I_h^3$ , который

осуществляется на основании оценки уровня их яркости  $V = \sum_{j=1}^{N_w} \left( (I')^{1-v_j} - (I')^{(\bar{i}_j + \bar{I})/2} \right)$ , где

$\bar{i}_j$  – средняя яркость  $j$ -го окна (размерность окна оказывает значительное влияние на значение  $V$ );  $N_w$  – количество окон,  $I' = (\bar{I} + 0.5 \cdot (I_{\min} + I_{\max})) / 2$ , причем  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  и  $\bar{I}$  – минимальный, максимальный и средний уровни яркости обрабатываемого изображения, соответственно, а  $v_j$  – оценка уровня яркости  $j$ -го окна, которая выполняется на основе степенных преобразований.

Для  $I^3$ ,  $I^4$ ,  $I_l^3$ ,  $I_h^3$  вычисляется  $V$ , и те из них, для которых  $\bar{V} > |V|$ , где  $\bar{V}$  – среднее значение по оценкам яркости, включаются в ансамбль изображений  $I^5$ .

5. Применение к  $I^5$  сингулярного разложения, в результате которого формируется матрица  $I^6$  (матрица левых сингулярных векторов), которая интерпретируется как многомерное изображение размерностью  $[dy \times dx \times K]$ , каждая спектральная компонента которого масштабируется на отрезок  $[0,1]$ . Также формируются векторы коэффициентов  $C$  и  $S$ .
6. Упорядочивание вектора  $C$  по убыванию и нормирование его элементов так, чтобы их сумма была равна 1.
7. Выбор такого индекса  $i_{\max}$  на основе значения  $dC_a$  при просмотре элементов вектора  $dC$  с конца, для которого  $dC_{i_{\max}} \geq dC_a$ . Последующая нормировка элементов вектора  $dC$  с индексами от 1 до  $i_{\max} + 1$ , чтобы их сумма была равна 1.
8. Формирование итогового изображения  $I^7$  как взвешенной суммы наиболее значимых компонент матрицы  $I^6$ . Применение к этому изображению адаптивной эквализации гистограммы.

На рис. 1 а. представлено оптическое микроскопическое изображение образца фосфоросодержащего сплава Fe–2%P–0,042%C с увеличением  $\times 250$ , полученное на металлографическом микроскопе GX-51 с цифровой системой анализа изображений фирмы «Olympus», которое имеет засвеченную область, неоднородный фон, шумы и недостаточный уровень контраста для проведения достоверного анализа. На рис. 1 б, в представлены результирующие изображения, полученные при использовании адаптивной степенной коррекции и локального вычитания фона, соответственно. В обоих случаях удалось достичь повышения уровня детализации

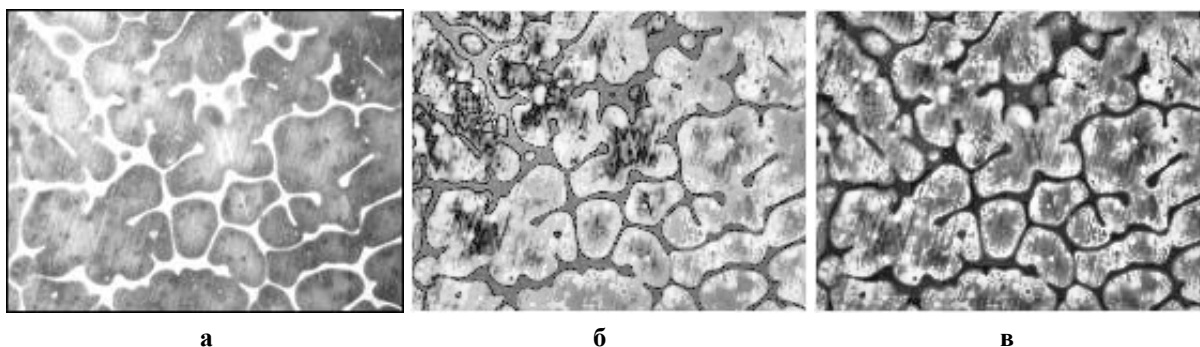


Рис. 1. Результат обработки: а – исходное изображение (142x186); результирующее изображение, полученное на основе: б – адаптивной степенной коррекции яркости; в – локального вычитания фона

### Выводы

Анализ экспериментальных результатов показал, что автоматизированный отбор изображений с использованием оценки их яркости 4-ом шагом предложенного алгоритма для последующего применения сингулярного разложения позволяет достичь повышения уровня детализации.

1. Bezdek J.C., Keller J., Krishnapuram R., Pal N.R. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing. Handbooks of Fuzzy Sets series. Boston : Kluwer Academic Publisher 1999. 678 p..
2. Bloch I. Signal and Image Processing. Telecom ParisTech 2008. 295 p.
3. Handbook of Biomedical Imaging / edited by Paragios N., Duncan J., Ayache N. Springer. 2015. 308 p. .
4. Mendel J.M., Robert I.J., Feilong L. Interval Type 2 Fuzzy Logic Systems Made Simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2006. Vol. 14. No 6. P. 808-821.
5. Akhmetshina L., Yegorov A. Improvement of Grayscale Images in Orthogonal Basis of the Type-2 Membership Function. *CMIS-2021: The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, Zaporizhzhia, April 27 2021*. P. 465-474.

## TECHNIQUE OF GENE REGULATORY NETWORK TOPOLOGY OPTIMIZATION BASED ON THE USE OF ANSAMBLE OF THE TOPOLOGICAL PARAMETERS

Reconstruction of gene regulatory network (GRN) using results of the experiments performed based on both DNA microchip or RNA molecules sequencing method is one of the current areas of modern bioinformatics. Gene regulatory network, in this case, is presented as a set of genes that interact between each other and with other molecular elements in order to control the specific cell functions. A correctly reconstructed GRN forms the basis for the investigation of both the character of genes interconnections and the influences of these interconnections on functional possibilities of the biological object. For this reason, the analysis of existing gene regulatory networks in terms of their topology is a very important task since its solving allows us to determine the optimal strategy of gene network topology formation. This fact indicates the actuality of the current research.

The following simple gene network topological parameters were investigated during the simulation process:

– *The degree of a node or its connectivity.* This value equals to total weight of links(arcs) which connected a given node with neighbouring nodes:

$$k_i = \sum_{j=1, i \neq j}^{n_i} \omega_{ij} \quad (1)$$

where  $n_i$  is the number of neighbouring with  $i$ -th gene nodes;  $\omega_{ij}$  is the weight coefficient of arc which connects the neighbouring nodes  $i$  and  $j$ .

– *The average degree or average connectivity.* It is defined as average degree of all nodes of the network:

$$\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

– *Maximum degree* defines as the maximum value of elements of degree vector of all nodes:

$$k_{max} = \max(k_1, k_n) \quad (3)$$

– *Density of the network.* It is defined as the ratio of the number of weighted connections between the network nodes to the largest possible number of connections between the all nodes of the network:

$$Dens = \frac{2}{n \cdot (n-1)} \times \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \quad (4)$$

where  $\omega_{ij}$  is the weight coefficient between nodes  $i$  and  $j$ ;  $n$  is the total number of the weighted connections between all nodes in the network.

– *Clustering coefficient of the node* is defined as a probability that neighbours' nodes of a given node are linked between each other directly.

– *Clustering coefficient of the network* is defined as an average of clustering coefficients of all nodes:

$$Cl = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{0.5 \times k_i(k_i - 1)} \quad (5)$$

where  $n$  is the number of nodes in the network;  $m_i$  is the number of actual connections between neighbours of a given node  $i$ ;  $k_i$  determines the maximal number of neighbours of the node  $i$  which can form a complete cluster.

– *Centralization coefficient of the network.* It is defined as degree of proximity of the network structure to the star topology:

$$Centr = \frac{n}{n-2} \left( \frac{k_{max}}{n-1} - Dens \right) \quad (6)$$

– *Heterogeneity of the network.* It is defined as degree of structural irregularity of network topology and it is expressed using the variance and mean of the average degree of the network nodes as follows:

$$Heter = \frac{\sqrt{var(k)}}{mean(k)} \quad (7)$$

However, it should be noted that hereinafter described simple topological parameters can be disagreed between each other. In this case, it is necessary to determine the general topological parameter which should contain the partial parameters as the components. Within the framework of our research, we calculate the general topological parameter based on Harrington desirability function which allows us to reduce a multicriterial task to a single criterial one:

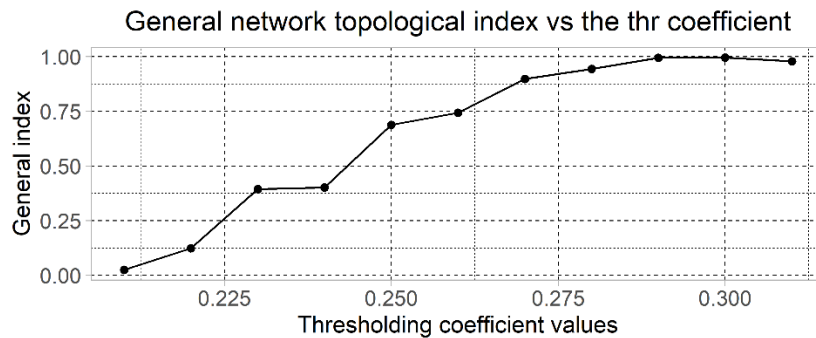
$$d = \exp(-\exp(-Y)) \quad (8)$$

where non-dimensional parameter  $Y$  is changed within the range from -2 to 5 and output parameter  $d$  (partial desirability) is changed in this case from 0 to 1. The general topological index as a geometric average of the partial desirabilities:

$$GTI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (9)$$

The maximum value of the general topological index corresponds to better topology in terms of the used criteria.

The simulation procedure was performed based on the use of dataset that contains 35 of selected genes in terms of the best resolution considering the type of the Alzheimer disease. The correlation inference algorithm was used to reconstruct the GRN. This procedure assumed increasing the thresholding coefficient within the range from 0.21 to 0.31 with step 0.01. The number of nodes was 35 in the case when the thresholding coefficient value was changed from 0.21 to 0.27, 34 when thresholding coefficient was changed from 0.28 to 0.3, and 33 when value of the thresholding was 0.31. The charts of the simple topological parameters versus the thresholding coefficient were created as the result of this step implementation. Figure 1 shows the chart of the general topological parameter versus the thresholding coefficient values. An analysis of the obtained chart allows concluding that the maximum value of the general topological index is achieved when the value of the thresholding coefficient is equal 0.3. Thus, in the case of correlation inference algorithm use, the optimal topology has network reconstructed with the use of thresholding coefficient 0.3. In this case the gene network contains 34 of genes from 35.



**Fig. 1.** Chart of the general topological index versus the thresholding coefficient

The further perspectives of the author's research are reconstruction of gene regulatory network using other inference algorithm and implementation of the simulation process based on the reconstructed models.

## МЕТОДИ ОБРОБКИ GPS-ДАНИХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КРУГОВОГО РУХУ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН

Останнім часом широко використовуються системи дистанційного моніторингу переміщення рухомих об'єктів з використанням GPS технологій. Актуальною задачею є застосування таких технологій для контролю параметрів руху об'єктів сільськогосподарського призначення [1].

Метою дослідження є розробка методів обробки GPS-даних для контролю та ідентифікації параметрів руху дощувальних машин типу «Фрегат», які знайшли поширене застосування в закритих зрошувальних системах на півдні України.

Завдяки особливостям роботи GPS навігації, основними причинами порушення точності даних з датчиків зазвичай виступають атмосферні умови та відбиття і спотворення. Навіть незначне уповільнення сигналу при проходженні іоносфери чи хмар здатне вносити серйозні відхилення [2].

В такому разі після отримання даних першою задачею є коригування, що необхідно для знаходження дійсних координат точок відстеження, їх обробки та подальшого проведення дослідження. Обчислення дійсних координат можливе за рахунок встановлення датчику на нерухомій точці  $O (X_0, Y_0)$ , що є центром обертання. Завдяки показникам встановленого на ній GPS-датчику здійснюється коригування отриманих координат інших точок відстеження в окремі моменти часу. Наприклад, точки, що розташована в кінці трубопроводу  $D (x_d, y_d)$ . Схему переміщення дощувальної машини в процесі роботи зображено на рис. 1.

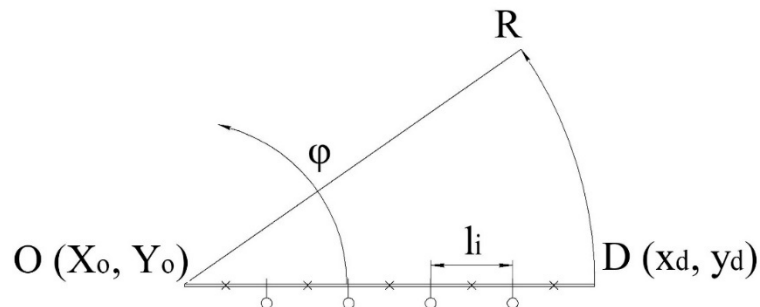


Рис. 1. Схема переміщення дощувальної машини

### Висновки

Завдяки встановленню GPS-датчиків на дощувальній машині «Фрегат» можна отримувати дані про переміщення машини для контролю її руху в режимі роботи. Запропоновані методи дозволяють коригувати спотворення даних, що отримуються від GPS-датчиків. Завдяки встановленню одного з датчиків на нерухому частину конструкції є можливим застосування запропонованих методів.

При встановленні додаткових точок контролю координат повздовж трубопроводу є можливість визначати стан трубопроводу з метою виявлення його кривизни та критичних перегинань конструкції. Це надає можливість своєчасно приймати рішення щодо режиму роботи дощувальної машини або її аварійної зупинки.

1. Тараріко О. Г. Арго-екологічний супутниковий моніторинг / О. Г.Тараріко, О. В. Сиротенко, Т. В. Ільєнко, Т. Л. Кучма. – Київ: Аграрна наука, 2019. – 204 с.
2. Куприянов А. О. Глобальные навигационные спутниковые системы / А. О. Куприянов. – Москва: МИИГАиК, 2017. – 76 с.



## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОД РІШЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ НЕЙМАНА ТЕПЛООБМІНУ ПАРАБОЛОЇДА ОБЕРТАННЯ

Одним з великомасштабних електротехнологічних процесів, що застосовуються в кольоровій металургії, є процес індукційного нагріву металу, призначений для термообробки металів під пластичну деформацію, загартування. В даний час недостатньо вивчені питання про розподіл температурних полів в заготовках при новому способу нагрівання, без знання яких неможливо здійснити його технічну реалізацію з високими техніко-економічними показниками. Тому вельми актуальною є задача розробки математичних методів моделювання температурних полів в заготовках при індукційному нагріву металу з використанням інноваційної технології, вирішення якої присвячена ця робота

В роботі побудована нова узагальнена просторова математична модель розрахунку температурних полів в заготовках у вигляді параболоїда обертання, що обертається з постійною кутовою швидкістю, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла у вигляді крайової задачі математичної фізики для гіперболічного рівняння теплопровідності, а також знаходження рішень отриманої крайової задачі.

В роботі досліджуються розрахунок температурного поля  $T(\rho, \varphi, z, t)$  параболоїда обертання (рис. 1) з твірною лінією  $r^2 = 2pz$  в циліндричній системі координат  $(r, \varphi, z)$ .

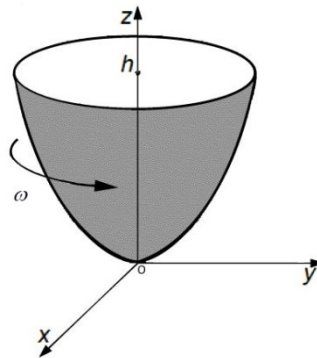


Рис. 1. Параболоїд обертання з рівнянням твірною лінією  $r^2 = 2pz$

Параболоїд обертається навколо осі OZ з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ , а швидкість поширення тепла є відомою величиною. Теплофізичні властивості параболоїда не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні. У початковий момент часу температура тіла постійна  $G_0$ , а на бічній поверхні тіла відоме значення теплового потоку  $V(\varphi, z)$ . При  $z=h$  відоме значення теплового потоку  $G_1(r, \varphi)$  ( $G_1(r, \varphi), V(\varphi, z) \in C(0, 2\pi)$ ).

В роботі побудована узагальнена просторова математична модель розрахунку температурних полів в прямому круговому конусі, який обертається з постійною кутовою швидкістю навколо осі OZ, з урахуванням кінцевої швидкості розповсюдження тепла у вигляді крайової задачі Неймана. В роботі побудовано інтегральне перетворення для двовимірного кінцевого простору, із застосуванням якого знайдено температурне поле в параболоїді обертання у вигляді збіжних рядів по функціям Фур'є.

Знайдений розв'язок узагальненої крайової задачі теплообміну параболоїда обертання, який обертається, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла може знайти застосування при модулюванні температурних полів, які виникають при індукційного нагріву, що здійснюється шляхом обертання заготовок в магнітному полі постійного струму, який створюється у збудниках з надпровідними обмотками

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІКИ МЕТОДОМ ГІБРИДНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ ЕЙЛЕРА-БЕССЕЛЯ НА СЕГМЕНТІ

На сучасному етапі науково-технічного прогресу, особливо у зв'язку із широким застосуванням композитних матеріалів, виникає гостра потреба у вивченні фізико-технічних характеристик даних матеріалів, які знаходяться в різних умовах експлуатації, що математично приводить до задач інтегрування сепаратної системи диференціальних рівнянь другого порядку на кусково-однорідному інтервалі з відповідними початковими та крайовими умовами, зокрема задача динаміки математично приводить до побудови розв'язку системи рівнянь з частинними похідними гіперболічного типу.

Одним із ефективних методів побудови інтегральних зображень аналітичних розв'язків алгоритмічного характеру задач математичної фізики є метод гібридних інтегральних перетворень.

В [1] побудовано гібридне інтегральне перетворення (ГІП), породжене на сегменті  $r \in [0; R_2]$  з однією точкою спряження гібридним диференціальним оператором (ГДО) Ейлера-Бесселя.

У даній роботі побудовано розв'язок задачі динаміки на двоскладовому сегменті  $r \in [0; R_2]$  з двома точками спряження методом ГІП Ейлера-Бесселя.

Задача динаміки на двоскладовому сегменті математично приводить до побудови обмеженого розв'язку сепаратної системи двох рівнянь з частинними похідними гіперболічного типу за відповідними початковими умовами, умовами спряження та крайовими умовами.

Застосувавши до даної крайової задач пряме ГІП Ейлера-Бесселя, ми одержуємо задачу Коші для звичайного диференціального рівняння другого порядку.

Знайшовши розв'язок задачі Коші, застосовуємо до нього обернене ГІП Ейлера-Бесселя. Виконавши певні перетворення, одержуємо єдиний розв'язок вихідної задачі.

### Висновки

Побудовані розв'язки крайових задач мають алгоритмічний характер, що дозволяє використовувати їх як в теоретичних дослідженнях, так і в числових розрахунках.

1. Нікітіна О.М. Гібридні інтегральні перетворення типу (Ейлера-Бесселя). Львів, 2008. 86 с. (Препринт. НАН України, Ін-т прикладних проблем математики і механіки ім. Я.С. Підстригача; 01-08).

## НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ СТАРОВИННИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ

Геометрія як систематична наука зародилася в Стародавній Греції, її аксіоматичні побудови описані в "Началах" Евкліда. Евклідова геометрія займалася вивченням найпростіших фігур на площині і в просторі, обчисленням їх площі та об'єму. Поняття давньогрецька геометрія охоплює досягнення грецькомовних математиків, які жили в період між VI століттям до н. е. і V століттям н. е. Саме в цей час було поставлено та розв'язано багато цікавих геометричних задач. Більшість цих задач розв'язувалася графічним шляхом, що вимагало виконання значної кількості різноманітних побудов. Це не дозволяло отримувати остаточні результати з високою точністю. Але питливий ум старовинних геометрів все ж таки дозволяв розв'язувати поставлені задачі. Багато цих задач було пов'язано з одним із найважливіших геометричних образів – колом, яке навіть у ті часи знаходило широке практичне застосування. До видатних геометрів того часу відносяться Евклід, Архімед Сіракузький, Аполлоній Пергський, Паппа Олександрійський та інші.

Старовинні математики вважали "істинно геометричними" лише ті задачі, які розв'язувалися тільки за допомогою циркуля та лінійки. Вони не признавали "законним" застосування інших засобів, особливо аналітичних, для розв'язання задач. У той же час старовинні математики успішно справлялися з найскладнішими задачами.

У цій роботі запропоновано новий підхід до розв'язання старовинних геометричних задач, який базується на теоретичних засадах інженерної графіки, зокрема, її розділу "Геометричне креслення", аналітичної та обчислювальної геометрії. Комп'ютерна техніка дозволила розв'язувати цікаві старовинні задачі без виконання значної кількості додаткових побудов. Допомагають цьому числові методи, зокрема, методи розв'язання нелінійних рівнянь, мінімізації цільових функцій, знаходження радіусів і координат центрів вписаних та описаних кіл. Завдання полягало у тому, щоб алгоритмізувати процес вирішення геометричних задач, підібрати цільові функції, побудувати нелінійні рівняння, більшість з яких вимагає зведення їх до нуля тощо.

Прискоренню розв'язання цих задач сприяє можливість візуалізовувати як проміжні, так і остаточні результати на екрані дисплея комп'ютера. Суттєву допомогу при цьому надають засоби комп'ютерної кольорової графіки. Отримуваним результатам притаманна висока точність, яка є недоступною при ручному графічному розв'язуванні задач.

Зазначимо, що задачі, пов'язані з колом, цікавлять науковців сьогодення, про що свідчать численні публікації.

Отже, метою цієї роботи є розв'язання відомих старовинних геометричних задач, запропонованих Архімедом, Аполлонієм, Паппой Олександрійським та іншими відомими математиками, із застосуванням методів інженерної графіки, аналітичної геометрії та числових методів без проведення додаткових побудов, які використовуються при графічному розв'язанні розглянутих задач.

Актуальність роботи обумовлюється бажанням довести те, що задачі, які ставилися старовинними математиками і які вони завдяки своїй талановитості розв'язували, маючи в своїх руках такі "наукові інструменти" як циркуль і лінійка, можна з успіхом розв'язувати, застосовуючи досягнення інженерної графіки, аналітичної геометрії, обчислювальної математики та комп'ютерної графіки. Для цього розроблено комп'ютерний код і проведені розрахункові дослідження з візуалізацією отриманих розв'язків цих старовинних геометричних задач на дисплеї комп'ютера.

## ПОБУДОВА ЗВУКОВИХ ОБРАЗІВ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ

У даний час активно розвиваються технології перетворення візуальної інформації у звукову форму. Ці технології використовуються насамперед у системах звукобачення, призначених для сліпих і людей із слабким зором. Зрячим людям частковий перенос візуальної інформації на акустичний сигнал дозволить покращити загальне сприйняття інформації та полегшити задачу візуального моніторингу.

У роботі пропонується метод побудови звукового образу контуру об'єкта з використанням музичних звуків у приємному для слуху людини діапазоні частот. Саме контури визначають найважливішу властивість об'єкта – його форму.

У запропонованому методі спочатку отримують одновимірне представлення контуру за допомогою сигнатури «кут-відстань» – функції відстані від центроїда (деякої середньої точки об'єкта, наприклад, його центра ваги) до точок контуру з рівномірним кроком по куту. При такому підході забезпечується інваріантність сигнатури до лінійного зміщення контуру, оскільки центроїд зміщується разом із контуром. Вибір величини кроку по куту залежить від бажаної точності представлення контуру. Вказана сигнатура «кут-відстань» додатково опрацьовується, щоб забезпечити її незалежність також від повороту і розміру контуру. Слід зазначити, що за ступенем періодичності сигнатури «кут-відстань» можна судити про складність контуру. Простим, симетричним контурам відповідають періодичні сигнатури. Складний контур має аперіодичну сигнатуру.

Далі на основі сигнатури «кут-відстань» формується послідовність музичних звуків за принципом: більшому значенню сигнатури відповідає більш висока нота. Для цього шкала нормованих значень сигнатури у діапазоні від 0 до 1 розбивається на 25 рівних інтервалів. Значенням сигнатури з першого інтервалу відповідає звукова частота 440 Гц, з останнього – 1760 Гц. Усього задіяні 25 звуків 12-ступеневого рівномірно темперованого строю, який є основним у сучасній європейській музиці.

Загальний час відтворення послідовності музичних звуків, що кодує контур об'єкта, залежить від вибраного кроку по куту (він визначає кількість сигналів у звуковій послідовності) і заданої тривалості звучання сигналу. Через інерційність слуху для частот у діапазоні 1000–2000 Гц висота тону починає сприйматися через 15 мс, а для частот нижче 500 Гц – лише через 60 мс. З огляду на цей факт для впевненого сприйняття музичного образу контуру тривалість звучання сигналу будь-якої частоти рекомендується задати рівною 65 мс. Наприклад, при виборі кроку по куту у два градуси загальний час відтворення акустичного образу контуру становитиме приблизно 5 с.

Побудований за запропонованим методом музичний образ несе візуальну інформацію про розташування точок контуру об'єкта на цифровому зображенні, при цьому задачу розпізнавання форми об'єкта виконує мозок людини. Після нетривалого тренування на основі почутого музичного образу нескладно розрізнити на слух прості фігури, наприклад, коло, прямокутник, трикутник тощо. Ці фігури є фундаментальними будівельними блоками більш складних об'єктів. Тому визнання їхньої характерної (відмінної) звукової сигнатури – важливий крок до інтерпретації складних зображень. Крім того, при такому підході до кодування звуковий канал не захаращується на відміну від методів, де у звук переводять кожний піксель зображення.

## ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТОЧОК МЕТРИЧНОГО ПРОСТОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИНАМІЧНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА GEOGEBRA 3D

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, або метрики простору [1]. 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. Значний розвиток метричної геометрії у наш час зумовлений численними її застосуваннями у різних галузях науки та інженерії. Складність аналітичних перетворень у метричній геометрії 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, у основному, задані координати точок. Це 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 [2]. За допомогою вказаних засобів можна провести візуалізацію таких основних геометричних понять, як прямолінійне розміщення точок метричного простору [3], плоске розміщення точок метричного простору [4]. Ці поняття аналогічні відповідним поняттям класичної геометрії Евкліда, однак у метричних просторах вони можуть набувати окремих властивостей неевклідових геометрій. Деякі з класичних аналітичних співвідношень між елементами фігур та тіл геометрії Евкліда можуть бути виражені у термінах метричної геометрії [5], що свідчить про їх універсальність, та залежність від властивостей множини дійсних чисел.

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).

Слід зазначити, що коли чотири точки метричного простору задані, то питання візуалізації їх взаємного розміщення наштовхується на питання можливості існування (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 (може бути побудованим), може не існувати (не може бути

побудованим), або може бути виродженим (усі його вершини лежать у одній площині) [2]. В останньому випадку вершини тетраедра будуть плоско розміщеними у відповідному метричному просторі. Числові розрахунки об'єму тетраедра, при різних варіантах його орієнтації, можна провести за допомогою спеціального калькулятора [2].

Візуалізація образу тетраедра із заданими довжинами його ребер проводиться у системі тривимірних декартових прямокутних координат, за допомогою спеціально створеного у динамічному геометричному середовищі GeoGebra 3D калькулятора, розрахунки якого базуються на використанні отриманих формул координат вершин тетраедра. При цих розрахунках значною мірою використовуються поняття кута, утвореного трьома точками метричного простору, та його кутової характеристики [4]. За допомогою створеного калькулятора можна прослідкувати зміну геометричних властивостей образу тетраедра при зміні метрики простору. Зокрема, при зміні метрики простору може відбутись «виродження тетраедра» – його об'єм буде дорівнювати нулю, тобто, усі чотири його вершини будуть плоско розміщеними у відповідному метричному просторі.

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).

За результатами роботи можна зробити висновки про те, що 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. Крім того, інтерес представляє також питання про моделювання властивостей паралельного та перпендикулярного розміщення точок метричного простору.

### Список використаної літератури

1. 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>.
2. Kuzmich V. I., Kuzmich 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.
3. 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.
4. 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>.
5. Kuz'mych, V. I., Savchenko A. G. Geometric relations in an arbitrary metric space. *Matematychni Studii*. 2019. № 1(52). С. 86-95. DOI: <https://doi.org/10.30970/ms.52.1.76-85>.

## СОЛІТОН З ПОЛЮСОМ ДРУГОГО ПОРЯДКУ В ОБЕРНЕНІЙ ЗАДАЧІ РОЗСІЯННЯ

Фізичні явища і процеси, що відбуваються в природі, зазвичай мають складні нелінійні особливості. Це призводить до нелінійних математичних моделей реальних процесів. Великий інтерес викликають як самі природні явища, а також і розробка методів дослідження пов'язаних нелінійних математичних проблем, включаючи нелінійне поширення хвиль, серед яких особливий статус мають солітоноподібні хвилі. Раннім прикладом застосування потужних математичних методів був розвиток методу оберненої задачі розсіювання для рівняння Кортевега-де Фріза (KdV) [1-4], яке викликало постійний інтерес до теорії солітонів, і яке застосовується в багатьох областях науки. Різноманітні методи вивчення властивостей і рішень нелінійних еволюційних рівнянь розроблені також, наприклад, з використанням рівняння Вахненка (VE) [5], його примітною особливістю є те, що воно має петлеподібні солітонні рішення. Якщо це рівняння спочатку викликало інтерес тільки з точки зору математичної фізики як одне з інтегровних рівнянь, то зараз воно використовується також для опису фізичних явищ, зокрема, гранично коротких електромагнітних імпульсів, високочастотних збурень в релаксуючих середовищах, магнітних солітонів. Стандартна процедура методу оберненої задачі розсіювання, в якій враховані тільки прості полюси, дозволила отримати точне багатосолітонне рішення рівняння VE, вивчити його властивості. При вивченні взаємодії солітонів зі збуреннями останнім в спектрі для ОЗР відповідають полюси другого порядку. У зв'язку з цим в якості продовження досліджень в даній статті для дискретної частини спектральних даних в методі оберненої задачі розсіювання враховані двократні полюси. Застосування запропонованих спектральних даних демонструється через аналіз рівняння Вахненка-Паркеса як продиференційованого рівняння VE, що дозволило отримати нові рішення. Цей підхід може бути використаний для інших інтегровних нелінійних рівнянь, він істотно розширює стандартну процедуру методу оберненої задачі розсіювання, в якій розглянуті тільки прості полюси.

Для дискретної частини спектральних даних у методі оберненої задачі розсіювання враховані двократні полюси. Межі застосування запропонованих спектральних методів демонструються через аналіз рівняння Вахненка-Паркеса, що дозволило отримати нові розв'язки. Цей підхід може бути використаний для інших інтегровних нелінійних рівнянь.

1. Kraenkel R.A., Leblond H., Manna M.A. An integrable evolution equation for surface waves in deep water. *J.Phys. A: Math. Theor.* 2014. 47, No. 2. 025208 (17pp). doi:<https://doi.org/10.1088/1751-8113/47/2/025208>
2. Сазонов С.В., Устинов Н.В. Нелинейное распространение векторных предельно коротких импульсов в среде симметричных и несимметричных молекул. *ЖЭТФ.* 2017. 151, вып. 2. С. 249-269. doi:10.7868/S0044451017020043
3. Vakhnenko V.O. High-frequency soliton-like waves in a relaxing medium. *J. Math. Phys.* 1999. 40. P. 2011 - 2020. doi: <https://doi.org/10.1063/1.532847>
4. Kuetche V.K. Barotropic relaxing media under pressure perturbations: Nonlinear dynamics. *Dynamics Atmosph. Oceans.* 2015. 72. P. 21—37. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2015.10.001>
5. Vakhnenko V.O., Parkes E.J. The calculation of multi-soliton solutions of the Vakhnenko equation by the inverse scattering method. *Chaos, Solitons and Fractals.* 2002. 13 (9), P. 1819—1826. doi:[https://dx.doi.org/10.1016/S0960-0779\(01\)00200-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0960-0779(01)00200-4)

### THE CHROMATIC NUMBER OF THE FUNCTION

The concept of homomorphism, which is very useful for the studying of the properties of the groups, is one of the basic concepts of group theory. The homomorphism is the group operation which preserves the mapping from one group into the other group. An analogue of the concept of the homomorphism in the case when the arbitrary completely defined mapping  $f: X^n \rightarrow X$  is given instead of group operation has been proposed by the authors. The case  $n = 2$  and  $X \subset R$  has been studied thoroughly. The definition of the chromatic number of this mapping and the examples of its evaluation have been given.

The aim of this article is to prove that the linear function of two real variables  $f(x, y) = \alpha x + \beta y + \gamma$ ,  $\alpha\beta \neq 0$  and the function  $g(x, y) = x^2 - y^2$  of two real variables have no finite chromatic number.

Let us consider the arbitrary function  $f(x, y)$  over the Cartesian square of some number set  $X$ . The range of the function belongs to the set  $X$ . The value of the function  $f(x, y)$  is considered to be an analog of the result of the group operation on the elements  $x, y$ . It stands to reason that it is not necessary to require the associativity of the operation  $x * y = f(x, y)$ , the existence of the neutral and inverse elements.

If such coloring of the set  $X$  in the finite number of colors  $k \geq 2$ , that the color of the value of the function  $f(x, y)$  is determined uniquely by the colors of the values of the arguments  $x$  и  $y$  exists, then we say that this function belongs to the chromatic  $k$  - class. The minimal number of the chromatic class, to which this function belongs, we call the chromatic number of the function  $f(x, y)$  on the set  $X$  and designate  $H(f(x, y), X)$ . If the function does not have the finite chromatic number, then we say that it is equal to infinity.

**Theorem 1.** If  $\alpha\beta \neq 0$ , then  $H(\alpha x + \beta y + \gamma, R) = \infty$ .

**Theorem 2.**  $H(x^2 - y^2, R) = \infty$ .

The concepts of the chromatic class and the chromatic number of the function have been introduced in the article. The relation between these concepts and group theory has been obtained. It has been proved that the linear function of two real variables  $f(x, y) = \alpha x + \beta y + \gamma$ ,  $\alpha\beta \neq 0$  has no finite chromatic number. An analogical result has been proved for the function  $g(x, y) = x^2 - y^2$  of the real variables.

This result can be formulated as follows:

- the functions  $f(x, y)$  and  $g(x, y)$  (and the function  $ax_1x_2\dots x_n + b$  where  $n > 1, ab \neq 0$ , which was considered in the article [4] before) can not be  $R$  - functions at any selection of the accompanying functions of the polyvalent logic;

- the set  $R$  can not be painted in the finite number of the colors in such a way that the color of the function  $\alpha x + \beta y + \gamma$ , where  $\alpha\beta \neq 0$  could be determined by the colors of its arguments uniquely. It is also true for the functions  $x^2 - y^2$  and  $ax_1x_2\dots x_n + b$ , where  $n > 1, ab \neq 0$ .

1. Донской В.И. Дискретная математика. Симферополь: "Сонат", 2000. 360 с.

2. Каргополов М.И., Мерзляков Ю.И. Основы теории групп. Москва: Наука, 1982. 288 с.

3. Рвачев В.Л. Теория  $R$ -функций и некоторые ее приложения: монография. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.

4. Rvachev V.L., Sheiko T.I.  $R$ -function is boundary value problems in mechanics. *Appl. Mech. Rev.* 1995. №4. P. 151-188.

5. Velichko I.G., Stegantseva P.G. Example of a function of two variables that cannot be an  $R$ -function. *Ukrainian Mathematical Journal*. Vol. 62. № 2. P. 308-313.



## ТРИРОЗМІРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТРИЦІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄМНИХ ОБ'ЄКТІВ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

У дослідженні запропоновано геометричний спосіб створення моделей динаміки у просторі дискретно поданих окремих станів процесу на базі використання методів композиційної геометрії.

Вводиться означення базисних станів, трирозмірних композиційних матриць, пропонуються правила позначення індексації елементів трирозмірних композиційних матриць (компоматриць).

Вказується на те, що трирозмірну композиційну неможливо подати у вигляді однієї таблиці, тому запропоновано надавати їх у вигляді сукупності таблиць за напрямками параметризації геометричної фігури, для якої складається ця трирозмірна компоматриця. Наведено приклади загального та розгорнутого їх подання.

Нагадується, що у композиційному геометричному моделюванні (КГМ) кожен вихідну геометричну фігуру (ГФ), перед розв'язанням задачі, необхідно уніфікувати, тобто привести до вигляду, придатного для її використання у КГМ. Уніфікація кожної ГФ відбувається шляхом розділення її на дві складові: геометричну та параметричну.

Геометрична складова уніфікованої ГФ подається у вигляді компоматриць точкових за параметричних напрямків.

Параметрична складова уніфікованої ГФ подається у вигляді компоматриць параметричних. Надається алгоритм формування параметричних трирозмірних компоматриць.

Наголошується, що усі розрахункові операції здійснюються через використання трирозмірних компоматриць координатних (розрахункових), які складаються за схемою відповідних компоматриць точкових.

Вказується на те, що початково сформована трирозмірна компоматриця параметрична, майже завжди, є негармонізованою, тобто сума всіх її елементів не дорівнює одиниці. Надається алгоритм гармонізації параметричної трирозмірної компоматриці.

Надається послідовність операцій у компоматричній формі щодо здобуття компоматриці трирозмірної для об'ємної геометричної фігури довільної форми. Вказується, що сума елементів створеної трирозмірної компоматриці ГФ являє собою гармонізований точковий поліном, який інтерполює континуально сегмент об'ємної геометричної фігури. При цьому, за допомогою рівняння цього гармонізованого трипараметричного точкового поліному, що інтерполює сегмент об'ємної ГФ, можна знайти будь-яку поточну точку не тільки на його поверхні, а й в середині цього сегменту.

Наголошується на тому, що можливість континуального визначення, за допомогою рівняння точкового поліному, поточних точок всередині геометричного тіла, є надзвичайно важливою і актуальною для створення програмних продуктів для 3D-принтерів, що розширять їх можливості і зробить роботу більш ефективною.

Акцентується увага на тому, що у цьому дослідженні побудовано композиційну модель сегменту геометричного тіла, що складається із трьох точок у кожному із параметричних напрямків. Також вказується на те, що запропонований алгоритм буде правдивим для створення моделей сегментів об'ємних геометричних фігур, які утримують більшу кількість точок у кожному із трьох напрямків, що вказують розміри цього сегменту.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГІПЕРСИНГУЛЯРНИХ РІВНЯНЬ

Розроблено методику визначення частот та форм власних коливань елементів конструкцій при двобічному контакті з рідиною. Вважається, що рідина є ідеальною і нестисливою, а її рух, індукований коливаннями конструктивного елементу є безвихровим. За ці умови існує потенціал швидкостей, що всюди в області, що зайнята рідиною, задовольняє рівнянню Лапласа. На поверхнях конструктивного елементу задається умова непротікання. Ця умова полягає в рівності нормальних компонент швидкостей рідини та конструкції. Для знаходження переміщень конструкції використовуються рівняння руху під дією навантаження, що обумовлено тиском рідини. Тиск рідини, в свою чергу, визначається з рівняння Лапласа, граничні умови для якого містять невідому швидкість конструкції. Тобто отримано зв'язану задачу щодо визначення гідропружних коливань. Для розв'язання сформульованої задачі використано метод заданих форм [1]. Спочатку визначаються частоти і форми коливань пружного елементу без урахування сили тиску з боку рідини. За отриманими формами будується подання переміщень конструкції, що взаємодіє з рідиною, у вигляді відповідного ряду. Далі розв'язується крайова задача Неймана для рівняння Лапласа, при цьому граничні умови містять відомі функції, а саме, форми коливань пружного елементу, що були отримані на першому етапі. Розв'язання цієї задачі виконано із застосуванням теорії потенціалу. Невідому функцію зображено у вигляді потенціалу подвійного шару. Граничні умови при цьому призводять до гіперсингулярного інтегрального рівняння відносно невідомої густини, яка й відображає тиск рідини. Надалі це двовимірне гіперсингулярне рівняння зводиться до одновимірного. В даному дослідженні застосовано новий ефективний метод розв'язання гіперсингулярних інтегральних рівнянь на круговій області та застосовано його для визначення частот і форм вільних коливань круглої пластинки, що занурена в рідину. Отримано аксіально-симетричне формулювання методу гіперсингулярних інтегральних рівнянь. [2]. Знайдені числові розв'язки одновимірного гіперсингулярного рівняння з правими частинами у вигляді комбінацій функцій Бесселя. Розроблено алгоритм побудови матриці приєднаних мас, що дало змогу знайти частоти власних коливань пластинки з урахуванням приєднаних мас. Встановлено, що згідно з властивостями гіперсингулярного оператора, функції розв'язки гіперсингулярних рівнянь відновлюють характер функцій правих частин. Зі зростанням номера частоти амплітуди розв'язків зменшуються за абсолютною величиною, що свідчить про зменшення впливу приєднаних мас рідини на вищі частоти. Здійснено порівняння отриманих числових результатів з відомими аналітичними розв'язками. Отримано добре узгодження результату, що свідчить про вірогідність запропонованого методу. Після цього розроблений алгоритм побудови матриці приєднаних мас, що дало змогу знайти частоти власних коливань круглої пружної пластинки з урахуванням приєднаних мас рідини.

1. Strelnikova E., Gnitko V., Krutchenko D., Naumemko Y. Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles J. *Modern Technology & Engineering* Vol.3, No.1, 2018, pp.15-52
2. Vierushkin, I., & Strelnikova, E. (2020). Метод гіперсингулярних інтегральних рівнянь в задачі визначення частот та форм коливань круглої пластинки, зануреної в рідину. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*, 48, 6-21.

## ДИСКРЕТНА ГІПЕРБОЛІЧНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ КООРДИНАТ ТРЬОХ ДОВІЛЬНО ЗАДАНИХ ТОЧОК

Застосування геометричного апарату суперпозицій у поєднанні з класичним методом скінченних різниць, дозволяє істотно підвищити ефективність та розширити можливості процесу дискретного моделювання геометричних образів. Зокрема дослідити можливість використання у якості інтерполянтів не тільки параболічних, а й будь-яких інших функціональних залежностей.

Залучення геометричного апарату суперпозицій для розв'язання задач інтерполяції значно розширює можливості дискретного моделювання.

Метою даної роботи є дослідження закономірностей зміни величин коефіцієнтів суперпозиції трьох довільно заданих, як суміжних, так і не суміжних вузлових точок у процесі дискретної інтерполяції гіперболічними функціями, що дозволить розв'язувати задачі суцільної дискретної інтерполяції та екстраполяції трансцендентними функціями без трудомістких операцій складання та розв'язання великих систем трансцендентних рівнянь.

Згідно доведеної у роботі [1] властивості, координати будь-якої точки одновимірної множини точок є суперпозицією координат трьох довільних точок цієї множини і виведено формули для визначення величин коефіцієнтів суперпозиції із системи рівнянь (1):

$$\begin{cases} x_0 - x_3 = k_1(x_1 - x_3) + k_2(x_2 - x_3) \\ y_0 - y_3 = k_1(y_1 - y_3) + k_2(y_2 - y_3) \end{cases} \quad (1)$$

у вигляді (2):

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{(x_0 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_0 - y_3)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)}; \\ k_2 &= \frac{(x_1 - x_3)(y_0 - y_3) - (x_0 - x_3)(y_1 - y_3)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $x_0, x_1, x_2, x_3, y_0, y_1, y_2, y_3$  – відомі числові параметри,  $k_1, k_2$  – невідомі.

У задачах дискретної інтерполяції та екстраполяції невідомою величиною є ордината  $y_0$ , тому розв'язано дану систему рівнянь, у якій відомими числовими параметрами будуть  $x_0, x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, k_1$ , а  $y_0$ , та, наприклад,  $k_2$  – невідомі, або  $y_0$ , та  $k_1$  – невідомі.

Результатом такого розв'язку будуть формули (3) і (4):

$$y_0 = k_1(y_1 - y_3) + y_3 - \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} [k_1(x_1 - x_3) + (x_3 - x_0)],$$

або:

$$\begin{aligned} y_0 &= k_1 y_1 + ((k_1(x_2 - x_1) + (x_0 - x_2))y_3 + (k_1(x_1 - x_3) + \\ &+ (x_3 - x_0))y_2) / (x_3 - x_2); \\ y_0 &= k_2 y_2 + ((k_2(x_1 - x_2) + (x_0 - x_1))y_3 + (k_2(x_2 - x_3) + \\ &+ (x_3 - x_0))y_1) / (x_3 - x_1); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} k_1 &= (k_2(x_2 - x_3) + (x_3 - x_0)) / (x_3 - x_1); \\ k_2 &= (k_1(x_1 - x_3) + (x_3 - x_0)) / (x_3 - x_2); \end{aligned} \quad (4)$$

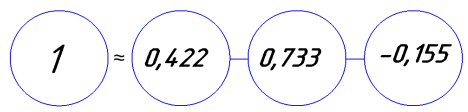
Дослідивши закономірності зміни величин коефіцієнтів суперпозиції, як для суміжних, так і для не суміжних заданих трьох вузлових точок трансцендентних функцій, зможемо розв'язувати задачі суцільної дискретної інтерполяції та екстраполяції

трансцендентними функціями без трудомістких операцій складання та розв'язання великих систем трансцендентних рівнянь.

Зокрема, для симетричних вихідних умов:  $i_1 = -10$ ,  $i_2 = 0$ ,  $i_3 = 10$  ;  
 $y_{i_1} = 11013,2329201$ ;  $y_{i_2} = 1$ ,  $y_{i_3} = 11013,2329201$  ,  
 величини коефіцієнтів суперпозиції являють собою числові послідовності, що, як і значення ординат числової послідовності  $y_i = chi$ , описуються рекурентною формулою (5):

$$y_{i-1} = 0,422 \cdot y_{i-2} + 0,733 \cdot y_i - 0,155 \cdot y_{i+1} , \quad (5)$$

на підставі шаблону (6):



$$1 = 0,422 - 0,733 - 0,155 , \quad (6)$$

одержаного в результаті досліджень у роботі [3],

**Висновки.** У даній роботі досліджено закономірності зміни величин коефіцієнтів суперпозиції трьох довільно заданих, як суміжних, так і не суміжних вузлових точок у процесі дискретної інтерполяції гіперболічними функціями. Дані дослідження визначають загальний підхід до одержання подібних закономірностей зміни величин коефіцієнтів суперпозиції трьох довільно заданих, як суміжних, так і не суміжних вузлових точок для визначення координат  $n$  точок модельованих будь-яких одновимірних функціональних залежностей та довільних одновимірних множин точок.

Звичайні способи інтерполяції не дозволяють застосовувати трансцендентні функції як інтерполянти тому, що при підстановці в них значень вихідних умов отримаємо систему трансцендентних рівнянь, яку не вдається розв'язати у загальному випадку.

Розроблений спосіб дозволяє проводити трансцендентні криві через задані точки, що у більшості випадків є неможливим при застосуванні звичайних методів інтерполяції.

Дослідивши закономірності зміни величини  $k_1$ , або  $k_2$ , як для суміжних, так і для не суміжних заданих трьох вузлових точок різних елементарних функцій, зможемо розв'язувати задачі суцільної дискретної інтерполяції та екстраполяції числовими послідовностями будь-яких одновимірних функціональних залежностей (визначати ординати шуканих точок дискретних кривих) без трудомістких операцій складання та розв'язання великих систем лінійних або трансцендентних рівнянь.

1. Воронцов О.В., Тулупова Л.О. Дискретное моделирование кривых поверхностей суперпозициями двумерных точечных множеств: сборник статей по материалам XL международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике». Новосибирск. №11 (36). 2014. С. 7 – 16.

[http://sibac.info/sites/default/files/archive/2014/2014.11.19\\_teh\\_nauki\\_pravka.pdf](http://sibac.info/sites/default/files/archive/2014/2014.11.19_teh_nauki_pravka.pdf)

2. Воронцов О.В., Воронцова І.В. Спосіб одновимірної дискретної інтерполяції за координатами трьох точок числових послідовностей на прикладі показникових функцій. Прикладні питання математичного моделювання. Херсон: ХНТУ, Т.3, №2.2. 2020. С. 35 – 43.

<https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.3>

3. Vorontsov O.V., Tulupova L.O., Vorontsova I.V. Discrete modeling of building structures geometric images. International Journal of Engineering & Technology. Vol. 7 No. 3.2. 2018. P. 727 – 731.

DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.15467](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.15467)

4. Vorontsov O.V., Tulupova L.O., Vorontsova I.V. Modeling of shell type spatial structural forms by superpositions of support nodes coordinates. Lecture Notes in Civil Engineering. Volume 73. 2019. Pages 501-513.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3>

### 3D OBJECTS CREATION APPROACHES

Modern technologies introduce many useful features and capabilities that greatly simplify life, make it brighter and more comfortable. Today, the applications of 3D technologies are reflected in various fields such as education, science, engineering and entertainment industry. The use of 3D technology in the educational process can significantly increase its efficiency by bringing the virtual computing environment closer to the real three-dimensional world. One of the basic points of 3D technologies is to improve the process of 3D modeling. This is the cornerstone of all three-dimensional techniques. So, the task of fast and high-quality algorithm for creating 3D content for further import in AR training projects has been urgent.

Depending on the specific objectives, the requirements for 3D modeling may differ. The application of 3D modeling has many areas, the main of which are listed below [1]: development of computer games; as one of the stages of 3D-visualization; for preliminary assessment of technical properties of the designed product; in the preparation of samples for 3D printing; 3D objects for import them into AR projects and etc. Let's pay attention to how 3D models differ for different areas of application. Can we use one approach for all models or there will be some differences?

Picture 1 clearly shows basic steps for creation of 3D model of all above areas of application which we had been discussing during our work.

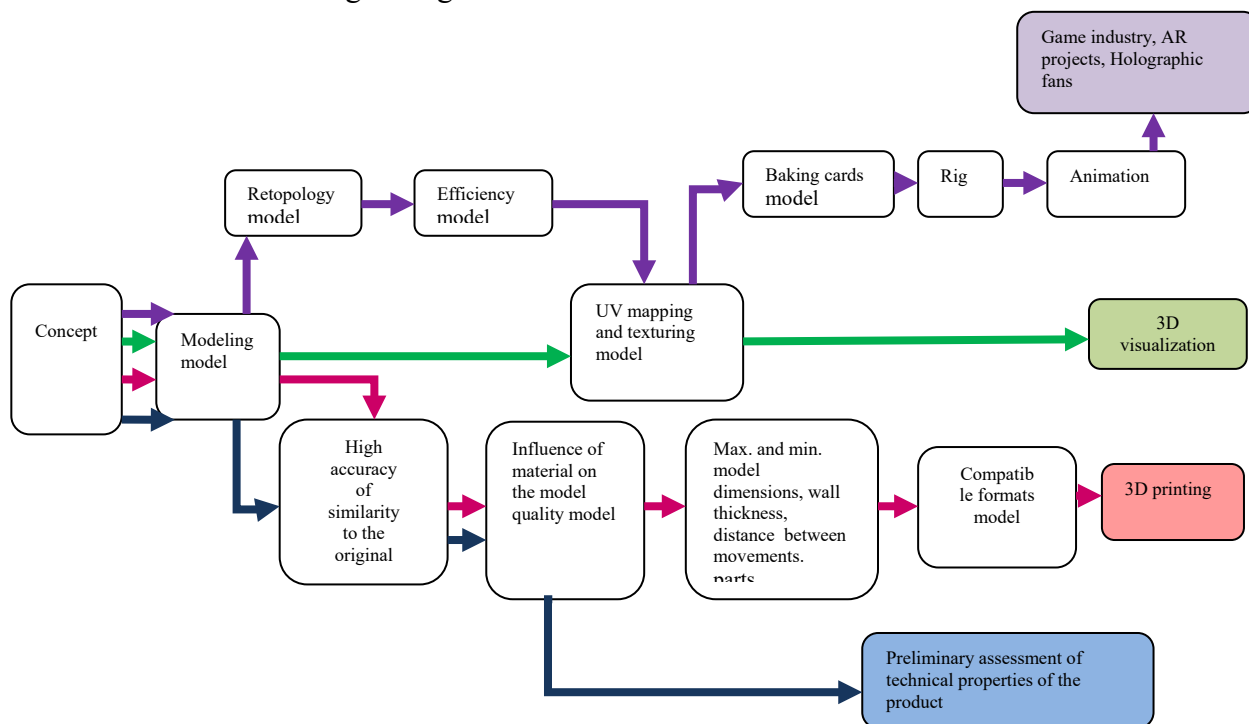


Fig. 1. Main steps for creation 3D model of the different area of application

**Conclusion.** The paper focuses on the application of 3D models in various fields. The results of the study showed that for each area of application 3D content has its own requirements and features. And we had come to the conclusion that requirements for 3D models of game industry, AR projects and holographic fans application are wholly the same. The paper also structured the main stages for creating 3D models of different applications, which in turn brings clarity and definition to the process of developing 3D content.

1. What is the 3D model? Application of 3D modeling: article.

URL: <https://pro3d.com.ua/a359162-scho-take-model.html>(date of application 20.11.2018)

## ТРЕНДОВИЙ АНАЛІЗ ДВОВИМІРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Трендовий аналіз в поточний час сформувався у вигляді самостійного розділу прикладної статистики через специфіку об'єкта дослідження й важливості розв'язуваних завдань. Методи трендового аналізу знаходять широке застосування в економетриці, діагностиці, кліматології, медицині й іншим галузям. У технічних застосуваннях трендовий аналіз є складовою частиною сукупності методів діагностування стану складних комплексів устаткування. Критерії тренда й випадковості дозволяють установити на заданому рівні значимості факт початку й розвитку несприятливих тенденцій при експлуатації складних технічних об'єктів у їхньому життєвому циклі. Виділення й дослідження тренда дозволяє виконати прогноз його розвитку на майбутній період експлуатації для реалізації стратегії експлуатації по технічному стану.

Одним з найбільш досконалих методів трендового аналізу є метод розкладання часового ряду на ортогональні компоненти. Алгоритмічною основою такого підходу є факторний аналіз і метод головних компонент. Перевага ортогонального розкладання, у порівнянні з іншими методами трендового аналізу, полягає в можливості виконати прогноз розвитку тренда. Пропоновані на цій основі методи SSA, catarpillar і інші є скалярними й не враховують багатомірність змінних технічного стану складних об'єктів. Тому дослідження, спрямовані на розширення методів трендового аналізу на багатомірні часові ряди, є актуальними й затребувані практикою застосування.

Метою роботи є вдосконалення підходу до аналізу багатомірних часових рядів, які утворені параметрами реєстрації технічного стану складних об'єктів діагностування.

Основна ідея пропонованого підходу полягає в комплексному об'єднанні часових рядів у двовимірні, формуванні прямокутної комплекснозначної траекторної матриці, і дослідженні розподілів власних значень і власних векторів унітарної кореляційної матриці. Установлено, що якщо перше власне значення унітарної кореляційної матриці багаторазово перевершує інші її власні значення, і, при цьому, підтверджується статистична гіпотеза про рівнокорельованість її рядків, те перший центрований компонент комплексного часового ряду по першому головному компоненті є двовимірним трендом. При цьому така трендова компонента й ковзне середнє цього ряду не мають статистично значимих розходжень..

### Висновки

При попарному об'єднанні багатомірної сукупності часових рядів у комплексні двовимірні, і їх послідовному ортогональному розкладанні, з'являється можливість розділити тренди групи параметрів багатомірного об'єкта на статистично зв'язані й мають загальну причину виникнення.

1. Shumway R. H. Applied Statistical Time Series Analysis (Prentice Hall, New York, 1988), 384p.
2. Elsner B. and A. A. Tsonis, Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis (Plenum Press, New York, London, 1996), 164p.
3. Myrhorod, V. "Two-dimensional trend analysis of time series of complex technical objects diagnostic parameters" / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, Y. Derenh / 11th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'19, AIP Conference Proceedings, 060013 (2019), vol. 2164, №1, pp. 040011-1-040011-12, DOI: 10.1063/1.5130815

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОМИЛОК НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ

При визначенні якості розпізнавання необхідно 1) зробити помилку навчання якомога менше; 2) скоротити розрив між помилками навчання і тестування. Ці фактори відповідають двом центральним проблемам машинного навчання: недонавчання та перенавчання. Недонавчання має місце, коли модель не дозволяє отримати досить малу помилку на навчальному наборі, а перенавчання - коли розрив між помилками навчання і тестування занадто великий.

У типовому випадку помилка навчання убуває, асимптотично наближаючись до мінімально можливої помилки зі зростанням ємності моделі (в припущенні, що у помилки є мінімальне значення).

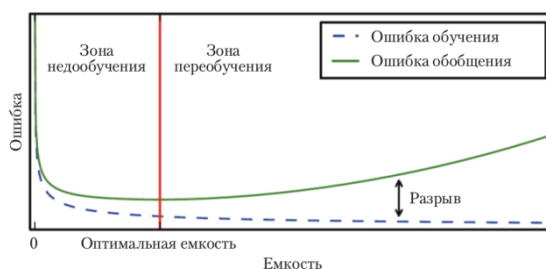


Рисунок 1. Типовий зв'язок між ємністю і помилкою

Типова помилка має форму U-подібної кривої, як показано на рисунку 1 [1]. Помилки навчання і тестування поведуться по-різному. У лівій частині графіка обидві помилки приймають великі значення. Це режим недонавчання. У міру збільшення ємності помилка навчання знижується, а розрив між помилкою навчання і узагальнення зростає. В кінцевому підсумку величина розриву переважає зменшення помилки навчання, і ми потрапляємо в режим перенавчання, де ємність занадто сильно перевищує оптимальну ємність.

Продемонструємо, який характер має помилка навчання при розпізнаванні елементів одягу набору Fashion MNIST.

Для розпізнавання зображень в середовищі Python будемо використовувати нейромережеві технології, які доступні за допомогою бібліотек Keras і Tensorflow. Розглянемо модель нейронної мережі прямого поширення (FNN). FNN-модель Sequential містить вхідний шар типу Flatten, один прихований шар Dense і вихідний шар Dense з функцією активації softmax, для виведення ймовірнісних результатів розпізнавання для кожного класу.

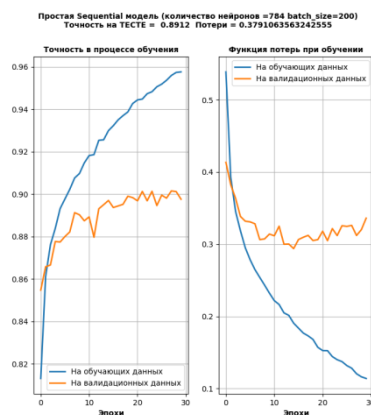


Рисунок 2. Точність навчання та функція втрат для розпізнавання FNN

На рис. 2 наведено графіки точності в процесі навчання та функції втрат при навчанні. з збільшенням кількості епох точність на навчальному наборі даних зростає, а на валідаційних – виходить на постійне значення (розрив між помилками навчання і тестування

збільшується). Аналіз функції втрат при навчанні дозволяє зробити висновки, що спостерігаємо ефект перенавчання, так як форма графіка функції втрат на валідаційних даних набуває U - форму.

Проведено дослідження моделі при зміні параметрів з використанням Keras Tuner: (epochs=30, batch\_size = [ 50,100,400, 800, 1000] ), ( epochs=120, batch\_size=2000).

Обрано архітектуру кращої моделі мережі: число нейронів у 'Hidden\_layer': - 900, функція активації-'relu', Оптимізатор-'adam', точність на валідаційних даних- 0.9002, Точність на тестових даних - 0.8935, загальне число нейронів:- 715510, Значення функції втрат на тестових даних- 0.3417. Проведено подальше донавчання цієї моделі методом fit. Дослідження показало, що 1) точність на навчальних і валідаційних даних суттєво відрізняється і криві точності не наближаються; 2) функція втрат на валідаційних даних зростає, що відповідає правій гілці кривої функції втрат та інформує про перенавчання моделі.

В нашій роботі реалізовано один з варіантів архітектури складної згорткової нейронної мережі (CNN) [2], де якість розпізнавання Fashion MNIST на тестових даних більше отриманої по FNN-моделі.

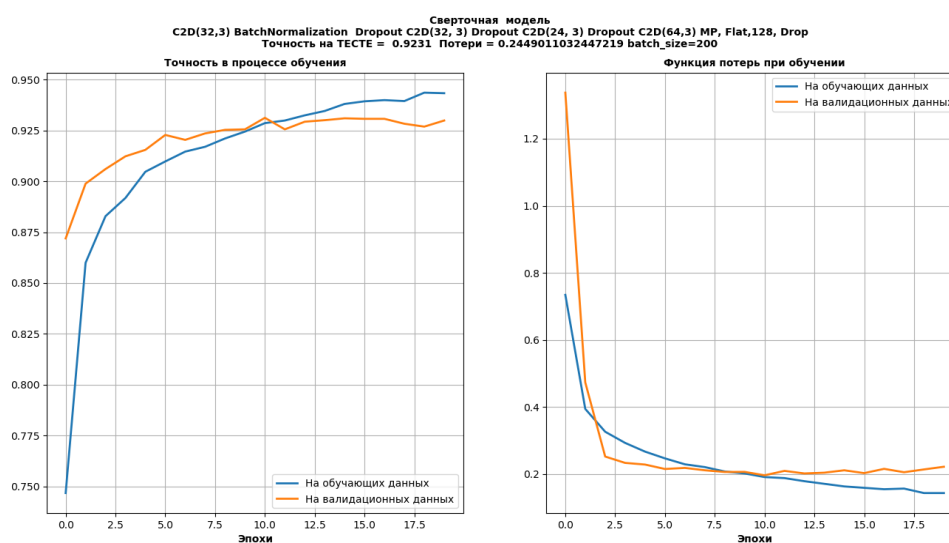


Рисунок 3. Точність навчання та функція втрат для розпізнавання CNN

За обраною архітектурою CNN точність розпізнавання на тестових даних – 0,9231.

На рис. 3 представлені графіки, з яких видно, що 1) розрив між помилками навчання і тестування практично скорочується 2) форма функції втрат інформує, що перенавчання немає.

**Висновки.** Проведено дослідження процесу розпізнавання зображень набору Fashion MNIST з метою демонстрації, як уникнути перенавчання моделі нейромережі при отриманні найкращої якості розпізнавання.

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение/пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
2. Shivam S. Kadam, Amol C. Adamuthe, Ashwini B. Patil. CNN Model for Image Classification on MNIST and Fashion-MNIST Dataset//[Journal of Scientific Research](#) 64(02):374-384. DOI:[10.37398/JSR.2020.640251](#)– Режим доступу. — URL: <https://www.researchgate.net/publication/343173734>



## МОБІЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ВНЗ

В роботі проведено розробку системи бази даних та реалізацію мобільного додатка с двома рівнями доступу: «вчитель» та «учень». Розроблений додаток являє собою програмний продукт, який написаний на мові програмування PHP 7-ої версії.

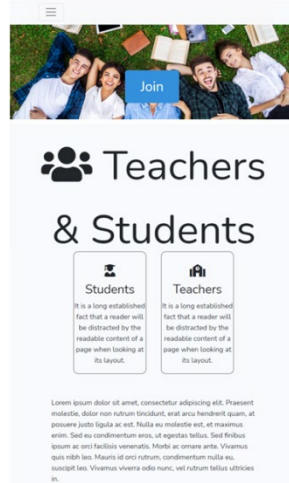


Рисунок 1. Головна сторінка додатка

Впровадження мобільних технологій в освіту:

- розширює рамки навчального процесу за межі стін навчального закладу;
- дає можливість вчитися людям з обмеженими можливостями;
- економічно виправдано, адже не вимагає придбання персонального комп'ютера і паперової навчальної літератури;
- завдяки сучасним бездротовим технологіям, навчальні матеріали легко поширюються між користувачами;

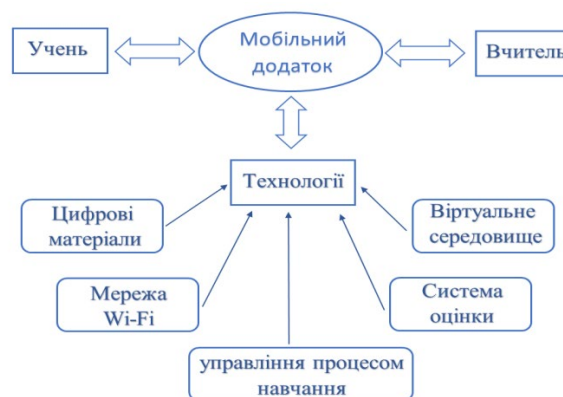


Рисунок 2. Модель мобільного навчання

**Висновки.** Таким чином, очевидна доцільність використання цих сучасних засобів комунікації в навчанні. Застосування мобільних технологій в освітньому процесі сприяє:

- підвищенню якості засвоєння матеріалу;
- підвищенню освітніх ефектів;
- виконання індивідуальних і групових завдань.

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ШТАМПІВ ТА ГУМОВОКОРДНОЇ СМУГИ

Унікальне поєднання механічних властивостей композиційних матеріалів дозволяє їм знаходити нові сфери застосування у різноманітних галузях промисловості: енергетиці, аерокосмічній техніці, будівництві, транспорті при створенні транспортних стрічок, ескалаторів, конвеєрних полотен, спортивних та транспортних дорожніх покриттів. Визначення напружено-деформованого стану таких конструкцій стикається із низкою складнощів математичного та обчислювального характеру. Так, наявність композиційного матеріалу, який за своєю структурою є неоднорідним, призводить до ускладнення математичної моделі конструкції, яка певним чином повинна враховувати наявність значної кількості армуючих елементів. Окрім цього описані конструкції представляють собою елементи із особливими геометричною формою та розмірами. Це, як правило, замкнені смуги або смуги із дуже значною довжиною, які можна вважати нескінченними. В процесі експлуатації такі конструкції випробовують навантаження у локальній області, яка за розмірами значно поступається довжині конструкції. Тому моделювання нескінченних розмірів є важливою проблемою при розв'язанні практичних задач.

Метою дослідження є чисельне моделювання контактної взаємодії системи штампів із гумовокордною смугою нескінченного розміру та аналіз впливу параметрів задачі (схема армування, розташування штампів, об'ємний вміст волокна у композиті) на напружено-деформований стан смуги.

Для моделювання нескінченного у одному напрямку середовища із волокнистого композиційного матеріалу використаємо шестигранний просторовий скінченний елемент.

Розглянуто гумовокордні матеріали, що складаються із слабкостисливої гумової матриці та металевих волокон. Наявність різних матеріалів унеможливорює безпосередні розрахунки для переважної більшості задач, тому попередньо за відомими співвідношеннями проведено гомогенізацію даних матеріалів. Для цього використано співвідношення для ефективних пружних сталих волокнистих композитів на основі формул Ваніна Г. А.

Для визначення напружено-деформованого стану тіла використано моментну схему скінченних елементів. У зоні контакту дискретизацію проведено просторовими шестигранними скінченними елементами скінченних розмірів. Для моделювання нескінченних розмірів гомогенізованого матеріалу застосовано спеціальні апроксимуючі функції, що дозволяють відображати скінченні розміри скінченного елемента в локальній системі координат у нескінченні в глобальній системі координат. Для розробленого скінченного елемента армування волокнами відбувається у площинах, паралельних одній із граней елемента, що має нескінченний розмір.

Моделювання контактної взаємодії штампів із багатошаровими середовищами здійснено на основі тривимірного методу скінченних елементів. Розв'язання задачі проведено в ітераційному процесі за умови непроникнення одного тіла в інше, що забезпечувалося підбором вектору додаткового навантаження.

Побудовану матрицю жорсткості реалізовано у програмному комплексі «МІРЕЛА+». За його допомогою розв'язано низку задач про вдавлювання системи штампів у вигляді еліптичних параболоїдів у тришарове середовище. Досліджено розподіл максимальних стискаючих (контактних) напружень та деформацій бічної поверхні смуги для різних значень об'ємної долі волокна у композиті. Проведено порівняння напружено-деформованого стану гумовокордної смуги при різних відстанях між штампами та різних схем укладання волокон у шарах смуги.

## МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО МАСОПЕРЕНОСУ В СЕРЕДОВИЩІ МІКРОПОРИСТИХ ЧАСТИНОК

Процеси фільтраційного масопереносу є важливими технологічними операціями при розділенні сумішей, екстрагуванні рідин із різних біологічних матеріалів в переробній, хімічній індустрії, фармакології та інших галузях. Основні проблеми при вивченні процесів масообміну пов'язані з постановкою і розв'язанням задач при високій щільності потоків і великих швидкостях течії, при фазових і хімічних перетвореннях. Перспективним напрямком є використання мікропористих матеріалів для видалення домішок з газових та водних потоків та використання їх у інших галузях аграрно-індустріального комплексу.

Структура біологічних матеріалів містить розгалужену систему вологовмістких клітин, міжклітинних полостей, мікропор, через які здійснюється масоперенос. При цьому внутрішні потоки маси спрямовані з середини мікропор вологовмістких частинок до їх поверхонь. Далі формуються проміжні (транзитні) потоки, спрямовані від зовнішніх поверхонь частинок в макропори міжчастинкового простору. В макропорах *intraparticle spaces* виникають зовнішні відтоки рідини на зовні пласту середовища. При фільтраційному переносі-відтиску у попередньо сформованому пласті мікропористих частинок біологічної природи, що піддається стискуванню, виникають внутрішні і зовнішні градієнти тисків відповідно в частинках і міжчастинковому просторі, які спричиняють відтоки рідини із пласту і частинок. Ця модель ґрунтується на відповідних рівняннях балансу маси у внутрічастинковому просторі (*intraparticle spaces*), включаючи міжчастинковий просторі (*extraparticle spaces*). Згідно такої моделі, потік рідини з мікропор *intraparticle spaces* розглядається як такий що є незначним у порівнянні з потоком з частинок на зовні – в макропори *extraparticle spaces* та потоком з *extraparticle spaces* назовні пласту середовища. До того ж, розглядувана модель включає припущення про псевдо статичність потоку між *intraparticle spaces* і *extraparticle spaces*. Це означає, що інтенсивність потоку – з середини частинки назовні, є пропорційною різниці тисків всередині і назовні частинки, що є дуже наближено.

Методами інтегральних перетворень Лапласа і Фур'є побудований висошвидкісний точний аналітичний розв'язок крайової задачі фільтраційного масопереносу, що включає два взаємозв'язаних типи переносу: на мікрорівні – в макропорах вологовмістких частинок, та макрорівні – в системі макропор міжчастинкового простору в обмеженому середовищі мікропористих частинок. Шляхом розв'язання оберненої задачі з використанням експериментальних концентраційних розподілів в системі, розробленій засобами Microsoft Visual C++ розраховані профілі приведених коефіцієнтів консолідації для частинок та системи макропор і виконана перевірка моделі на адекватність та побудову просторово розподілених та змінних в часі розподілів параметрів досліджуваних процесів.

Таким чином з використанням мікропористих матеріалів можливо видаляти домішки з водних потоків рибного господарювання та використання даних домішок у якості добрив у інших галузях аграрно-індустріального господарювання. Даний підхід може спричинити ефективніше відношення до фільтрації, переробки та повторного промислового використання домішок у вигляді мінеральних добрив.

1. Wang J.-S., Chuang F.-C. An Accelerometer-Based Digital Pen with a Trajectory Recognition Algorithm for Handwritten Digit and Gesture Recognition. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2012. Vol. 59. Issue 7. P. 2998–3007. DOI: 10.1109/TIE.2011.2167895.
2. Ленюк М. П., Петрик М. Р. Методи інтегральних перетворень Фур'є-Бесселя в задачах математичного моделювання масопереносу в неоднорідних середовищах. Київ: Наукова думка, 2000. 372 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРІЇ ЗОБРАЖЕНЬ – МНОЖИНИ ТОЧОК І ОПЕРАЦІЙ НАД НИМИ

### Вступ

У роботі автором проведено огляд математичного базису для опрацювання зображень з метою подальшої уніфікації робіт при дослідженні методів сегментації візуального поля уваги. В роботі, автором розглянуто та математично опрацьовано основну концепцію сегментації і її ключові методи.

### Постановка задачі

Лаконічно/ефективно висвітити алгебричне представлення множин точок і операцій над ними для уніфікованого застосування при подальшій роботі із зображеннями; включаючи а) синхронізацію українсько-англійських відповідників; б) забезпечення представлення неперервності відображення простору точок за допомогою математичного апарату для подальших досліджень.

### Матеріали і методи

#### Множина точок.

Множина точок – це просто топологічний простір. Таким чином, множина точок складається з двох складових: сукупність об'єктів, що називаються точками, і топологія, яка передбачає такі поняття як близькість двох точок, зв'язність підмножини множини точок, окіл точки, граничні точки, криві, дуги, плями. Множини точок, зазвичай, позначаються великими жирними літерами з кінця алфавіту, тобто  $W, X, Y$  і  $Z$ .

Точки (елементи множин точок), зазвичай, позначаються малими літерами з кінця алфавіту, а саме  $x, y, z \in W$ . Зауважимо, що якщо  $x \in \mathbb{R}^n$ , тоді  $x$  є формою  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , де для кожного  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $x_i$  позначає дійсне число, яке називається  $i$ -ю координатою  $x$ .

Найпоширеніші набори точок, що виникають при обробці зображень – це дискретні (discrete – перервні, окремі, розрізнені) підмножини  $n$ -вимірного Евклідового простору  $\mathbb{R}^n$  з  $n = 1, 2, 3$  разом з дискретною топологією.

Немає обмежень у формі використовуваних дискретних підмножин  $\mathbb{R}^n$ , у програмах для вирішення проблем комп'ютерним зором. Множини точок можуть бути довільних форм. Зокрема, форми можуть бути прямокутними, круглими, плямистими, змієподібними. Деякі з найбільш доречних множин точок – це множина цілих точок  $\mathbb{Z} \subset \mathbb{R}^1$ ,  $n$ -вимірна решітка  $\mathbb{Z}^n \subset \mathbb{R}^n : (\mathbb{Z}^n = \mathbb{Z} \times \mathbb{Z} \times \dots \times \mathbb{Z} = \{x \in \mathbb{R}^n : x = (x_1, \dots, x_n), x_i \in \mathbb{Z} \text{ for } i = \overline{1, n}\})$ .

#### Операції над точками

В більшості випадків множини точок – це окремі підмножини векторного простору  $\mathbb{R}^n$ . Тому, ці множини точок успадковують звичайні операції елементарного векторного простору.

### Висновок

У роботі проведемо огляд понять та операцій алгебри зображень. Побудова архітектури системи обробки зображення представлена так, що атрибути пікселя можуть бути описані на границі арифметики і математичної морфології. У роботі лаконічно представлено алгебричне представлення множин точок і операцій над ними для уніфікованого застосування при подальшій роботі із зображеннями; включаючи а) синхронізацію українсько-англійських відповідників; б) забезпечення представлення неперервності відображення простору точок за допомогою математичного апарату для подальших досліджень.

## ПОБУДОВА ТРИВИМІРНОГО ЦИЛІНДРА ЧОТИРИВИМІРНОГО ПРОСТОРУ

Проведення досліджень проєкційних зображень багатовимірних циліндричних поверхонь у даному напрямку є актуальним. Конструювання геометричних образів дозволяє розширити можливості практичного застосування геометричних засобів багатовимірних фазових і просторів стану технічних систем.

Розглянемо алгоритм побудови «верхньої» основи  $BO$  тривимірного циліндра чотиривимірного простору, керуючись розробками [1–3].

Тривимірна циліндрична поверхня задана напрямною  $x = x(t)$  двовимірної площини  $Oxt$  і множиною двовимірних твірних площин  $ТП_i$ , неперервна сукупність яких утворює тривимірну циліндричну поверхню. Побудуємо «верхню» основу  $BO$  тривимірного циліндра. «Нижня» основа з напрямною  $x = x(t)$  знаходиться у двовимірній площині  $Oxt$ . Основа  $BO$  також знаходиться у двовимірній площині, яка, взагалі не є координатною площиною 4 – простору, але паралельна площині  $Oxt$ . Ступінь паралельності цих двох площин з належними їм основами циліндра

$$\eta = \frac{r+1}{m} = \frac{0+1}{2} = \frac{1}{2},$$

де  $r = 0$  – вимірність точки перетину двовимірних площин з основами циліндра;

$m = 2$  – вимірність площини.

Проведемо січну тривимірну площину розмірності  $r_{kl} = 3$ , наприклад,  $x_l$ , паралельну тривимірному підпросторові  $Oyzt$ . Площина перетинає тривимірний циліндр вимірності  $r_u = 3$  по площині  $ТП_l$ , паралельній площині  $Oyz$ , і двовимірній площині  $x_l O_{zx}O_{lzx}$  січного підпростору:  $r_{ТП_l} = r_{x_l} + r_u - n = 3 + 3 - 4 = 2$ .

Напряму  $x = x(t)$  вимірності  $r_x = 1$  січна тривимірна площина перетинає в точці  $I_{tx}$ :  $r_{I_{tx}} = r_x + r_u - n = 1 + 3 - 4 = 0$ .

Розглянемо проєкції тривимірного циліндра у тривимірних координатних підпросторах  $Oxyt$  та  $Oxzt$ . Обидві двовимірні проєкції циліндра мають спільну основу в площині  $Oxt$ . Одновимірна напрямна, наприклад,  $I_{tx}O_{lxy}$  паралельна осі  $Oy$  координатного підпростору  $Oxyt$  одної проєкції тривимірного циліндра, а одновимірна напрямна, наприклад,  $I_{tx}O_{lzx}$  паралельна осі  $Oz$  координатного підпростору  $Oxzt$  другої проєкції тривимірного циліндра у підпросторі  $Oxzt$ . Проведемо складову  $Oy_0$  висоти одної проєкції тривимірного циліндра у підпросторі  $Oxyt$  і складову  $Oz_0$  висоти другої його проєкції у підпросторі  $Oxzt$ . Через точки  $y_0$  і  $z_0$  проведемо двовимірні площини  $П_{yox}$  і  $П_{zox}$  верхніх основ проєкцій тривимірного циліндра, паралельні площині  $Oxt$  його основи.

У тривимірних підпросторах  $Oxyt$  та  $Oxzt$  обидві площини  $П_{yox}$  і  $П_{zox}$  є напрямні двох тривимірних призматичних поверхонь, ребрами яких слугують відрізки  $y_0O_{yz}$  та  $z_0O_{yz}$ , паралельні осям відповідно  $Oz$  та  $Oy$  4 – простору. Перетин цих призматичних поверхонь ( $r_n = 3$ ) утворює площина  $П_{BO}$  чотиривимірного простору вимірності  $r_{П_{BO}} = 2$ , яка є «верхньою» основою тривимірного циліндра (рис. 1).

Тривимірна площина  $x_l$  перетинає двовимірну площину  $П_{yox}$  по прямій  $O_{xy}O_{lxy}$  і твірну площину  $ТП_l$  по прямій  $I_{tx}O_{lxy}$ , яка є одновимірною твірною проєкції тривимірного циліндра у тривимірному підпросторі  $Oxyt$ , і двовимірну площину  $П_{zox}$  по прямій  $O_{zx}O_{lzx}$  і твірну площину  $ТП_l$  по прямій  $I_{tx}O_{lzx}$ , яка є одновимірною твірною проєкції тривимірного циліндра у тривимірному підпросторі  $Oxzt$ . Сукупність точок  $O_{lxy}$ ,  $O_{2xy}$ ,  $O_{3xy}$  ..., а також  $O_{lzx}$ ,

$O_{2zx}, O_{3zx} \dots$ , визначають проекції відповідно  $BO_{xty}$  і  $BO_{xtz}$  напрямної  $BO$  тривимірного циліндра у тривимірних координатних підпросторах відповідно  $Oxyt$  та  $Oxzt$ .

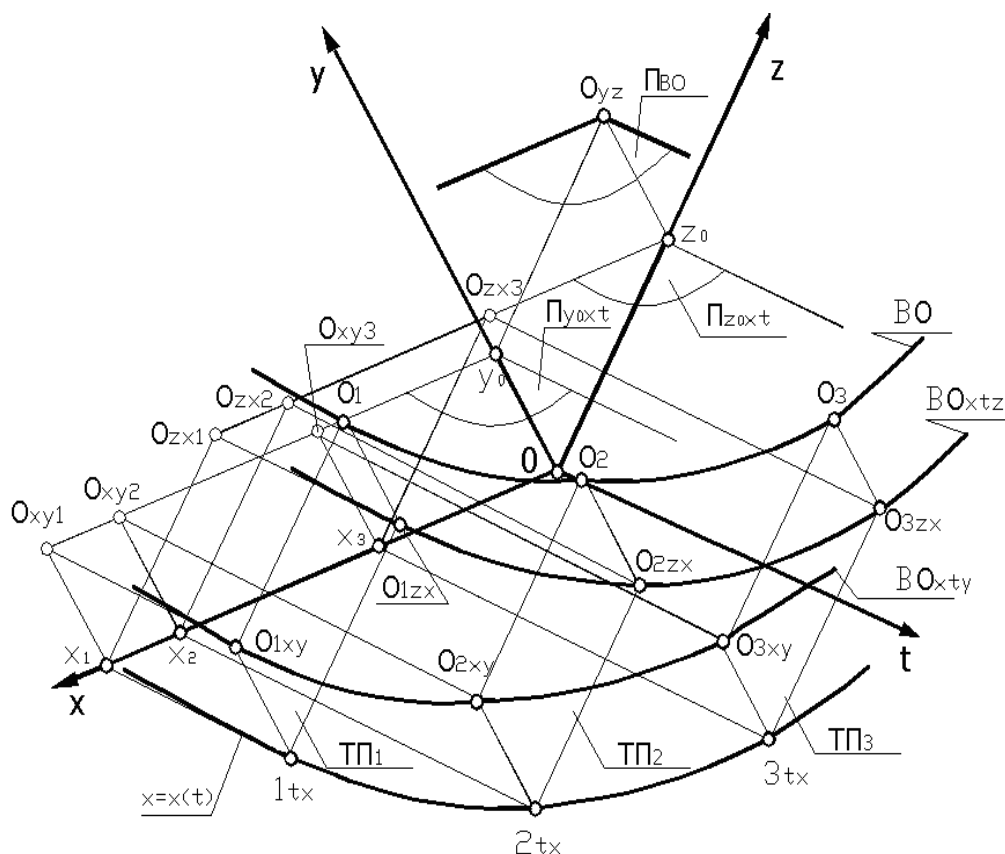


Рис. 1. Тривимірний циліндр чотиривимірного простору

Отже, у чотиривимірному просторі проекції  $BO_{xty}$  і  $BO_{xtz}$  визначають напрямні двовимірних циліндрів. Їх твірними є прямі  $O_{1xy}, O_1, O_{2xy}, O_2, \dots$ , а також  $O_{1zx}, O_1, O_{2zx}, O_2, \dots$ , паралельні осям відповідно  $Oz$  та  $Oy$ . Перетином двох циліндрів чотиривимірного простору є одновимірною кривою  $BO$ , напрямною «верхньої» основи тривимірного циліндра, яка належить двовимірній площині  $P_{BO}$ .

### Висновки

Розроблення геометричних засобів відображення з використанням багатовимірних евклідових просторів, вимірність яких визначається числом функціональних параметрів досліджуваної технічної системи, розширює їх практичне застосування.

1. Гумен О.М., Мартин Є.В. Гіперповерхні траєкторій фазових  $n$ -просторів. *Сучасні проблеми моделювання*. 2019. № 15. С. 66–72.
2. Гумен О.М., Ляковська С.Є., Мартин Є.В. Достатність проекційних зображень 1 – багатовидів  $n$  – просторів стану технічних систем. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2018. № 1. С. 58–67.
3. Гумен О.М., Ляковська С.Є. Геометрія проєктивних  $n$ -просторів щодо перебігу технологічних процесів у дослідженнях багатопараметричних систем. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Мелітополь, 2011. Вип. 4, Т. 49. С. 89–94.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОРОЖНИСТОГО ВАЛКА ПРОКАТНОГО СТАНУ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ТЕПЛООБМІНУ НА ПОВЕРХНІ

Під час термічної обробки та прокатки металу, тепло, що виділяється, сприяє деформації і руйнуванню валків прокатного стану. Для продовження терміну експлуатації валків прокатних станів, що є досить дорогим інструментом у прокатному виробництві, необхідно досліджувати теплові процеси, що відбуваються всередині валка і на його поверхні під час прокатки [1, 2].

Розглядається математична модель радіаційно-конвективного теплообміну, що виникає під час термічної обробки або пластичної деформації між валком прокатного стану та металом, що розігрівається. Розглядається температурне поле порожнистого валка циліндричної форми, що обертається навколо своєї осі з постійною кутовою швидкістю та розігрівається від металу, який має сталу температуру у зоні контакту. За межами зони контакту з металом валок віддає тепло в оточуюче їх середовище. Побудована фізична модель процесу теплообміну у якій розглянуто термічно тонкий порожнистий циліндр, температурне поле якого слабо залежить від радіуса циліндра. Джерелом тепла, що розігріває тіло валка, є рухома стрічка, яка передає тепло зовнішній поверхні валка.

Математична модель розглядається у вигляді крайової задачі для однорідного рівняння теплопровідності з нелінійними граничними умовами у циліндричній системі координат. У початковий момент часу на бічній поверхні та на основах валки мають сталу початкову температуру. На поверхні у зоні контакту температура валка дорівнює температурі металу, що обробляється, а на іншій частині поверхні валка відбувається теплообмін з оточуючим середовищем за законом Стефана-Больцмана [1].

Розглядається спрощена математична модель температурного поля радіального перерізу валка. При такому спрощенні у рівнянні теплопровідності похідна за осьовою координатою зникає [1]. Запропоновано метод та алгоритм розв'язку задачі. Вони включають у себе розгляд усередненої за радіусом температури валка прокатного стану. Для знаходження температурного розподілу розв'язок крайової задачі зведено до розв'язання еквівалентного їй нелінійного інтегрального рівняння типу Гаммерштейна з ядром у вигляді функції Гріна. Функція Гріна побудована у вигляді тригонометричного ряду з коефіцієнтами – функціями Бесселя першого роду  $n$ -го порядку, що є розв'язком власної спектральної задачі з параметром. Розглянуто термодинамічний стан, що встановлюється через деякий час після початку процесу, в результаті чого функція Гріна стає періодичною за кутовою координатою та за часом.

**Висновки.** Розглянуто та досліджено математичну модель температурного поля обмеженого порожнистого циліндра (валка прокатного стану), що обертається навколо своєї осі з різними умовами теплообміну поверхні з оточуючим середовищем, у вигляді третьої крайової задачі теплопровідності, яка зведена до розв'язання еквівалентного їй інтегрального рівняння типу Гаммерштейна з ядром у вигляді функції Гріна. Розглянуто спрощену математичну модель температурного поля перерізу порожнистого валка, перпендикулярного до осі його обертання. Розглянуто усталений періодичний стан – стан термодинамічної рівноваги. Побудовано графік температурного розподілу порожнистого циліндра.

1. Дем'янченко О. П., Ляшенко В. П. К расчету температурного поля теплоизлучающего полого цилиндра. *Вестник ХГТУ*. 2002. № 2(15). С. 154–159.

2. Ляшенко В. П., Аниськов О. В. Математична модель прокатки тонкої і надтонкої стрічки із тугоплавких і важкодеформованих металів. *Вісник Криворізького нац. ун-ту*. Кривий Ріг, 2016. Вип. 42. С. 68–72.

## ПОКРИТТЯ ІЗ ФЕМ З ОСНОВОЮ ІЗ ПІРАМІДАЛЬНОГО ТА РЕБРИСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В останні роки покриття майданчиків різного призначення, тротуарів, пішохідних доріжок, автостоянок все частіше будують з використанням фігурних елементів мостіння (ФЕМ) з бетону [1]. Такі покриття є естетично привабливими, екологічно чистими, мають довший термін експлуатації, ніж асфальтобетонні. Пошкодженні окремі елементи покриттів можна з легкістю замінити на нові, що подовжує термін їх служби. Іноді у покриттях з ФЕМ виникають руйнування, зсув окремих елементів, вибоїни, западини, та ін. [2]. Однією з причин цих деформацій є невірне обране конструктивно-технологічне рішення покриття.

Зовнішнє навантаження прикладене до плитки передається через її нижню основу на несучий шар покриття. Бетонні елементи мостіння, що застосовуються в будівництві, мають пласку нижню основу. Збільшення площі нижньої основи плитки дозволить передавати навантаження на збільшений об'єм несучого шару, що підвищить несучу здатність дорожнього одягу. Раніше були запропоновані та частково досліджені декілька варіантів покриттів зі зміненою геометричною формою нижньої основи ФЕМ. Результати досліджень вказали на підвищення якісних характеристик розроблених покриттів [3-5].

Метою дослідження є підвищення якісних характеристик покриттів пішохідних доріжок та майданчиків різного призначення з фігурних елементів мостіння. Для досягнення мети поставлена задача з розробки та дослідження нових конструктивно-технологічних рішень покриттів із бетонних елементів, що мають змінену геометричну нижню основу.

Важливими показниками якості пішохідних доріг, майданчиків, автостоянок є їх надійність та довгий безремонтний термін служби. Щоб підвищити їх несучу здатність та запобігти зсув окремих фігурних елементів мостіння запропоновані нові варіанти покриттів. У кожному з варіантів по контуру нижньої основи плитки розташовані ребристі елементи призматичної форми. В середині на горизонтальній поверхні нижньої основи розташовані пірамідальні елементи з вершиною, направленою донизу. У першому варіанті основа піраміди торкається основи ребристого елемента своєю основою, у другому – знаходиться на відстані від ребристих елементів. У кожному з варіантів параметр висоти пірамідального елемента співпадає з параметром відстані від ребра кожного з призматичних елементів до нижньої основи ФЕМ. Щоб не було зайвих витрат бетону на нижню основу, об'єм нових ФЕМ повинен дорівнювати об'єму традиційної плитки з тими ж параметрами у плані, що досягається зменшенням висоти верхньої призматичної частини запропонованих ФЕМ.

На нашу думку покриття, виконані за новими варіантами, мають переваги перед покриттями, виконаними із плиток з пласкою основою. По-перше, призматичні і пірамідальні елементи основи плитки призведуть до додаткового ущільнення піщаного (чи з іншого дрібнозернистого матеріалу) шару основи дорожнього одягу. Таке ущільнення сприяє збереженню початкового положення плиток, що буде запобігати утворенню провалів та інших руйнувань покриттів під час їх експлуатації. Також ущільнення несучого шару основи призводить до підвищення несучої здатності покриття. По-друге, площа нижньої основи розроблених ФЕМ збільшується за рахунок бічних поверхонь геометричних елементів. Тобто вертикальне навантаження на покриття буде передаватись через збільшену нижню основу плиток на збільшений об'єм несучого шару дорожнього одягу, а це означає, що покриття зможе витримати збільшене навантаження. По-третє, призматичні і пірамідальні елементи основи плитки будуть перешкоджати горизонтальному зсуву плиток при впливі на них горизонтального навантаження. Тому покриття буде максимально зберігати своє початкове положення у просторі. Отже, збільшення несучої здатності і запобігання зсуву елементів покриття сприятимуть збільшенню його безремонтного терміну служби.

Найбільш уразливими частинами елементів мостіння під час експлуатації покриттів є контур та центральна частина. В розроблених варіантах ці частини посилені: по периметру –



призматичними елементами, в центрі – пірамідальним елементом. Ці геометричні елементи в нижній основі ФЕМ будуть перешкоджати впливу горизонтального навантаження, прикладеного до покриття вздовж будь-якого напрямку.

Для визначення висоти призматичної (верхньої) частини нових ФЕМ проведено розрахунки. Для порівняння обраний традиційний зразок висотою 50 мм квадратної форми в плані зі стороною 120 мм. У запропоновано зразка з такою самою формою і розміром в плані, параметри призматичних елементів і нижній основі обрати наступними: кут в поперечному перетині при ребрі прийняти рівним  $90^0$ , а відстань від нижньої основи до ребра 10 мм. Висоту чотирьохгранної правильної піраміди для кожного варіанта прийняти рівною 10 мм. З'ясовано, що в порівнянні з традиційним зразком, запропоновані зразки ФЕМ зі зміненими параметрами нижньої основи мають висоту призматичної верхньої частини в першому варіанті – 45,7 мм, в другому – 47,1 мм, тобто різниця, відповідно 4,3 мм та 2,9 мм.

В лабораторних умовах планується дослідити роботу традиційного та нових варіантів покриттів під впливом вертикального тривалого навантаження. Основними факторами, що впливають на роботу покриття, обрані: вертикальне навантаження та час його впливу на покриття; товщина, щільність та вологість нижнього шару основи під покриттям. Матеріалом конструктивного шару, на який будуть улаштовуватись зразки ФЕМ, обрано дрібнозернистий пісок.

Користуючись класичною теорією планування експериментів, обрана трьохфакторна трьохрівнева модель скороченого плану. Факторами, що впливатимуть на покриття обрані: величина вертикально прикладеного навантаження, час його впливу на покриття та товщина конструктивного піщаного шару під покриттям. Планується отримати величини вихідних параметрів – осідання дослідного зразка під впливом вертикального навантаження та щільності піщаного шару під зразками.

При проведенні експериментів буде використовуватись розроблений та виготовлений раніше дослідний стенд, що складається із короба для улаштування досліджуваного покриття та важелю для передачі вертикального навантаження. Для вимірів параметрів осідання планується використовувати індикатори часового типу, які будуть розташовані при кожному з чотирьох кутів дослідного зразка. Для визначення параметрів щільності піщаного шару підготовлено: металеве кільце для забору піщаного матеріалу з внутрішнім об'ємом  $65 \text{ см}^3$ , дві пластини зі скла та ваги.

Після проведення експериментів, буде зроблений порівняльний аналіз їх результатів. Найменше значення осідання зразка при найбільшому значенні щільності вкажуть на оптимальний варіант покриття. При підтвердженні наших гіпотез про переваги покриттів із ФЕМ зі зміненою геометричною формою нижньої основи відносно традиційних покриттів з ФЕМ, що мають пласку основу, з двох запропонованих варіантів буде обране те покриття, яке буде досліджуватись надалі.

1. ДСТУ Б В.2.7-145:2008. Вироби бетонні тротуарні неармовані [Чинний від 2008-10-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, ДП «Укрархбудінформ», 2008. 20 с.
2. Catalogue of Road Defects. Research & Development Division of Highways Department, RD/GN/015, January 2013, P. 42-45.
3. Думанська В.В. Вдосконалення технології улаштування покриттів з фігурних елементів мостіння: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.08. Одеса, 2011. 20 с.
4. Dumanska V., Vilinska L., Marchenko V., Studies of Coatings From FEP with Corrugated Base from Toothed Elements of Pyramidal Shape on the Horizontal and Inclined Surfaces. Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2017. № 1 (48). P. 265–272.
5. Dumanska V., Kalinin O., Sidorova N. and Kalinina T. Study of Pavements of Concrete Paving Blocks with Ribbed Underside Surface. Key Engineering Materials, 2020 P. 101-107.

## ВИМІРЮВАННЯ НІТРАТІВ У ВОДІ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Безпечність вживання питної води без очищення з кожним роком стає все більш небезпечним. Отже контроль стану води, а саме відсоток нітратів в ній є актуальною та важливою екологічною проблемою.

Джерела нітратів – це стоки з посівних площ і газонів, скиди з очисних споруд, септичних систем, місць зберігання гною та промислових об'єктів. Сьогодні вимірювання відсотка нітратів у воді проводиться в поверхневих, підземних, стічних водах, в аквакультурі, в їжі тощо. Рівень природних нітратів у водному середовищі відносно низький не більше 1 мг/л. Надлишки нітратів у водному просторі впливають на стан флори та фауни, що вимагає проведення своєчасного контролю. Коли надлишок поживних речовин – таких як нітрати та фосфор – потрапляє у водойми це спричиняє цвітіння водоростей, які служать джерелами питної води, при цьому виробляються небезпечні токсини, що спричиняє зменшення розчиненого кисню та призводить до загибелі риби.

В організм людини нітрати потрапляють через воду та їжу. Самі по собі нітрати нешкідливі для людини. Але постійне перебування нітратів у шлунку призводить до редукування їх у нітриту ( $\text{NO}_2$ ). Для дорослої людини нечасте вживання продуктів, що містять граничні дози нітратів пройде без будь-яких негативних наслідків якщо регулярно вживати «чисту» від нітратів воду. Але короткочасне вживання питної води з рівнем нітратів вище допустимого значення може викликати проблеми зі здоров'ям у маленьких дітей. Діти вживають велику кількість води щодо своєї маленького ваги, як у чистому вигляді, так і з різноманітними порошкоподібними сумішами дитячого харчування. Нітриту звязують гемоглобін в червоних клітинах крові (еритроцитах) у метабологемобліну породжуючи при цьому захворювання крові (метабологемоблінемія). При відсутності забруднюючих факторів, масова концентрація нітратів у питній воді, зазвичай не перевищує, 8 мг / л. Гранично допустима концентрація нітратів у питній воді - 45мг/л. Моніторинг вмісту нітратів може допомогти поінформувати керівників аквакультури про те, коли слід коригувати операції – це може включати збільшення швидкості водообміну, додавання денітрифікаційного блоку тощо. Після отримання даних з віддаленого метрологічного обладнання можливо забезпечення оптимального реагування на потенційні ризики, або ж повністю їх усунення без втручання людини. Для побудови такої взаємопов'язаної та взаємосумісної автоматизованої макросистеми пропонується використання мікромашиної метрологічної моделі (мМММ). Необхідність тривалого аналізу даних для розробки належних сценаріїв реагування - приводить до пошуку нових датчиків для оцінки метрологічних даних стану водного середовища. Це дозволить операторам державних та корпоративних моніторингових систем отримувати готові рішення на основі заздалегідь розроблених алгоритмів, що буде знижувати фактор людських помилок та напряду інтегрування даних до процесів прийняття рішень. В умовах швидкого розвитку технологій збору та обробки даних, інтерактивний доступ до результатів вимірювань суттєво покращує якість прийняття рішень та в перспективі автоматизувати їх шляхом інтеграції показників безпосередньо в середовище реагування (виклик спеціальних служб та формування стану навколишнього середовища)

Ключовими компонентами подібних взаємосумісних «розумних» систем є метрологічне обладнання - датчики, які збирають дані, автономні мікромашини нового покоління, що передають дані в цифрову мережу та відносяться до вживаного сьогодні класу IoT-пристроїв (від англ. Internet of Things - Інтернету речей); алгоритми обробки даних - гарантія об'єктивності роботи обладнання та їх верифікації для сертифікації показників у вигляді доказів юридичної сили, перетворення отриманих параметрів у необхідні одиниці вимірювання.; моделювання належних сценаріїв - інтеграція отриманих показників та

організаційні процеси з автоматично згенерованими варіантами повернення системи до норми.

Розглянуто спосіб вимірювання та обробки результатів для отримання кількісного стану нітратів у водному середовищі. Обробка результатів заснована на методі диференціального поглинання. Одна довжина хвилі налаштована – на максимум поглинання, а інша на мінімум. Після вимірювання саме диференційного коефіцієнту поглинання для водного розчину робиться програмна обробка результатів на кюветі 130 мм не менш як 400 вимірів, що забезпечує визначення результатів концентрації з точністю до 7 % за час не більш 2 с, це дозволяє вийти на реальне відображення стану повітряного або водного середовища.

На рис. 1 наведено приклад зміни стану водного розчину в реальному масштабі часу при примусовій прокачці через вимірювальний датчик.

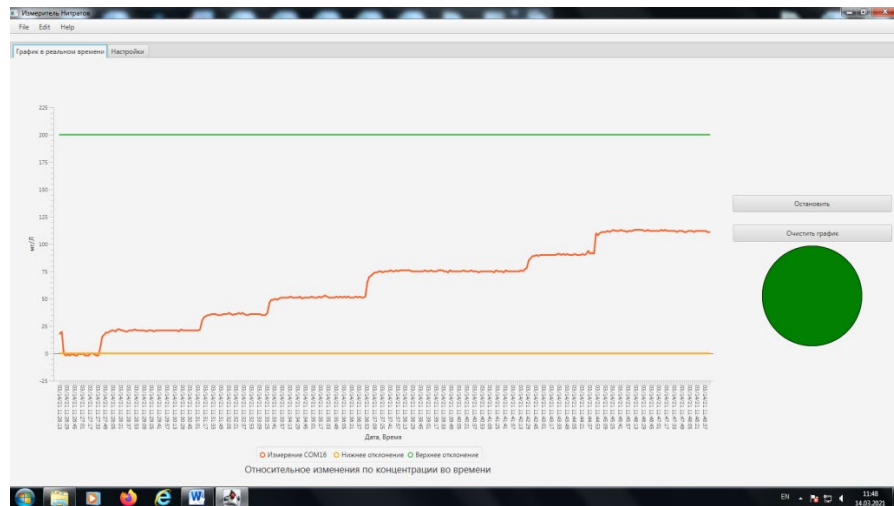


Рис.1 - Стан водного розчину на наявність NO<sub>3</sub> в мГ/л в реальному масштабі часу, доби

На моніторі відображається кількісний стан нітратів та відносна оцінка розчину (зелений круг), який супроводжується також звуковим сигналом про перевищення норми.

Отже досягнута чутливість датчика на рівні 5 мГ/л при наявності домішок азотно-кислого натрія до 200 мГ/л. Багаторазова перевірка проточного датчика в реальних умовах лабораторії та повітря в літній час підтверджує його здатність до вимірювання в нормальних умовах застосування протягом доби.

#### Список використаної літератури

1. Защепкіна Н.М. Сучасні методи експертизи соняшникової олії в технологічному процесі вінтеризації / Н.М. Защепкіна, М.О. Маркін, В.В. Таранов, О.А. Наконечний // Прикладні питання математичного моделювання, ХНУ. Т.2(№ 1). 2019. С. 53-65
2. S. A. Dolenko S. A. Impact of Humic Acids on Survival of Microorganisms of Different Groups in the Aquatic Medium / S. A. Dolenko, A.M. Kravchenko, V. V. Vember, V. V. Abramov, V. V. Taranov.// Hydrobiological Journal. 2019. V. 55. N5. P. 57-64.
3. Защепкіна Н.М. Застосування люмінесцентних методів аналізу в експрес-метрії сортових якостей моторних олів. /Н.М. Защепкіна, В.В. Таранов, О.А. Наконечний// Міжн. наук.-техн. конф. «Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво». м. Луцьк, 13-15 листопада 2018. С. 91-94.
4. Таранов В.В. Експрес-контроль фізико-хімічних показників / Міжн. наук.-практ. конф. Застосування лазерів у медицині та біології. Харків, 2019. С 288-291.
5. Zashchepkina N. Quality control of frying oils by selected optical methods of analysis /Zashchepkina N., Taranov V., Nakonechnyi O.// Monograph Actual problems of modern science. ХНУ, 2019, P. 288-298.

## ЗАСТОСУВАННЯ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ГЕОМЕТРИЧНО НЕЛІНІЙНОЇ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

Розв'язки багатьох важливих для практики задач, що виникають в сучасній техніці, не можуть бути отримані традиційними методами теорії аналітичних функцій або за допомогою інтегральних перетворень. Це відноситься, наприклад, до контактних задач, в яких враховується скінченні розміри області хоча б в одному напрямку, або досліджуються середовища з криволінійною анізотропією тощо [1].

Застосування асимптотичних методів майже у будь-яких складних випадках дозволяють отримати обґрунтовані наближені рівняння, з'ясувати якісні закономірності та отримати аналітичні розв'язки задач. Методи малого параметра [2] не втрачають своєї ваги на тлі розвитку чисельних методів і часто є основою для розробки останніх.

Метою досліджень останніх років є врахування складних властивостей матеріалів, що наближає математичну модель до реальних задач [3]. Наприклад в [4] запропоновано метод розв'язання задачі електро-в'язкопружності для багатозв'язних пластин. Методом малого параметра задача зведена до рекурентної послідовності задач електров'язкопружності, що розв'язуються з використанням комплексних потенціалів [5].

Метод збурення, запропонований для розв'язування нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, має теоретичне і практичне значення, є універсальним і може бути застосований для аналізу різноманітних задач математичної фізики. Ключом до розв'язання той чи іншої задачі є, як відомо, побудова її математичної моделі. У процесі побудови такої моделі намагаються прийняти до уваги одні особливості задачі, повністю знехтуючи іншими і лише у визначеному степені враховуючи третті. Найбільш корисні апроксимації мають місце, коли один чи декількох параметрів або змінних задачі дуже малі (або завеликі). Якщо величиною збурення є один з безрозмірних фізичних або геометричних параметрів, то кажуть про збурення параметрів. Якщо величиною збурення виступає одна з незалежних змінних, то кажуть про збурення координат. Приближення такого типу стають все більш точними, коли величина збурення прямує до нуля (або нескінченності), тобто вони є асимптотичними розв'язками [3]. Взагалі, можна покращити результат, якщо розглядати його як перший крок у схемі послідовних наближень.

Потрібно вказати, що розроблений підхід може бути застосований до розв'язання задач, в яких залишкові деформації відіграють значну роль (згин тонких пластин та оболонки). В розглянутій модельній задачі вдалось відокремити вплив геометричної нелінійності, але вказаний вище клас задач демонструє ефективність методу більш наочно.

В даній роботі представлено узагальнення методу збурень [2], що дозволяє звести задачі геометрично нелінійної теорії пружності (в плоскій та просторовій постановці) до послідовного розв'язання крайових задач теорії потенціалу. Геометрично нелінійна теорія пружності містить в собі деякі особливості, завдяки яким вона відрізняється від класичної (лінійної) теорії. Головна відмінність складається з того, що в нелінійній теорії враховується різниця між геометрією недеформованого та деформованого станів. Врахування кінцевих деформацій при створенні математичних моделей веде до значних труднощів при розв'язуванні задач, але в той же час наближає модель до реальної проблеми. Саме тому результати представленої роботи мають як теоретичне, так і прикладне значення, а дослідження є актуальним. Досліджено геометрично нелінійні осесиметричні задачі. Як і в лінійній постановці [5], в нелінійній теорії пружності можуть бути отримані три види

деформованих станів з різними властивостями, що виявляються в відмінності порядків компонент вектора зміщень та їх різній відмінності за координатами. Показано, що можна отримати три відповідних напружених стани.

Питання про напружено-деформований стан тривимірного геометрично нелінійного тіла зведено до інтегрування рівнянь рівноваги в декартовій системі координат. Шукані функції розкладаються в ряди за степенями малого параметра  $\varepsilon$ . Показано, що коефіцієнти в цих розвиненнях можуть бути підібрані таким чином, що основні функції в перших двох наближеннях знаходяться з рівнянь Лапласа. В більш високих наближеннях розв'язуються рівняння Пуасона, праві частини яких визначаються з попередніх наближень. Допоміжні функції знаходяться інтегруванням.

Проведено аналіз співвідношень між деформаціями та переміщеннями ортотропного тіла в межах плоскої постановки задачі теорії пружності з урахуванням скінченних деформацій.

Показано, що після введення афінних перетворень координат (спеціально підбраного авторами методу) можуть бути виділені два види деформованого стану з різними властивостями. Зв'язок між цими станами здійснюється через зсувну компоненту деформації, яка містить рівноцінні складові обох типів. Виділяються два види напруженого стану, які відповідають вказаним типам деформованого стану, при чому дотичні напруження містять однакові складові обох типів. Як і в лінійному випадку [3] задача розділяється на дві незалежні: задачу про деформацію, в якій відсутня одна з компонент переміщень та задачу кручення. Для визначення основних функцій треба розв'язувати крайові задачі при сформульованих крайових умовах. Допоміжні функції знаходяться через основні інтегруванням.

Якщо розглядаються «повні» рівняння рівноваги, тоді, як і для тривимірної задачі, у нульовому та першому наближеннях основні функції розшуковуються теж з рівнянь Лапласа, а для більш високих наближень необхідно розв'язувати рівняння Пуасона, у правих частинах яких містяться відомі функції з попередніх наближень. Однак і в цьому випадку маємо безсумнівну перевагу, тому що є добре розроблені загальні методи розв'язування крайових задач для таких рівнянь.

### Список літератури

1. Александров В.М. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости / Александров В.М., Чебаков М.И. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 302 с.
2. Маневич Л.И. Асимптотический метод в микромеханике композиционных материалов / Маневич Л.И., Павленко А.В. – К.: Вища шк., 1991. 131 с.
3. Кагадій Т.С. Метод возмущений в механике упругих (вязкоупругих) анизотропных и композиционных материалов. Дніпропетровськ: РИК НГА України, 1998. 260 с.
4. Калоев С. А., Самодуров А. А. Задача электровязкоупругости для многосвязных пластинок. Математичні методи та фізико-механічні поля, 2014. – Т. 57. – № 3. С. 62–77.
5. Кагадій Т.С., Шпорта А.Г., Білова О.В., Щербина І.В. Напружено-деформований стан шаруватої основи з підкріплюючим елементом. Прикладні питання математичного моделювання. ХНТУ– Херсон 2020. – Т.3. № 2.1– С. 107-116.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Перетворення сільськогосподарського виробництва у високо розвинутий сектор економіки неможливе без послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов. Україна належить до тих країн, де меліорація є одним з визначальних факторів загального стану виробництва продуктів харчування, сировини для промисловості, забезпечення продовольчої безпеки держави та експорту продукції сільськогосподарської галузі [1].

Широке використання сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій у тому числі в сільськогосподарському виробництві, так звані системи точного землеробства [2], обумовлює економне використання водних і енергетичних ресурсів за рахунок впровадження інформаційно-керуючих систем з підсистемами моніторингу та застосування методів адаптивного керування. Важливим аспектом підтримання оптимальних умов процесу вирощування агрокультур є автоматизовані системи поливу.

На території України для забезпечення необхідного додаткового поливу, широкого розповсюдження набули закриті зрошувальні системи (ЗЗС) з використанням дощувальних машин універсальних (ДМУ) серії «Фрегат», у зв'язку з чим виникають проблеми пов'язані з експлуатацією таких ДМУ [3].

При побудові математичної моделі для аналізу гідравлічних процесів в закритій зрошувальній гідравлічній системі, по-перше, проводиться розрахунок розмірів всіх її трубопроводів; далі – характеристик насосної станції [3]. Розрахунок трубопроводу проводиться з огляду на специфіку роботи ЗЗС. Гідравлічні характеристики ЗЗС можуть змінюватись під впливом зовнішніх факторів, для побудови коректної системи керування необхідно визначити які гідравлічні характеристики системи змінюються найбільш суттєво.

До гідравлічних характеристик в ЗЗС відносяться: витрати води дощувальними машинами, втрати тиску по довжині трубопроводів, які безпосередньо залежать від різних фізичних властивостей рідини, а також від коефіцієнтів корисної дії трубопроводів, коефіцієнтів гідравлічного тертя трубопроводів.

В результаті моделювання гідравлічних характеристик ЗЗС під впливом зовнішніх факторів, а саме температури рідини, що транспортуються, виявлено що густина води в розглянутому діапазоні температур рідини 0-50 °С змінюється не суттєво, та майже не впливає на гідравлічні характеристики. Найбільш суттєво під впливом температури змінюється динамічна в'язкість води, що призводить значних змін гідравлічних характеристик втрат тиску по довжині та питомих втрат тиску. Врахування впливу зовнішніх факторів на гідравлічні характеристики ЗЗС надає можливості здійснювати більш адекватні розрахунки при моделюванні динамічних процесів, що відбуваються при роботі поливних установок.

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. Указ Президента України від 24.05.2012 р. № 4836
2. М. Циганенко, М. Макаренко Система точного землеробства економить ваші гроші. *Пропозиція*. 2017. Вип. 2 С. 56-60.
3. Гурин В. А., Степаненко М.Г., Степаненко М. П. Технологія зрошування: навчальний посібник. Рівне: НУВГП 2013. 382 с.

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОБМЕЖЕНЬ В ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ГРУП ЛЮДЕЙ ПРИ ЕВАКУАЦІЇ З БУДІВЕЛЬ ВАНТАЖЕМ

Задачі розкרוу та упакування (C&P Problems) активно досліджуються науковою спільнотою на протязі останніх років. Такий інтерес пояснюється як великою їх складністю з теоретичної точки зору, так і широким спектром їх застосування при розв'язанні актуальних практичних задач, наприклад, в інформатиці, логістиці, моделюванні виробничих процесів, забезпеченні безпечної життєдіяльності населення та ін.

Одним із найважливіших питань в забезпеченні безпечної життєдіяльності населення є своєчасна евакуація людей, що опинилася в небезпечній для життя ситуації. Для проведення оперативно-тактичних дій по евакуації і порятунку людей з будівель створюються пожежно-рятувальні підрозділи, які, як правило, формуються згідно типу НС, яка виникає в будівлі, тобто згідно їх професійної спрямованості. На допомогу пожежно-рятувальним підрозділам в даний час приходять програмні комплекси по керуваній евакуації з будівель, головним компонентом яких є програми моделювання руху людського потоку, які в кожний фіксований момент часу являють конфігурацію розміщення людей.

На практиці часто виникає задача моделювання руху людей групами, прикладами яких можуть слугувати члени сім'ї або рятувальники одного підрозділу, які рухаються з вантажем. Тому актуальною задачею є моделювання руху груп людей з урахуванням максимально-допустимих відстаней між членами груп, і які евакуюються з вантажем.

У роботі запропонована модель тіла людини з вантажем, яка представляє собою двокомпонентний складний об'єкт, як об'єднання еліпса та прямокутника, між компонентами якого задані максимально-допустимі відстані. Врахування максимально-допустимих відстаней між об'єктами дозволяє об'єднувати їх в підгрупи, а задані максимальні відстані між підгрупами дозволяє об'єднувати їх в групи. Формалізовані перелічені обмеження на взаємодію об'єктів, побудована математична модель актуальної задачі моделювання руху людей з розбиттям їх на групи. Для аналітичного опису умов неперетинання об'єктів модифіковано квазі- $\rho$ -функції складених об'єктів, які є основою алгоритмів моделювання індивідуально-поточного руху людей.

**Висновки.** У роботі побудована модель тіла людини з вантажем, отримані аналітичні вирази умов їх неперетинання з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними, що є основою для побудови математичної моделі моделювання руху людей з вантажем.

Розширення просторих форм об'єктів в аналітичному описі умов взаємодії об'єктів дозволяє розширити коло практичних задач, що розв'язується. Зокрема, при моделюванні руху людей з'явилася можливість моделювати рух людей групами. Такий підхід може бути використаний, наприклад, в робототехніці для проектування роботів, частини яких не можуть віддалятися на відстань, більше за допустиму; в логістиці при конструюванні груп об'єктів контейнер, тощо.

## КОЛИВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ДІЄЮ ПЕРІОДИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТІВ ГІДРОПРУЖНОСТІ

Значна частина сучасного енергетичного обладнання працює в умовах взаємодії з оточуючим середовищем. Високі швидкості рідини спричиняють появу суттєвого тиску на поверхні конструктивних елементів. В свою чергу, коливання елементів машин та споруд в потоці рідини веде до зміни параметрів руху рідини. Тобто виникає зв'язана задача визначення міцносних та динамічних характеристик таких систем [1,2]. З одного боку коливання пружного тіла змінюють параметри течії, а з іншого, саме наявність течії призводить до суттєвого впливу на динамічні характеристики конструкції. З точки зору механіки, такі задачі можна класифікувати як задачі взаємодії різних суцільних середовищ. Для опису руху суцільних середовищ використовують загальні рівняння руху, рівняння стану, закони збереження. Різні суцільні середовища відрізняються різним зв'язком між компонентами тензорів напружень та тензорів деформацій або швидкостей деформацій. За допомогою методу зважених нев'язок в роботі отримані основні співвідношення для визначення узагальнених координат при розв'язанні як задач динаміки пружного елемента, так і при визначенні гідродинамічного тиску. При цьому загальне формулювання передбачає можливість визначення частот та форм власних коливань конструкції без врахування приєднаних мас рідини, з їх урахуванням, а також досліджувати вимушені коливання елементів конструкцій з урахуванням та без урахування взаємодії з рідиною. Для в'язкої стисливої рідини отримано формулювання задачі в акустичному наближенні. Числова реалізація здійснена в припущенні безвихрового руху ідеальної та нестисливої рідини. Для розв'язання задачі з визначення тиску рідини отримано рівняння Лапласа з умовами непротікання в якості крайових. Задачу визначення гідродинамічного тиску із застосуванням методів теорії потенціалу зведено до розв'язання гіперсингулярного інтегрального рівняння. Запропоновано метод числового розв'язання отриманого рівняння. Форми власних коливань конструктивного елемента без врахування приєднаних мас рідини знаходяться методом скінченних елементів та обрані як базисні для розв'язання задачі визначення динамічних характеристик з урахуванням рідини. Як приклад, розглянуті власні частоти та форми коливань круглої пластинки як без урахування впливу рідини, так і з її урахуванням. Досліджені також гармонічні коливання цієї пластинки. Використано поєднання методів скінченних та граничних елементів. Методи скінченних елементів використовуються при пошуку частот і форм вільних коливань елементів конструкцій, що не взаємодіють з рідиною. Це дає змогу використання спеціальних програмних комплексів, що дозволяє дослідити елементи конструкцій складної просторової форми. Для визначення тиску рідини використовуються методи теорії потенціалу, що має суттєві переваги у порівнянні з іншими методами, оскільки вимірність задачі зменшується на одиницю. Проведено тестування алгоритму та методів на прикладі круглої пластинки, зануреної в рідину, що довело вірогідність та ефективність запропонованого підходу.

1. Strelnikova E., Gnitko V., Krutchenko D., Naumemko Y. Free and forced vibrations of liquid storage tanks with baffles *J. Modern Technology & Engineering* Vol.3, No.1, 2018, pp.15-52 <http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/JTME/V3No1/StrelnikovaE.pdf>
2. Rusanow A.V., P. Lampart, N.V. Pashchenko, R.A. Rusanov. [Modelling 3D steam turbine flow using thermodynamic properties of steam IAPWS-95](#). *Polish Maritime Research* Vol. 23, N1, pp. 61-67, 2016. [DOI: 10.1515/pomr-2016-0009](https://doi.org/10.1515/pomr-2016-0009)



## ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ ЗА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИМИ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Запропоновано новий метод визначення характеристик матеріальних об'єктів у вигляді їх відбивальних спроможностей (власних яскравостей) за їх цифровими багатоспектральними зображеннями, зафіксованими в оптичному, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах електромагнітного проміння – носія видової інформації. Відповідні видові дані розглядаються як зображення проекційної природи в рамках ізопланатичного наближення.

Розподіли яскравості зображень подані у вигляді згортки власної яскравості поданих на них об'єктів та апаратної функції датчика зображення. Пропонований метод базується на аналізі спектральних представлень розподілів яскравості зображень в області просторових частот, перетворення у яку реалізовано двовимірним дискретним перетворенням Фур'є зазначеної згортки. В якості моделі передатних характеристик датчиків зображень прийняті низькочастотні просторові фільтри, які моделюють датчики зображень у вигляді фокусуємих систем, з частотами зрізу, обернено пропорційними довжині хвилі проміння – носія видової інформації [1].

За інформаційний носій представлень цифрових багатоспектральних зображень в області просторових частот прийнятий двовимірний масив у вигляді конкатенації векторів, які подають розподіли просторових спектрів Фур'є функцій яскравості окремих спектральних каналів. Відновлення власної яскравості відображених об'єктів здійснено в термінах загальної теорії лінійних вимірювань і виконане шляхом побудови лінійного оператора, який реалізує концепцію «ідеального приладу» [2], який компенсує вплив апаратної функції датчика зображень. Власне реконструкція просторових розподілів яскравості здійснена оберненим двовимірним дискретним перетворенням Фур'є в області просторових частот.

Дано ентропійну інтерпретацію запропонованого методу як способу фільтрації інформаційних складових багатоспектральних цифрових зображень, несуттєвих для їхнього тематичного аналізу, за умови статистичної незалежності просторових спектрів зафіксованих зображень та частотної передатної характеристики датчика видової інформації і наведені відповідні кількісні оцінки.

Показано, що запропонований метод забезпечує високий рівень структурної схожості функцій розподілу яскравості первинних (безпосередньо зафіксованих) та реконструйованих зображень власної яскравості спектральних каналів.

**Висновки.** Запропоновано новий метод реконструкції інформаційних характеристик (відбивальних здатностей) об'єктів дистанційного зондування за їх багатоспектральними цифровими зображеннями, зафіксованими у довільній кількості спектральних каналів електромагнітного проміння – носія видової інформації. Результати роботи можуть бути використані при розробці нових та вдосконаленні існуючих інформаційних технологій тематичного аналізу даних дистанційного зондування та безконтактних методів контролю технічних об'єктів.

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
2. Пытьев Ю.П. Задачи редукиции в экспериментальных исследованиях *Математический сборник*, 1993. Том 120, № 2. С. 145-158.

## ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Ефективний спосіб підвищення швидкості передачі цифрових сигналів по інформаційних каналах полягає у зменшенні інформаційної надлишковості сигналів шляхом їх компресії і тим самим – збільшення пропускної здатності [1]. Відповідна проблематика особливо суттєва стосовно передачі багатоспектральних зображень дистанційного зондування, отриманих з аерокосмічних носіїв у великій кількості спектральних каналів проміння – носія видової інформації [2].

У роботі запропоновано метод збільшення максимальної швидкості передачі (пропускної здатності) розподілів яскравості сканерних багатоспектральних зображень дистанційного зондування, отриманих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації. Метод базується на компресії безпосередньо зафіксованих розподілів яскравості, оптимізованої за критеріями максимізації енергії, що збережується у компресованих зображеннях та їхньої енергетичної інформаційної ентропії. Компресія здійснюється на основі розкладів розподілів яскравості по повних функціональних базисах, обнулінням частини коефіцієнтів розкладів та наступною реконструкцією розподілів яскравості. Визначення порогів обнуління коефіцієнтів розкладів розподілів яскравості різних спектральних каналів сформульовано у вигляді двокритеріальної оптимізаційної задачі максимізації відношення енергій компресованого та вихідного зображень та максимізації відношення їхніх енергетичних інформаційних ентропій.

Реалізація запропонованого методу включає низку етапів: попарну ортогоналізацію розподілів яскравості зображень спектральних каналів; компресію ортогоналізованих зображень за зазначеними критеріями; реконструкцію розподілів яскравості компресованих зображень спектральних каналів функціональним перетворенням, оберненим стосовно використаного на етапі розкладу розподілів яскравості безпосередньо зафіксованих багатоспектральних зображень. Показано, що запропонований метод забезпечує звуження частотного спектру компресованих розподілів яскравості, збільшуючи внаслідок цього пропускну здатність каналу передачі багатоспектральних цифрових зображень, та збільшення їхньої стійкості до завад передачі. Зіставлення різних дискретизованих функціональних базисів як основи для компресії розподілів яскравості показало найбільшу ефективність за зазначеними критеріями дискретного функціонального базису Хартлі

Показано, що запропонований метод забезпечує високий рівень збереження структурної схожості функцій розподілу яскравості вихідних та компресованих зображень спектральних каналів.

**Висновки.** Запропоновано новий метод збільшення швидкості передачі сканерних багатоспектральних зображень дистанційного зондування з контрольованим рівнем їхньої інформативності. Результати роботи можуть бути використані при розробці нових інформаційних технологій завадостійкого кодування видових даних дистанційного зондування з аерокосмічних носіїв.

1. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. М: Горячая линия – Телеком, 2007. 352 с.
2. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. . М.: Техносфера, 2010. 556 с.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ГРАФІВ ОДИНИЧНИХ КРУГІВ

Граф одиничних дисків (Unit Disk Graph), який можна визначити як граф перетину замкнених кругів з рівним (наприклад, одиничним) діаметром, забезпечує зручний інструмент моделювання для бездротових мереж, де здатність двох бездротових вузлів взаємодіяти залежить від того, чи вони знаходяться в межах одиниці евклідової відстані один від одного [1]. До того ж, властивості графів одиничних дисків знаходять застосування також у біології, вірусології та екології, що має відношення до моделей перколяції. У той час як багато класичних задач оптимізації на графах, таких як максимальна незалежна множина, мінімальне покриття вершин, забарвлення графа, мінімальна домінуюча множина та інші, залишаються NP-складними, навіть якщо обмежуватися UDG, є деякі помітні винятки. Зокрема, задача пошуку максимальної кліки, яка загалом є NP-складною, є поліноміально вирішуваною в UDG. [2]

Пропонується програма, яка дозволяє конструювати графи одиничних кіл в proximity-або containment-моделі. Інтерфейс програмного продукту представлено на рис.1. Передбачені опції збереження, завантаження, масштабування, додавання та видалення вершин. Також є можливість розрахунку діаметру графа та обчислення всіх домінуючих множин графа.

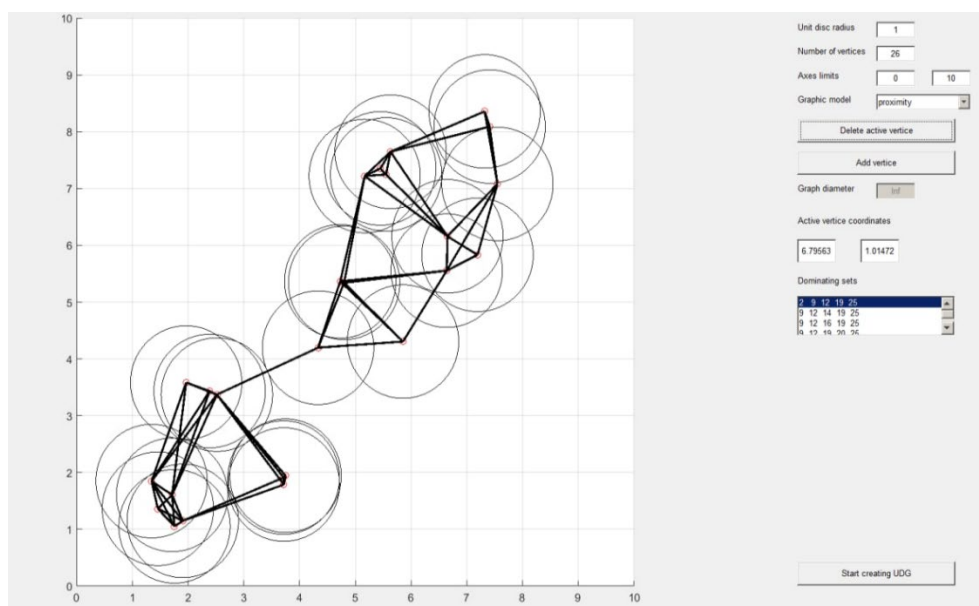


Рис. 1 – Інтерфейс програми конструювання графів

Передбачається використання програми при моделюванні складних для алгоритму апроксимації 2-клубу графів одиничних кіл. [3]

1. Richard D. Alba (1973) A graph-theoretic definition of a sociometric clique, *The Journal of Mathematical Sociology*, 3:1, 113-126, DOI: 10.1080/0022250X.1973.9989826.
2. Clark, B. N., Colbourn, C. J., & Johnson, D. S. (1990). Unit disk graphs. *Discrete Mathematics*, 86(1-3), 165-177.
3. Jeffrey Pattillo, Yiming Wang, Sergiy Butenko, Approximating 2-cliques in unit disk graphs, *Discrete Applied Mathematics*, Volume 166, 2014, Pages 178-187, ISSN 0166-218X.

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ГЕНЕРАТОРІ ПІД ЧАС УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПОБУТОВОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ПЕЧІ

Зменшення запасів органічного палива у світі та його подорожчання для споживачів викликає необхідність скорочення витрат на енергоспоживання будівель. В українських селах у більшості випадків використовується грубе опалення. Тому актуальним є забезпечення виробки електричної енергії за рахунок використання термоелектричного генератора (ТЕГ), що приєднується до димоходу і використовує енергію димових газів. В результаті будинок в опалювальний сезон генеруватиме електричну енергію і може бути практично незалежним по цьому виду енергії.

Незважаючи на те, що існує значна кількість досліджень, присвячених термоелектричним матеріалам, роботі різних пристроїв теплообміну, різним конструкціям ТЕГ (включаючи опис правил їх проектування), математична модель безпосереднього використання енергії відпрацьованих газів побутової печі, в якій біомаса спалюється на відкритому вогні, досі відсутня.

Метою роботи є створити математичну модель процесу теплообміну під час використання ТЕГ для утилізації залишкової енергії димових газів побутової печі, що дозволяє одержати електричну енергію для внутрішньо-побутового споживання.

За основу генератора обрано термоелектричний модуль (ТЕМ) виготовлення української фірми Альтек-1024. За певною конструкцією термоелектричного генератора проведений тепловий розрахунок на основі рівнянь теплового балансу. Було отримано систему двох рівнянь переносу енергії димових газів через поверхню ТЕМ. В результаті одержано залежність потужності відбору теплової енергії від площі внутрішньої поверхні генератора, надану на рисунку 1.

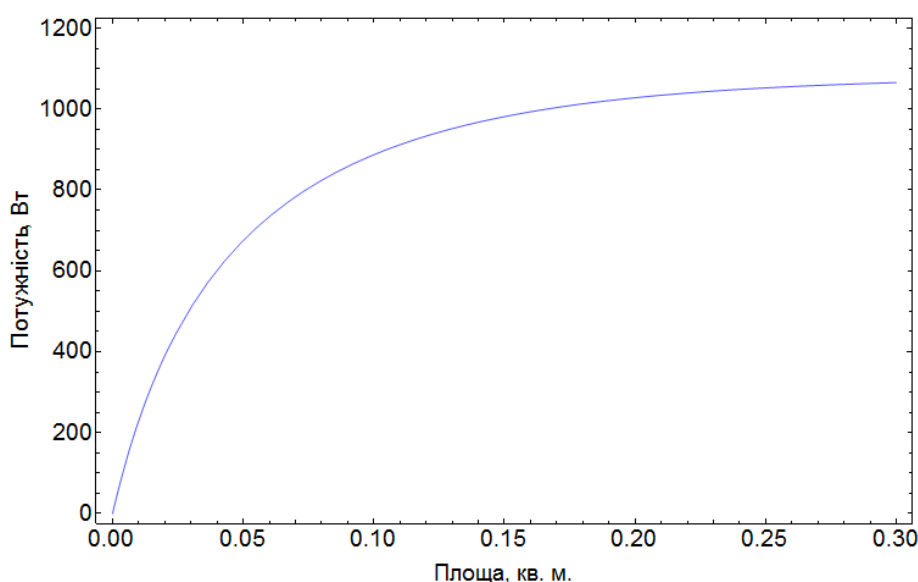


Рис. 1. Залежність потужності відбору теплової енергії від площі внутрішньої поверхні генератора.

З одержаної залежності випливає, що застосування модулів Альтек-1024 у кількості 3 штук надає можливість відібрати із димових газів потужність біля 1 кВт. Відповідна розрахункова кількість електричної енергії складає 100 Вт. Таке значення, у середньому, перевищує мінімальну норму споживання електричної енергії індивідуального будинку.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ І ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглянута методика оцінювання пропускної спроможності каналів зв'язку і маршрутизації інтернет-пакетів в умовах дистанційного навчання. Виконано дослідження медіа сервісних платформ Microsoft Teams, Google Zoom та Skype. Особливістю методики є поєднання прямих і непрямих методів оцінювання пропускної спроможності каналів зв'язку. Застосування даної методики надає змогу провести оцінку існуючих на ринку рішень для реалізації дистанційної освіти. Це дозволяє зробити висновок щодо доцільності використання описаних вище сервісів для дистанційного навчання. В підсумку таке дослідження допомагає оцінити завантаженість каналів та ефективність роботи дистанційного моніторингу віддалених об'єктів коли часова затримка в доставці інформації має суттєве значення. Результати експерименту показали, що в цілому розглянуті платформи дуже схожі в режимі розмови з використанням тільки голосового трафіку. Бітрейт в цьому випадку коливається в діапазоні 100-130 Кбіт/с. Суттєва розбіжність між платформами спостерігається під час сеансу зв'язку з використанням відео трафіку. Відмінності між платформами в бітрейті для цього випадку складають більше 90% (в окремих випадках понад 100%). Дослідження показало, що завантаженість інтернет-каналу в будні дні збільшувалась після десятої години дня. Платформа Microsoft Teams забезпечує найкращу якість відео зображення. За якістю звуку не відзначено відмінностей між платформами. Загальні рекомендації при організації он-лайн телевізійної трансляції полягають в наступному: для голосового трафіку можна обрати будь-яку з запропонованих платформ, через те що розбіжність їх характеристик незначна; для організації відео зв'язку доцільніше використовувати сервіс Google Zoom; для організації сеансу зв'язку з демонстрацією екрану краще всього обрати медіа платформу Microsoft Teams. Проведені дослідження дозволили оцінити навантаження яке виникає під час сеансу зв'язку. Результати експерименту показали, що медіа платформа Google Zoom при рівній якості зв'язку створює менше навантаження на магістральні інтернет-канали. Технічним результатом отриманим в даній роботі є створення інструментарію для вибору оптимальної медіа платформи для організації дистанційного зв'язку.

Ключові слова: пропускна здатність інтернет-каналу зв'язку, медіа сервісна платформа, сеанс зв'язку, загальний бітрейт, навантаження на мережу.

1. Магро В.І., Святошенко В.О., Тимофеев Д.С. Метод оцінки часу затримки в процесі потокового мовлення. *Системи обробки інформації*. 2019. Т.159. №4. С. 28-35.
2. Falk J., Durr F., Rothermel K. Time-triggered traffic planning for data networks with conflict graphs. *IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)*. 2020. Pp. 124-136.
3. KuanHoong P., Tan I.K.T., Keong C.Y. Bittorrent network traffic forecasting with ARMA. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*. 2012. Vol. 4. No. 4. Pp. 143-156.
4. Delgado D.L. J., Santiago J.M.R. Key performance indicators for QOS assessment in TETRA networks. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*. 2013. Vol. 3. No. 6. Pp. 1-18.

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТЕСТУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ В МІКРОСЕРВІСНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

Розглянуто методику створення інфраструктури, яка використовує функції тестування і моніторингу медіасервісних систем. Дана методика дозволяє формувати критерії із оптимального вибору медіасервісних систем та їх побудови. Особливістю методики є розміщення досліджуваного сервісу в віртуальний контейнер, де проводиться дослідження його поведінки в залежності від навантаження. В якості платформи для управління контейнерами обраний Kubernetes. При цьому використовувались тільки проекти з відкритим вихідним кодом. Це забезпечує доступність методики, а за необхідності дозволяє коригувати код або доповнювати його новими функціональними можливостями. Результати експерименту показали, що обрана платформа для «оркестрації» контейнерів (Kubernetes) добре масштабується для управління будь-якими існуючими медіасервісами, що мають відкритий вихідний код. Дослідження показали, що використання технології WebRTC дозволяє знизити навантаження на серверну частину медіасервісів. Використання автоматизації конфігурацій медіасервісної інфраструктури дозволяє встановлювати як окремі компоненти, так і всю структуру цілком. Автоматизація реалізована з використанням Ansible і bash скриптинга. Результат впровадження автоматизації установки і конфігурації компонентів системи забезпечують легку повторюваність інфраструктури. Необхідна для тестування інфраструктура розгорнута в своєму середовищі, що виключає такі недоліки як залежність від постачальника послуг, а так само його контроль і запропоновані обмеження. В екстрених випадках доступ до медіасервісу може бути організований локально, без доступу в Інтернет на глобальному або національному рівні. Блочність запропонованої інфраструктури робить її гнучкою у використанні. Таким чином, запропонована методика дозволяє оцінити можливість використання даної медіасервісної платформи при заданому навантаженні і конкретній конфігурації апаратної платформи. Запропонована методика дозволяє сформулювати вимоги до необхідної апаратній платформі для функціонування конкретних медіасервісних платформ.

Ключові слова: контейнер, мікросервісна архітектура, оркестрація, потоковий сервіс, медіа сервісна платформа, WebRTC, Kubernetes, Ansible, автоматизація тестування.

1. Bai X., Li M., Huang X., Tsai W.T., Gao J. Vee@Cloud: The virtual test lab on the cloud. *IEEE 8th international workshop on automation of software test (AST)*. 2013. Pp. 15-18.
2. Amirante A., Castaidi T., Miniero L., Romano S.P., Toppi A. Measuring Janus temperature in ICE-land. *Proceedings of IEEE conference "Principles, Systems and Applications of IP Telecommunications (IPTComm)"*. 2018.
3. Xhagjika V., Escoda O.D., Navarro L., Vlassov V. Media Streams Allocation and Load Patterns for a WebRTC Cloud Architecture. *IEEE 8th International conference on the network of the future (NOF)*. 2017.
4. Andreu E., Nicolas Breton N., Lemesle A., Roux L., Gouaillard A. Comparative Study of WebRTC Open Source SFUs for Video Conferencing. *Proceedings of IEEE conference "Principles, Systems and Applications of IP Telecommunications (IPTComm)"*. 2018.
5. Garcia B., Lypez-Fernandez L., Gallego M., Gortazar F. Testing Framework for WebRTC Services. *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Mobile Multimedia Communications*. 2018, Pp. 40–47.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭМИССИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА ФОТОНОВ В КАНАЛЕ ВЫВОДА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ "НЕСТОР" ННЦ ХФТИ

Детальный расчет спектрально-углового распределения синхротронного излучения (СИ) релятивистских электронов в накопителе является определяющим при использовании его в метрологических целях [1]. В работе построена математическая модель распространения потока квантов СИ, испущенных электронным сгустком. Получены аналитические выражения для интенсивности потока квантов СИ заданной длины волны при выбранной геометрии регистрации и предложены алгоритмы расчета рассматриваемых потоков. Проведено моделирование продольной динамики оптических изображений. Рассмотрено СИ пучка электронов в накопителе "НЕСТОР" ННЦ ХФТИ [2]. Для выбранных расстояний  $L$  и параметров пучка получены семейства угловых распределений, оформленных в виде двумерных гистограмм потока квантов, рассчитанных на 1 электрон на орбите (Рис. 1). Получены количественные характеристики оптических изображения СИ электронов с энергией  $E=225$  МэВ при изменении продольного расстояния  $L$  до плоскости регистрации. Приведено семейство угловых распределений  $\sigma$ -компоненты  $N_\sigma(\psi)$  и  $\pi$ -компоненты поляризации СИ  $N_\pi(\psi)$ . Представлены числовые результаты по метрологической аттестации потоков квантов на выходе канала транспортировки в накопителе. Получены размеры оптического окна, величина которых позволяет гарантированно регистрировать весь поток квантов СИ для указанных характеристик регистрации.

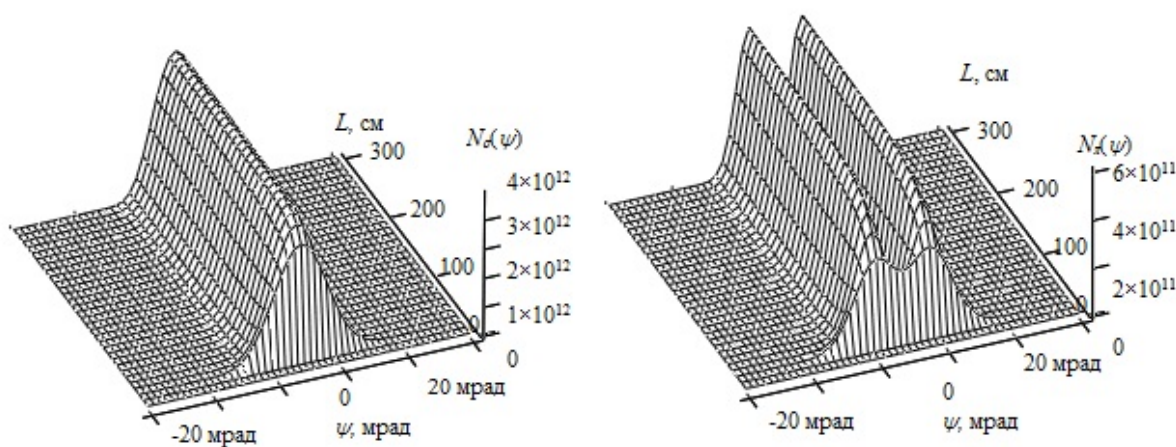


Рис. 1. Эволюция угловых распределений потока квантов СИ. Слева –  $\sigma$ -компонента, справа –  $\pi$ -компонента излучения

- 1 Roman Klein, Guido Brandt at al. Operation of the Metrology Light Source as a primary radiation source standard. Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 2008.
- 2 E. Bulyak, P. Gladkikh, I. Karnaukhov at al. Compact X-ray source based on Compton backscattering. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.:Sect. A487, 241-248 (2002), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016890020200904X?via%3Dihub>

## ДИСКРЕТНИЙ АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ, ОСНОВАНИЙ НА МЕТОДАХ ТЕОРІЇ СКІНЧЕННИХ АВТОМАТІВ

Сьогодні методи автоматичного керування рухом транспортних засобів зазвичай базуються на чисельному розв'язуванні систем складних диференціальних рівнянь, які описуються оптимальний закон керування рухом. Суттєвим недоліком такого підходу є те, що не завжди вдається підібрати правильний закон керування, через що можливе виникнення перерегулювання та небажаних коливальних процесів із значними викидами значення швидкості [1, 2]. Іншим підходом, який дозволяє суттєво спростити постановку задачі керування рухом транспортного засобу та методи її розв'язування, є обмеження кількості станів системи у часі та використання алгоритмів дискретної математики [3].

У роботі розглядається дискретизована модель керування транспортним засобом, швидкість якого лінійно змінюється з відстанню за законом:

$$V(r) = V_0 \frac{R-r}{R}. \quad (1)$$

де  $R$  – загальна відстань, яку проходить транспортний засіб,  $r$  – пройдена відстань,  $V_0$  – початкова швидкість транспортного засобу. Закон керування (1) у дискретній формі можна переписати наступним чином:

$$V_{i0} = V_0 \left(1 - \frac{i}{N}\right), \quad V(i, \Delta r) = V_{i0} - \frac{V_0 \Delta r}{R} = V_0 \left(1 - \frac{i}{N} - \frac{\Delta r}{R}\right), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad d = \frac{R}{N}, \quad \Delta r < d. \quad (2)$$

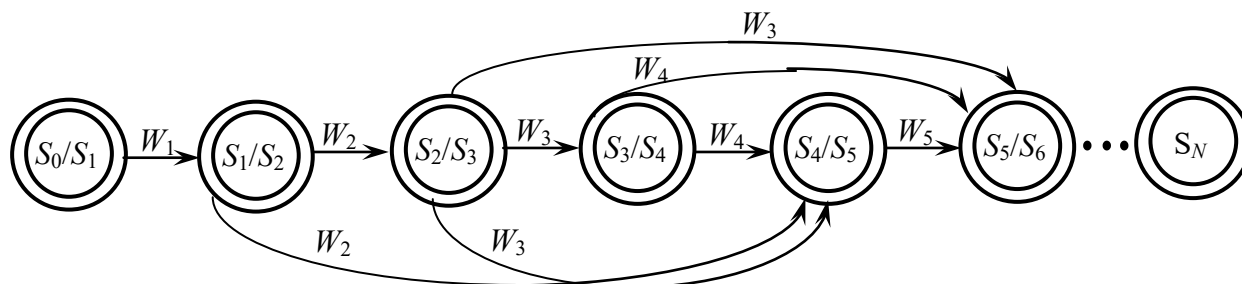
де  $N$  – кількість відлікових точок,  $i$  – номер відлікової точки на відрізку, де рухається транспортний засіб,  $\Delta r$  – відстань від відлікової точки  $P_i$  до поточної точки, в якій знаходиться транспортний засіб,  $d$  – довжина відлікових відрізків.

З урахуванням отриманого аналітичного виразу (2) можна переписати закон руху транспортного засобу, за умови наявності квазістаціонарної збурювальної дії, у вигляді наступного дискретного арифметико-логічного співвідношення:

$$S_i = (i \leq k_c) \left(S_0 \left(1 - \frac{i}{N}\right)\right) + (i > k_c) \left(\left(S_0 - \frac{\sum_{j=0}^{k_c} W_{i-j}}{k_c}\right) \left(1 - \frac{i}{N}\right)\right), \quad S_i = V_i, \quad W_i = \Delta V_i. \quad (3)$$

де  $k_c$  – кількість попередніх станів системи керування, які аналізуються для формування коректувальної дії,  $S_i$  – стан автомату,  $W_i$  – коректувальна дія.

Діаграма станів скінченного автомату Мура, призначеного для формування закону руху транспортного засобу, який описується співвідношенням (3) за умови  $k_c = 2$ , наведена на рис. 1.



**Рис. 1** Діаграма станів скінченного автомату Мура для закону керування рухом транспортного засобу, заданого співвідношенням (3)

У разі дії випадкового збурювального фактору співвідношення (3) можна переписати наступним чином:



$$\Delta V_{i,j}^* = \frac{\sum_{k=1}^j \Delta V_{i-k}}{j}, \quad S_{i,j}^* = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^j \left( \Delta V_{i-k} - \frac{\Delta V_{i,j}^*}{j} \right)^2}{j-1}}$$

$$k_{co}(i,j) = j \cdot \left( \left( |\Delta V_i| \leq \Delta V_{i,j}^* - t_{j-1, \frac{1-\beta}{2}} \cdot S_{i,j}^* \right) | (j < 2) \right) + k_{co}(i,j-1) \cdot$$

$$\cdot \left( \left( \left( |\Delta V_i| > \Delta V_{i,j}^* - t_{j-1, \frac{1-\beta}{2}} \cdot S_{i,j}^* \right) \& (j \geq 2) \& (k_{co}(i,j-1) \neq k_{co}(i,j-2)) \right) \right) |$$

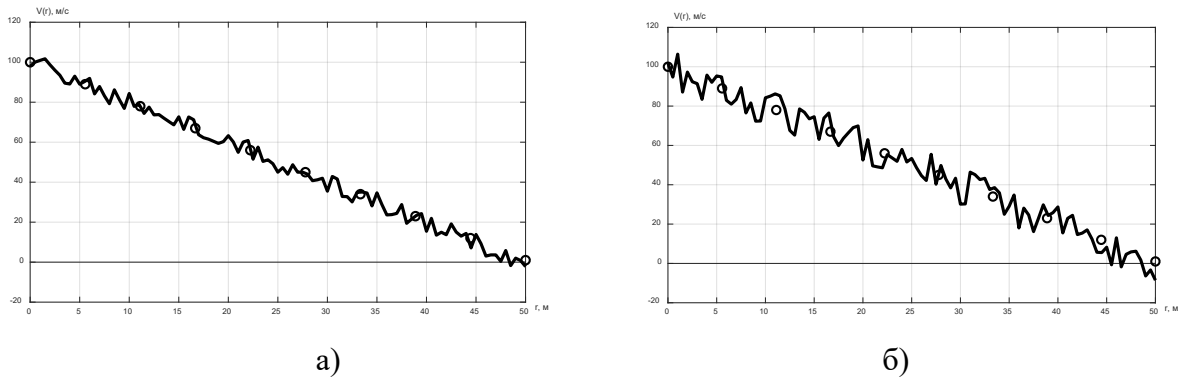
$$| \left( (j \geq 2) \& (k_{co}(i,j-1) = k_{co}(i,j-2)) \right) \Bigg),$$

$$k_{co}(i,0) = \Delta V_i, j \in 0, \dots, i,$$

$$S_i = (i \leq k_c) \cdot \left( (S_0 - W_i) \left( 1 - \frac{i}{N} \right) \right) + (i > k_c) \cdot \left( \left( S_0 - \frac{\sum_{j=0}^{k_{co}(i)} W_{i-j}}{k_{co}(i)} \right) \left( 1 - \frac{i}{N} \right) \right), \quad (4)$$

де  $k_{co}$  – кількість станів автомату, за якими розраховується збурювальна дія,  $t_{j-1, \frac{1-\beta}{2}}$  – функція розподілу Стюдента [4],  $\beta$  – параметр розподілу Стюдента [4], який для задач керування транспортним засобом можна вважати рівним 0,01.

Отримані результати моделювання для квазістаціонарної збурювальної дії наведені на рис. 2, а, а для випадкової – на рис. 2, б.



**Рис. 2** Результати моделювання процесу керування рухом у разі наявності квазістаціонарної (а) та випадкової (б) збурювальної дії

Із наведених результатів моделювання видно, що у разі квазістаціонарної збурювальної дії похибка керування складає приблизно 2 – 5%, а у разі випадкової дії – 5 – 8%. Отримані в роботі результати можуть бути використанні для моделювання та проектування інших цифрових систем керування складними технічними об'єктами, зокрема технологічними.

1. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребне, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
2. Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
3. Денбновецький С.В., Мельник І.В., Писаренко Л.Д. Кодування сигналів в електронних системах. Частина 2. Математичні основи теорії кодування. Том 3. Теорія систем штучного інтелекту. Київ, Кафедра, 2018. – 348 с.
4. Денбновецький С.В., Мельник І.В., Писаренко Л.Д. Кодування сигналів в електронних системах. Частина 2. Математичні основи теорії кодування. Том 2. Основи теорії імовірностей, математичної статистики, теорії систем масового обслуговування та статистичної радіотехніки. Київ, Кафедра, 2018. – 428 с.

## ОЦІНЮВАННЯ РОБОЧОГО ТИСКУ ГАРМАТ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Розглянуті два методи оцінювання тиску електронної гармати високовольтного тліючого розряду (ВТР) за умови відомих значень прискорювальної напруги, необхідної глибини зварювального з'єднання та термодинамічних параметрів зварюваних металів. Перший метод орієнтований на проведення аналітичних розрахунків, а другий – чисельних. Для побудови відповідних математичних моделей були використані аналітичні співвідношення, згідно з якими можна оцінити глибину зварювального з'єднання [1], а також співвідношення для оцінювання залежності фокального діаметра електронного пучка від його струму та прискорювальної напруги [2, 3]. Для оцінювання необхідного значення тиску в камері гармати ВТР було використане відоме рівняння її вольт-амперної характеристики [2].

Отримана аналітична залежність для оцінювання робочого тиску електронної гармати ВТР основана на спрощеній залежності діаметра пучка від прискорювальної напруги та кута збіжності пучка, наведеної в монографії [2], та має наступний вигляд:

$$p_r(h_{шв}, U_{пр}) = \left( \frac{20h_{шв}\lambda_T T_{пл}(\Delta U)^{0,25} \left(1 + \frac{L_{пл}}{cT_{пл}}\right) \sqrt{\frac{v_{св} r_k}{2a_T \alpha}}}{AU_{пр}^{1,25+k}} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (1)$$

де  $p_r$  – тиск у розрядній камері гармати,  $h_{шв}$  – необхідна глибина зварювального з'єднання,  $U_{пр}$  – прискорювальна напруга,  $\lambda_T$  – коефіцієнт теплопровідності зварюваного металу,  $T_{пл}$  – температура плавлення зварюваного металу,  $L_{пл}$  – питома теплота плавлення цього металу,  $a_T$  – коефіцієнт температуропровідності,  $v_{св}$  – швидкість зварювання,  $c$  – теплоємність зварюваного металу,  $r_k$  – радіус робочої поверхні катоду,  $\alpha$  – кут збіжності електронного пучка,  $\Delta U$  – розкид електронів пучка за швидкостями, який для фізичних умов горіння ВТР складає близько  $\Delta U = 30$  В,  $A$ ,  $k$  та  $m$  – напівемпіричні коефіцієнти, які обчислюються через апроксимацію експериментальних даних [2, 4].

Розрахунки тиску в розрядній камері гармати за співвідношенням (1) проводились для виробів з титану та для гелію як робочого газу гармати ВТР. Параметри моделі були наступними:  $a_T \approx 25 \cdot 10^6 \frac{м^2}{с}$ ,  $v_{св} = 2 \frac{м}{хв}$ ,  $U_{пр} = 10 - 30$  кВ,  $\lambda_T = 15 \frac{Вт}{м \cdot К}$ ,  $T_{пл} = 1668$  °С,  $L_{пл} \approx 18,8 \cdot 10^3 \frac{Дж}{моль}$ ,  $c \approx 600 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ ,  $r_k = 0,035$  м,  $\alpha = 15^0$ ,  $A = 97 \frac{А}{В \cdot Па}$ ,  $k = 1,4$ ,  $m = 1,5$ . Невідомі емпіричні коефіцієнти вольт-амперної характеристики ВТР  $A$ ,  $k$  та  $m$  визначалися в ході експериментальних досліджень, які були виконані на експериментальному електронно-променевому обладнанні кафедри електронних пристроїв та систем факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та Приватного Акціонерного Товариства «Червона хвиля».

Проведені теоретичні дослідження показали, що недолік використання співвідношення (1) для оцінювання значення тиску у камері гармати ВТР полягає у тому, що в ньому не врахована залежність фокального діаметра електронного пучка від його струму, яка притаманна будь-яким джерелам електронів та ґрунтується на законах електрофізики та головних фізичних закономірностях, з якими пов'язаний процес формування електронного пучка [3].

З метою урахування залежності фокального діаметра електронного пучка від його струму була отримана аналітична залежність, яка дозволила обчислювати тиск у розрядній камері гармати ВТР за умови відомої глибини зварювального з'єднання, прискорювальної

напруги та термодинамічних параметрів зварюваних металів з використанням чисельних методів:

$$f(p_r, h_{шв}, U_{пр}) = \frac{20h_{шв}\lambda_T T_{пл} \left(1 + \frac{L_{пл}}{cT_{пл}}\right) \sqrt{\frac{v_{св} r_k}{2a_T \exp\left(\frac{1,04 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg}(\alpha) U_{пр}^{1,5}}{AU_{пр}^k p_r^m}\right)}}}{U_{пр}} - AU_{пр}^k p_r^m. \quad (2)$$

На рис. 1, а наведені графічні залежності  $p_r(h_{шв})$ , отримані з використанням співвідношення (1), а на рис. 1, б – залежності, отримані з використанням співвідношення (2). Залежності, наведені на рис. 1, б, є більш реальними з урахуванням відомих значень діаметра електронного пучка, який для електронних гармат ВТР становить близько кількох міліметрів [8]. Розбіжність між отриманими розрахунковими результатами пояснюється тим, що у співвідношенні (1) не врахована важлива залежність фокального діаметра електронного пучка від його струму. Наближені оцінки за формулою (1) є можливими лише за умови малих значень глибини зварювального з'єднання та високої прискорювальної напруги.

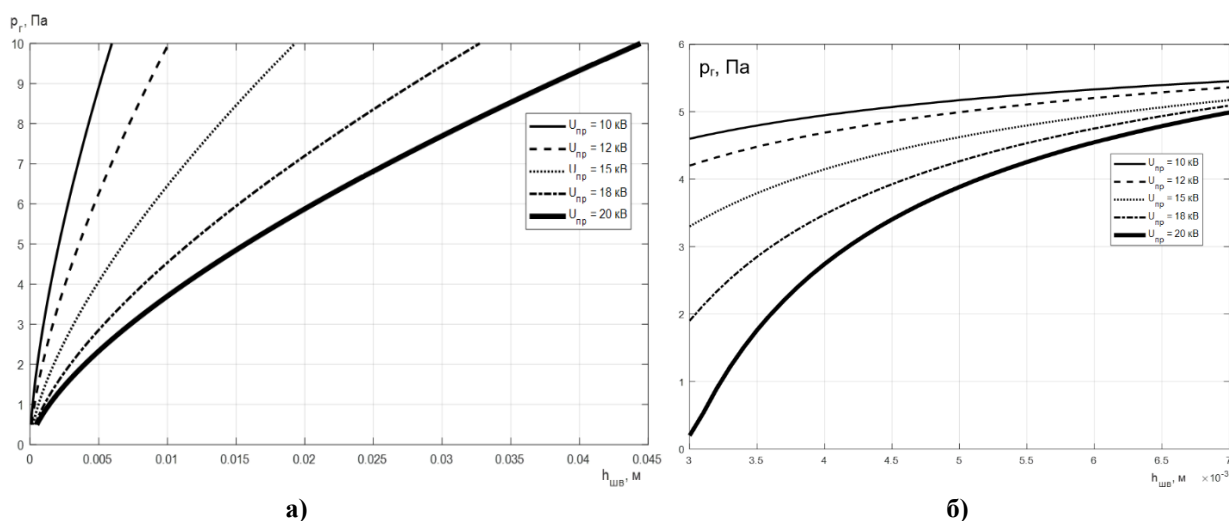


Рис. 1. Залежності  $p_r(h_{шв}, U_{пр})$ , отримані з використанням співвідношень (1) (а) та (2) (б)

Отримані в роботі результати можуть бути цікавими для спеціалістів в області технології електронно-променевого зварювання та для проектувальників промислового зварювального електронно-променевого обладнання.

#### Список використаної літератури

1. Электронно-лучевая сварка. Под общей редакцией Патона Б.Е. Киев: Наукова думка, 1987. 256 с.
2. Новиков А.А. Источники электронов высоковольтного тлеющего разряда с анодной плазмой. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.
3. Молоковский С.И., Сушков Д.И. Интенсивные электронные и ионные пучки. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
4. Мельник И.В. Аппроксимация вольтамперных характеристик технологических источников электронов высоковольтного тлеющего разряда с использованием средств системы MatLab. *Вестник Херсонского национального технического университета*. Вып. 2 (35). Херсон, 2009. С. 299-305.

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ОСНОВІ ІоТ

Технології на основі використання даних швидко просуваються з розвитком Інтернету речей (ІоТ) і в майбутньому стануть важливою частиною сільського господарства. Розумне землеробство «Smart farming» [1, 2] ґрунтується на таких передових технологіях, як дистанційне зондування, аналіз і управління даними, хмарні обчислення, технології ІоТ, бездротові сенсорні мережі (БСМ), інформаційні системи управління господарством, які інтегруються з мобільними пристроями і автономно працюючими сільськогосподарськими машинами для поліпшення моніторингу та якості управлінських рішень. Розумне землеробство використовує інтелектуальні послуги для застосування та управління інформаційно-комунікаційними технологіями і дозволяє здійснювати інтеграцію по всій агропродовольчій ланці з метою оперативного контролю процесу вирощування сільськогосподарських культур. Проблема, яка виникає при використанні БСМ – визначення оптимальної стратегії розміщення датчиків. Засобом вирішення цієї проблеми є швидке об'єднання об'єктів в групи з близькими характеристиками параметрів стану, виділення в кожній групі деякого контрольного об'єкту з «середніми» для групи характеристиками і передача інформації в цілому про групу. Це дозволяє на рівні оперативного управління мати укрупнену інформацію про об'єкти управління і приймати на її основі своєчасні рішення.

Метою дослідження є аналіз методів групування технічного обладнання підсистеми збору даних при дистанційному моніторингу землеробства шляхом комп'ютерного моделювання.

Групування з вибором головних об'єктів виконується у наступній послідовності [3]. Перший етап прийняття рішень реалізується як процес побудови графа або декількох графів, що свідомо задовольняють груповим властивостям включених у нього вершин. На другому етапі при цьому буде потрібно лише контроль неперетинання отриманих множин (груп) і формальний запис отриманих рішень. При цьому в процесі такого рішення повинна бути отримана інформація, по якій можна було б досить просто виділити в групі головний об'єкт. Розташування головного об'єкта в групі доцільно визначати за допомогою методів розрахунку «центра мас» [4].

Використовуючи наведений метод можна швидко вирішувати задачу групування, коли інформація про об'єкти змінюється в міру «спрацьовування» інформаційних підсистем. Це дозволяє формувати ієрархічну структуру для сенсорної мережі з використанням бездротових технологій на нижньому рівні підсистеми моніторингу (від сенсорів до головного вузла) та технології стільникового зв'язку на середньому та верхньому рівнях.

1. Ray P.P. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2017. №9(4). P. 395-420. doi: 10.3233/AIS-170440
2. Якушев В.П., Якушев В.В., Матвеенко Д.А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии. *Земледелие*. 2020. №1. С. 33–37. doi: 10.24411/0044-3913- 2020-10109.
3. Пупков К.А., Егупов Н.Д. и др. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744 с.
4. Гуржій А.М., Дудар З.В., Левикін В.М., Шамша Б.В. Математичне забезпечення інформаційно-керуючих систем: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 448с.

## ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ В ШАРУВАТІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ ЗА ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВУ

У сучасній техніці в якості елементів конструкцій широко використовують тонкостінні шаруваті циліндричні оболонки, матеріали яких мають властивість анізотропії. Такі композитні матеріали використовують для захисту від агресивного середовища, для зміцнення конструкції, теплоізоляції або інтенсифікації передачі тепла. Вони мають високу жорсткість на злам, здатні витримувати підвищені теплові напруження та не схильні до корозії і ерозії.

Розглядається шарувата анізотропна циліндрична оболонка [1], складена з пакету жорстко з'єднаних між собою  $N$  однорідних анізотропних шарів з різною товщиною  $h_k$ . Приймається, що гіпотеза про характер розподілу температури по товщині оболонки виконується для всього пакету. Відповідно цьому теплофізичні характеристики  $q(z)$  шаруватої оболонки як одного цілого представляємо за допомогою асиметричних одиничних функцій  $S_{\pm}(z)$  у вигляді

$$q(z) = q_1 + \sum_{k=1}^{N-1} (q_{k+1} - q_k) S_+(z - z_k).$$

Тут  $q_k = \{\lambda_{ij}^{(k)}, \lambda_{33}^{(k)}, c_e^{(k)}\}$  – теплофізичні характеристики  $k$ -го шару;  $z_k$  – координата границі розділу  $k$ -го і  $k+1$ -го шарів, причому  $z_k = -h + \sum_{m=1}^k h_m$ ;  $S_+(z) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$ ;  $S_-(z) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ .

Для даної оболонки сформульована нестационарна задача теплопровідності з граничними умовами конвективного теплообміну зовнішніх поверхонь оболонки з довкіллям і початковою умовою, що описується функцією, яка визначає початковий розподіл температури в оболонці.

Для зведення вихідної тривимірної нестационарної задачі теплопровідності до двовимірної використовується наближення Лява для тонкостінних оболонок. Згідно з цим наближенням вихідна тривимірна задача на температуру оболонки зводиться до двовимірної задачі на інтегральні характеристики температури. Записано двовимірні рівняння теплопровідності шаруватих анізотропних циліндричних оболонок нерегулярної структури для двох часто використовуваних законів розподілу температури по товщині оболонки – кубічного і лінійного. Для вказаних законів розподілу температури отримано загальні розв'язки нестационарних задач на інтегральні характеристики температури для кругової замкненої шаруватої циліндричної оболонки скінченої довжини і постійної товщини. Матеріали складових шарів оболонки виготовлені з ортотропних матеріалів, при чому осі ортотропії співпадають з осями координат.

Як приклад, виконано числові дослідження температурного поля двохшарової композитної графітоепоксидної армованої волокнами оболонки за умов її локального нагріву, як початково заданим розподілом температури, так і конвективним теплообміном з довкіллям заданої температури.

1. Punera D., Kant T., Desai Y. M. Thermoelastic analysis of laminated and functionally graded sandwich cylindrical shells with two refined higher order models // J. Therm. Stresses. – 2018. – 41, N 1. – P. 54–79.

## ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ КУЛІ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ

У процесі технологічної обробки кульових клапанів використовують короткочасний індукційний нагрів, що здійснюється генераторами високочастотних електромагнітних коливань. Однак недостатньо вивчено температурні режими таких електропровідних конструкцій за короткочасного індукційного нагріву неусталеними електромагнітними полями (ЕМП), що є важливим у технологіях індукційної термообробки таких елементів.

Запропоновано фізико-математичну модель визначення температури у кульовому електропровідному клапані за короткочасного індукційного нагріву. За вихідну систему рівнянь даної моделі, яка складається з двох етапів, вибрано співвідношення електродинаміки Максвелла і нестационарної теплопровідності. На основі таких співвідношень сформульовано центральні-симетричні задачі електродинаміки і теплопровідності для суцільної електропровідної кулі. Матеріал кулі однорідний ізотропний і неферомагнітний. Його фізичні характеристики приймаються сталими і рівними їх середнім значенням в розглядуваних діапазонах зміни температури. На першому етапі зі співвідношень Максвелла визначається вектор напруженості магнітного поля та тепло Джоуля, що виникає в електропровідній кулі внаслідок її короткочасного індукційного нагріву вихровими струмами. На другому етапі з рівняння теплопровідності, в якому джерелом тепла є тепло Джоуля, знаходимо розподіл температури у суцільній кулі. За визначальні функції вибрано азимутальну компоненту вектора напруженості магнітного поля і температуру. Для побудови розв'язків сформульованих початково-крайових задач електродинаміки і теплопровідності використано поліноміальну апроксимацію визначальних функцій по радіальній змінній. Апроксимаційні поліноми вибрано таким чином, щоб врахувати задані граничні умови на визначальні функції, як на поверхні кулі, так і в її центрі. Це дало змогу звести вихідні початково-крайові задачі на визначальні функції до відповідних задач Коші на інтегральні по радіальній змінній характеристики цих функцій. Отримано загальні розв'язки задач Коші за однорідної нестационарної електромагнітної дії. Дію вихрових струмів в неусталеному режимі математично змодельовану електромагнітною дією в режимі з імпульсним модульним сигналом [1]. Вплив такої дії задається значеннями азимутальної компоненти вектора напруженості магнітного поля на поверхні кулі.

Чисельно проаналізовано зміну в часі тепла Джоуля і температури у кулі залежно від амплітудно-частотних характеристик розглядуваної неусталеної електромагнітної дії та часу її тривалості. Встановлено такі закономірності температурного поля у розглядуваній кулі. За короткочасного індукційного нагріву суцільної електропровідної кулі максимальні значення температури  $T_{\max}$  досягаються на її поверхні. Розподіл температури по радіальній змінній має характер, близький до приповерхневого. За вибраної тривалості електромагнітної дії температура кулі з ростом величини напруженості магнітного поля  $H_0$  (амплітуди електромагнітних коливань), зростає за квадратичним законом. При величинах  $H_0 \geq 10^4$  А/м значення  $T_{\max}$  можуть досягати величини, що відповідає температурі плавлення матеріалу кулі.

1. Hachkevych, O., Musij, R. Mathematical modeling in thermomechanics of electroconductive bodies under the action of the pulsed electromagnetic fields with modulation of amplitude. *Mathematical Modeling and Computing*, 2019, 6(1), pp. 30–36.

## USING METADATA TO GENERATE INFORMATION SYSTEMS

There are two common ways to create new information systems, custom development, and use of existing software packages to implement the desired logic.

The development of information orders is as follows - the company forms or hires a group of developers and business analysts who analyze the needs of the company and begin to implement all the necessary functionality. The main advantage of this approach - the resulting information system will be developed in full accordance with the requirements and specifics of the enterprise, and full control over it, the main disadvantage is the high cost of such an approach, as it is necessary to constantly maintain a large staff. Software.

The second approach is to use existing software packages to create a new system. In this case, a group of analysts who have experience working with the selected software is hired. They analyze the needs of the enterprise, and already in accordance with them will prepare data for download to the complex, or a request to the programmers of the complex, who implement this task. The advantages of this solution include the high speed of obtaining the initial result and low costs in the first stage. Disadvantages - low flexibility of systems when you need to add functionality other than the typical one provided by the system, the so-called "vendor lock-in" situation, when the selected service provider is the only possible, the transition to a new provider is very expensive and support services and modifications of the software product can be performed only by service specialists, the combination of these factors turns the provider into a local monopolist, which dictates its terms of service.

The alternative approach would be to generate the entire information system on-demand from metadata. But to do this we would need to solve the problem of automatically generating user interfaces.

Attempts to automate the process of creating interactive user interfaces could be traced to COUSIN-SPICE [1], a software that would accept data description and then generate UI, to interact with. But it was only a simple software, incapable of creating complex UI that would support multiple states, and asynchronous client-server interaction. Clifford M. Beshers and Steven K. Feiner go on to build "Scope" a technology aimed to automatically create a UI for any valid C++ program [2]. The only thing you need is a scheme that describes what data to show, and operations upon it to use is provided. Whilst this is definitely a big step up, the proposed approach is just a way to automate UI creation, you would still need to develop every function used to manipulate the data. A similar example could be found in both "MIKE" [3] and its newer version based on PASCAL called "Mikey" [4], unfortunately, they have all the same faults.

All of the above examples [1, 2, 3, 4] were operating in programming terms. But software that provides an ability to easily solve real-life tasks needs to operate in a high-level domain field. One of the earliest examples of such an approach would be "Mecano" [5]. Macanos' authors propose the right decision to use domain-level logic, but fail to develop it further so that it would support operations not anemic data. They do an outstanding job in laying grounds for the importance of basing our approaches on domain logic, not programming abstractions.

US 7,334,216 B2 [6] describes software capable of generating a fully interactive user interface with an exposed API so that one could integrate with it and connect with other parts of an information system. But the described software does not support client-server interaction out of the box, the developer is still needed to add real business logic on top of the generated user interface.

US 7,062,502 B1 [7] proposes a fully automated way to create a simply distributed client-database software. The main problem of this proposal is that it uses SQL instead of a language capable of describing domain models and operations. Authors do not implement data user access privileges and the resulting information system is incapable of being horizontally scaled, due to its' heavy reliance on relational DB.

There are two models of access privileges management: based on permissions and prohibitions. When using a barred model, the user, by default, has access to all system objects to which he has not been denied access. In the permission-based model, the user has access only to those objects to which he has been explicitly granted access. It was decided to develop a model based on permissions, as this would reduce the likelihood of the new user being granted rights to objects that should not be available to him.

To reduce duplication of rights of the same type, it was decided to use a role model of rights, when the user is assigned a list of roles, each of which has access to the data entrusted to it.

In order to be able to limit the users' data privileges in one category, the concept of directories and subsystems to which data may belong was introduced. If the category is to be cataloged and divided into subsystems - to perform an operation on a particular record, the user must have the right to perform this operation in the directory and/or subsystem to which the record belongs. To avoid a combinatorial explosion of rights to records shared by directories and subsystems, it was decided to keep the rights to the subsystem and the catalogs separately. Instead of issuing the right to perform operations in the specified directory in the specified subsystem, the role is given the right to perform the operation in the specified directory and the right to perform the operation in the specified subsystem.

The main problems of existing information systems creations are manually created user interfaces, unsuitability for horizontal scaling, and low modification speed. Existing papers on generating parts of information systems from metadata only explore user interface generation. There are no good examples of generating client-server interoperability layers, same as access authorisation subsystems and data storage layers.

The purpose of the follow-up research is to develop a language of metadata, an algorithm for distributing information systems, and software for the automated creation of such systems based on metadata. To achieve this goal it is necessary to perform the following tasks: explore existing metadata languages, identify their advantages and disadvantages; study the software packages that are currently used to solve related tasks; develop a metadata language, on the basis of which the generation of the information system will take place; explore existing data access privilege solutions; develop and implement an access privilege subsystem; develop an algorithm for the distribution of information systems' data that will guarantee the possibility of their horizontal and vertical scaling; develop software that will generate client interfaces, a layer of client-server interoperability, a data access layer, and a data storage layer based on the developed metadata language.

1. Philip J. Hayes, Executable interface definitions using form-based interface abstractions. In H. Rex Hartson, editor, *Advances in Human-Computer Interaction*, Ablex Publishing Corporation, 1985.
2. Clifford M. Beshers Steven K. Feiner, *Scope: Automated Generation of Graphical Interfaces*, UIST '89: Proceedings of the 2nd annual ACM SIGGRAPH symposium on User interface software and technology, 1989.
3. Dan R. Olsen, MIKE: The Menu Interaction Kontrol Environment, *ACM Transactions on Graphics*, 1986.
4. Dan R. Olsen, A programming language basis for user interface management, *ACM SIGCHI Bulletin*, 1989.
5. Angel R. Puerta, Henrik Eriksson, John H. Gennari, and Mark A. Musen, *Model-Based Automated Generation of User Interfaces*, AAI-94 Proceedings, 1994.
6. Pedro Juan Molina-Moreno, Oscar Pastor-Lopez, Juan Carlos Molina-Udaeta, Jose Miguel Barbera-Alonso, *Method and apparatus for automatic generation of information system user interfaces*, US7334216B2 United States, 2000.



**СВЯЗЬ ГРУППЫ СИММЕТРИИ ОРНАМЕНТА НА ЭСКИЗЕ М. К. ЭШЕРА  
«МОРСКИЕ КОНЬКИ» С ДВИЖЕНИЯМИ ПЛОСКОСТИ, ОПИСЫВАЮЩИМИ  
ПОСТРОЕНИЕ ЕГО ФИГУРНОЙ ПЛИТКИ**

Первое, что бросается в глаза, когда рассматриваешь эскиз М. К. Эшера «Морские коньки», – её особенность, которая состоит в том, что если принять какую-либо зооморфную форму за оригинал, то, чтобы получить её копии, необходимо выполнить центральные симметрии оригинала и его параллельные переносы, причём параллельные переносы осуществляются в шести направлениях. Мы предполагаем, что такими же центральными симметриями и параллельными переносами связаны между собой отдельные части контура зооморфной формы, целиком покрывающей плоскость. Наше предположение основывается на том, что связь между группой симметрии орнамента и группой движений плоскости, которая описывает построение фигурных плиток, заполняющих плоскость без наложений и пропусков, была обнаружена нами и в гравюре М. К. Эшера «Всадники», и в его литографии «Ящерицы».

Таким образом, наша цель состоит в том, чтобы классифицировать орнаменты по кристаллографическим группам симметрии на плоскости, открытым русским учёным Е. С. Фёдоровым, и связать группы симметрии орнаментов с группами движений плоскости, описывающими построение их повторяющихся фигур.

Предложено правило построения фигурной плитки, стилизующей изображения растений и животных и заполняющей плоскость без наложений и пропусков при параллельных переносах и вращениях её повторений, в частности фигурной плитки, обобщающей изображение зооморфной формы на эскизе М. К. Эшера «Морские коньки». Предложенное правило было применено для составления орнамента, стилизующего эскиз М. К. Эшера «Морские коньки». Показано, что данный орнамент имеет множество центров симметрии и шесть векторов трансляции. Выявлена связь между группой симметрии орнамента и движениями плоскости, приводящими к образованию его фигурной плитки. Показано, что если какой-либо фигуре соответствует какая-либо группа преобразований плоскости, то такой же группе преобразований плоскости будет соответствовать орнамент, полученный параллельными переносами и вращениями её повторений. Предполагается, что предметом дальнейших исследований будет приложение одной из кристаллографических групп симметрии Е. С. Фёдорова к построению фигурной плитки, стилизующей зооморфную форму на одной из гравюр М. К. Эшера.

## МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОДІЙНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ

Підвищення вимог до культури та безпеки обслуговування високовольтних ліній напругою 6-35 кВ в особливих умовах призводить до розробки систем з захисту обслуговуючого персоналу від ймовірного ураження електричним струмом. В роботі запропоновано модель системи моніторингу параметрів ізоляції високовольтних ліній з застосуванням накладення двох сигналів оперативного струму непромислової частоти. Параметрами захисту пристроїв контролю ізоляції є установки спрацювання, які визначаються за припустимим струмом спрацювання та часом швидкодії захисту, цей параметр не повинен перевищувати 0,005 с. Використовуючи пристрої цифрової обробки сигналів можна знизити вплив завад та отримати достовірні данні. Запропонований алгоритм і його реалізація задовольняють вимозі обмеженості у часі при виділенні сигналу відповідної оперативної частоти.

Для досягнення відповідної швидкодії було прийнято рішення про відмову від стандартних пристроїв цифрової фільтрації, і запровадження в стандартному мікроконтролері виділення оперативних сигналів відповідної частоти за допомогою методу, заснованому на аналізі тригонометричних характеристик суми синусоїдальних сигналів [1], перевіреному програмою в системі MATLAB (див. рис. 1)..

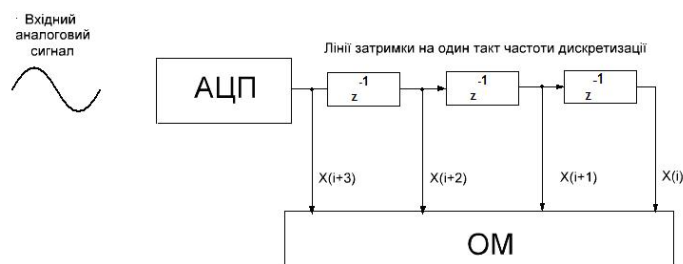


Рис. 1 – Алгоритм роботи системи обчислення амплітуд оперативних сигналів:  
АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ОМ – обчислювальний модуль;  $Z^{-1}$  - затримка.

Затримка оцінювання амплітуди оперативних сигналів залежить від кількості таких сигналів і вибраної частоти дискретизації. За цим алгоритмом на стенді було промодельовано отримання оцінки амплітуд оперативних сигналів в смузі 200 Гц і частотою дискретизації 1 кГц. Вхідний сигнал являє суперпозицію частот оперативних сигналів 100 і 200 Гц, опрацювання його відбувається за допомогою мікроконтролера через АЦП і подальшу програмну обробку. На виході отримано значення амплітуд двох окремих сигналів відповідних частот. Швидкодія обробки залежить від частоти дискретизації, яка в даному випадку дорівнює 10 кГц, то затримка становить 3 мс.

Реалізація сучасної системи моніторингу та захисту в системі підземного електропостачання забезпечується на сучасній елементній базі з використанням мікроконтролера Tiva™ TM4C123GH6PM [2] та його периферійних пристроїв. Розроблений алгоритм дозволяє забезпечити відповідну швидкодію виділення та обробки оперативних сигналів, з подальшою командою для вибору пошкодженої фази.

1. Estimation of the Amplitude and Phase of Sinusoids/ Barry Van Veen// [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://allsignalprocessing.com/estimation-of-the-amplitude-and-phase-of-sinusoids-in-noise/> – (дата звернення 24.05.21). – Назва з екрана.
2. EK-TM4C123GXL ARM® Cortex®-M4F Based MCU TM4C123G LaunchPad™ Evaluation Kit // [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://ti.com/tool/EK-TM4C123GXL> – (дата звернення 24.05.21). – Назва з екрана.

## ВІДНОВЛЕННЯ ТРИВИМІРНОГО ТІЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАТОРА МІШАНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ПОЛІНОМАМИ БЕРНШТЕЙНА

Класичне узагальнення поліномів Бернштейна для випадку функцій  $f(x, y, z)$ ,  $(x, y) \in [0, 1]^3$  трьох змінних має вигляд:

$$B_{nms}f(x, y, z) = B1_n B2_m B3_s f(x, y, z) = \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^m \sum_{p=0}^s C_n^k C_m^l C_s^p x^k (1-x)^{n-k} y^l (1-y)^{m-l} z^p (1-z)^{s-p} f(x_k, y_l, z_p),$$

$$B1_n = \sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k} f(x_k, y, z); \quad B2_m = \sum_{l=0}^m C_m^l y^l (1-y)^{m-l} f(x, y_l, z);$$

$$B3_s = \sum_{p=0}^s C_s^p z^p (1-z)^{s-p} f(x, y, z_p).$$

Тобто оператор  $B1_n$  діє на змінну  $x$ , оператор  $B2_m$  – на  $y$ , а оператор  $B3_s$  – на  $z$ .

**Визначення.** Операторами мішаної апроксимації поліномами Бернштейна називаються оператори вигляду:

$$Of(x, y, z) = (B1_n + B2_m + B3_s - B1_n B2_m - B1_n B3_s - B2_m B3_s + B1_n B2_m B3_s) f(x, y, z),$$

$$B1_n = \sum_{k=0}^n C_n^k x^k (1-x)^{n-k} T1_k(y, z); \quad B2_m = \sum_{l=0}^m C_m^l y^l (1-y)^{m-l} T2_l(x, z);$$

$$B3_s = \sum_{p=0}^s C_s^p z^p (1-z)^{s-p} T3_p(x, y).$$

$n, m, s$  – кількість томограм, що розташовані на площинах, які перпендикулярні вісям  $Ox, Oy, Oz$  відповідно.

**Теорема.** Нехай  $f \in C^{2,2,2}[0,1]^3$ . Тоді для оператора  $Of$  виконується асимптотичне співвідношення:

$$f(x, y, z) - Of(x, y, z) = \frac{f^{(2,2,2)}(x, y, z) x(1-x)y(1-y)z(1-z)}{8nms} + o\left(\frac{1}{nms}\right). \quad (1)$$

**Зауваження.** Якщо в (1) покласти  $n = m = s$ , то  $f(x, y, z) - Of(x, y, z) = O\left(\frac{1}{n^3}\right)$ ,  $n \rightarrow \infty$ .

Тобто оператор  $Of$ , у випадку  $n = m = s$ , мають порядок точності відносно змінної  $n$  у три рази більший, ніж при наближенні оператором  $B_{nms}f$ . Таким чином, для оцінки похибки наближення функції  $f(x, y, z)$  оператором  $Of(x, y, z)$  виконується нерівність:

$$\|f - Of\|_{C[0,1]^3} = O(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3), \quad \varepsilon_k \rightarrow 0, \quad k = 1, 2, 3, \quad \text{де} \quad \varepsilon_1 = \|(I - L1_n)f\|_{C[0,1]^3},$$

$$\varepsilon_2 = \|(I - L2_m)f\|_{C[0,1]^3}, \quad \varepsilon_3 = \|(I - L3_s)f\|_{C[0,1]^3}.$$

**Висновки.** У роботі запропонований оператор мішаної апроксимації поліномами Бернштейна для відновлення внутрішньої структури тривимірного.

1. Сергієнко І.В. Теорія розривних сплайнів та її застосування в комп'ютерній томографії: монографія / І.В.Сергієнко, В.К. Задірака, О.М.Литвин, Ю.І. Першина – К. : Наук. думка, 2017. – 314 с

## DETECTION OF DOS ATTACKS IN NETWORK TRAFFIC BY WAVELET TRANSFORM

Analysis of network traffic data is very important for detecting DOS attacks and malicious anomalies. Many data mining techniques have been found to view data and use it for security purposes. Fast and accurate search for content-based queries is critical to making such numerous data streams useful. The need for analysis of network attacks and localization of anomaly data by the Data mining method is growing. When considering important points in the creation of a protection system, statistical data on the effectiveness of the method are needed. In experimental research, it is possible to analyze the possibilities and effectiveness of the analysis of the method in everyday use.

Wavelet transform(WT) is one of the most promising data analysis technologies, its tools are used in various fields of intellectual activity. In contrast to the fast Fourier transform (FFT), wavelet analysis allows you to select both frequency and time components of variability, ie allows you to analyze the time variability of the frequency spectrum of the process. WT has a movable frequency-time window, which is self-adjusting, equally well detects both low-frequency and high-frequency characteristics of the signal at different time scales. Wavelet filters allow not only to fight noise, but also to extract the necessary signal components. Because wavelets have good frequency-time adaptation, they can serve as a convenient tool for studying the frequency characteristics of a non-stationary signal, the representation of network traffic at different scales. The advantage of this approach is that characteristic details that may go unnoticed at one scale can easily be detected at another level of analysis.

With a continuous change of parameters for the calculation of the wavelet spectrum requires large computational costs. Most wavelet functions are redundant. It is necessary to sample the parameters while maintaining the possibility of restoring the signal from its conversion. To begin the analysis of traffic on the chosen technology it is necessary to apply WT and to choose effective tools of wavelet analysis. WT is a signal in the form of a generalized series or Fourier integral on a system of basic functions, which are constructed from the parent (original) wavelet due to time shift operations and changes in time scale. The use of wavelet spectrum will determine the time of onset of signal frequency changes. One of the methods for processing noisy signals is trasholding. It represents the decomposition of the considered signal into a wavelet spectrum with its subsequent processing. When considering a discrete signal, the study needs to check the correctness and effectiveness of methods for suppressing the noise part of a typical signal. Using WT with subsequent reconstruction, it is possible to obtain a signal without degrading its quality. It is proposed to use the criterion of minimum entropy as a criterion for choosing the optimal basis. It characterizes the level of averaging and determines the number of significant coefficients of the traffic model. The criterion is the ratio of variances and mean discrete wavelet packet transformation (DWPT) coefficients. The adaptation of the decomposition level selection is as follows. If at any level of DWPT there is an excess of the upper threshold, the decision on existence of an anomaly is made. If at this level the lower threshold is exceeded, then there may be an anomaly in this place. Then further wavelet decomposition is performed to the next level, at which the analysis is performed again. This happens until the value of the relationship exceeds the upper threshold. This will indicate possible attacks. Or it will stop exceeding the threshold at all. This will indicate the absence of anomalies.

**Conclusions.** According to the results of the study, it can be concluded that there is a vulnerability for MS, according to which an attacker can implement a DoS-attack, or another network attack, which can be specially configured for certain protection limits. Then the presence of detection by WT will significantly increase the possibility of detecting such an attack. During the work, we developed our own method of detecting anomalies and network attacks based on the integration of the wavelet packet model of network traffic in the interactive development environment Matlab, namely, identified a number of parameters that are taken into account when implementing WT.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЦЕНТРОВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ШИРОКИМИ СПЕКТРАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Для решения задач классификации и получения информации об изменениях люминесцентных свойств исследуемых монокристаллических материалов возникает необходимость разделения общих, широких экспериментальных спектров люминесценции на индивидуальные составляющие – полосы излучения [1], каждая из которых связывается с излучением центров с определенным локальным окружением. В общем случае эти индивидуальные полосы перекрываются между собой. Их количество, состав, форма контура и положение в экспериментальном спектре могут быть неизвестны, что накладывает определенные сложности для построения адекватной модели системы излучающих центров и выявления свойств исследуемых материалов.

В настоящей работе предложена методика построения адекватной модели системы излучающих центров:

$$I(x) = y_1(x) + y_2(x) + \dots + y_n(x) + \Delta A(x), \quad (1)$$

где  $I(x)$  – интенсивность экспериментального спектра в точках измерения;  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$ , ...,  $y_n(x)$  – функции, определяющие индивидуальные полосы;  $\Delta A(x)$  – функция «ошибки», характеризующая точность разложения и адекватность построенной модели системы излучающих центров.

Для описания формы контура индивидуальной полосы использовано нормальное распределение, которое в координатах экспериментальных спектров приводится к виду:

$$y_i(x) = A_i \exp \left[ \frac{-(x - x_{i\max})^2}{2w_i^2} \right], \quad (2)$$

где  $y_i(x)$  – интенсивность излучения  $x_{i\max}$  – координата соответствующего максимума по оси абсцисс,  $w_i$  – ширина пика на уровне половины амплитуды максимума,  $A_i$  – амплитуда максимума  $i$ -ой индивидуальной полосы,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

При этом:

$$A_i = \frac{a_i}{\sqrt{2\pi}w_i}, \quad (3)$$

где  $a_i$  – коэффициент пропорциональности между функцией плотности вероятности нормального распределения вида (1) и функцией, описывающей интенсивность излучения соответствующей индивидуальной полосы.

Для нахождения пар  $A_i$ ,  $w_i$  использован метод наименьших квадратов и минимизация специальной целевой функции вида:

$$\Phi(A_i, w_i) = \sum_{j=1}^m \left[ I(x_j) - \sum_{i=1}^n \left[ A_i \exp \left( \frac{-(x_j - x_{i\max})^2}{2(w_i)^2} \right) \right] \right]^2 = \min, \quad (5)$$

где  $j$  и  $m$  – номер экспериментальной точки и их количество соответственно.

В качестве координат по оси абсцисс использовались как длины волн, так и энергия фотонов. При этом рассматривалось применение как аналитического, так и синтетического подходов построения адекватной модели [2] системы излучающих центров.

### Висновки

Показано, что требуемая адекватность модели может достигаться не только в результате получения и учета при построении модели как можно большего количества информации о системе излучающих центров в составе кристаллической решетки, но и математическим путем, а именно: изменения условий возбуждения люминесценции отражаются в экспериментальных спектрах и моделируются в (1) путем подбора значений пар  $A_i, w_i$  при минимизации (5) и достижения минимальности  $\int \Delta A(x) dx$ . То есть достигается максимальная адекватность модели.

1. Prokofiev, T. A., Ivanchenko, A. V., Gnatushenko, V. V. (2019). Luminescent Analysis of ZnS:Mn Single-Crystal Lattice Changes During Plastic Deformation. Journal of Applied Spectroscopy. doi:10.1007/s10812-019-00802-8.
2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. Москва, издательство “КноРус” (2010) 35–38, 59–61.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ**

Связанные задачи представляют собой наиболее сложный уровень математического моделирования вычислительной аэродинамики. Кроме механики жидкости и газа здесь необходимо учитывать динамику твердого тела, многофазных сред, электродинамику, химическую кинетику и т.д. Вместе с тем, именно связанные задачи являются наиболее востребованными в промышленности.

За последние два-три десятилетия вычислительная аэродинамика добилась значительного прогресса в решении классических задач механики жидкости и газа. Основу составляет численное решение нестационарных уравнений Навье-Стокса, как наиболее полной модели текучих сплошных сред. Осредненные по Рейнольдсу либо по Фавру уравнения Навье-Стокса с современными дифференциальными моделями турбулентности позволяют провести численную реконструкцию поля течения и рассчитать интегральные аэродинамические характеристики с высокой степенью достоверности при приемлемых затратах компьютерных ресурсов.

Несколько иная ситуация сложилась для связанных задач динамики жидкости, газа и плазмы, которые представляют собой основную область интересов развития современных инновационных технологий. Данный класс задач требует совместного математического описания динамики частиц жидкости и газа, физико-химических реакций, электромагнитного воздействия на сплошную среду, динамики ионов и электронов, учет взаимодействия между частицами плазмы и несущей среды, а также с обтекаемой поверхностью.

Следует отметить, что на сегодняшний день отсутствует единый научно-обоснованный методологический подход к созданию математических моделей связанных задач жидкости, газа и плазмы. Совместное исследование динамики и аэродинамики подвижных тел представляет собой классическое направление исследований, которые находят применение в ветроэнергетике, авиации, наземном транспорте. Управление структурой потока относится к связанным задачам и является актуальной проблемой при проектировании новой авиационной и ракетно-космической техники, двигателе- и турбиностроения, ветроэнергетики. К числу перспективных методов управления структурой течения относится создание частично ионизированного потока с применением плазменных актуаторов.

Авторами разработан специализированный пакет вычислительной аэродинамики, электродинамики и химической кинетики на основе уравнений Навье-Стокса, Максвелла, Гельмгольца, Больцмана, современных дифференциальных моделей турбулентности и ламинарно-турбулентного перехода, позволяющий эффективно моделировать стационарное и нестационарное ламинарное и турбулентное обтекание тел сложной геометрии при наличии плазменных источников.

В работе получены новые данные об изменении структуры отрывных течений, характеристик аэродинамических профилей, новые результаты по аэродинамике ветроэнергетических установок с роторами Дарье и Савониуса, выработаны рекомендации по повышению энергетической эффективности ВЭУ. Разработанные методики используются при проектировании и разработке новых вертикально-осевых ветроэнергетических установок, выборе рациональной формы роторов и режимов работы ВЭУ. На основе численного моделирования показана возможность уменьшения коэффициента сопротивления цилиндра с помощью плазменных актуаторов за счет подавления вихревой дорожки Кармана.

Разработанные подходы и методики позволяют максимально достоверно воспроизводить реальные аэродинамические процессы обтекания тел произвольной формы и рассчитывать их аэродинамические характеристики с учетом влияния низкотемпературной неравновесной слабоионизированной плазмы.

## ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ СУДНА

Розвиток сучасних методів керування складними технічними комплексами дозволяє розглядати завдання оптимізації суднової електроенергетичної системи (СЕЕС), враховуючи ієрархічність системи та її складність. На основі аналізу системи керування судна з електрорухом, як динамічної системи, в роботі використані методи оптимального управління за критерієм максимуму швидкодії. Використовуючи рівняння Ейлера, як необхідні умови оптимальності в варіаційній задачі, отримуємо

$$\frac{\partial q_T(t)}{\partial v_c(t)} - \frac{d}{dt} \frac{\partial q_T(t)}{\partial \dot{v}_c(t)} = 0 \rightarrow 3r(t)v_c^2 = const = C. \quad (1)$$

Таким чином, в завданні вказано на необхідність зберігати сталість швидкості по відношенню до збурень (хвилювання моря, течії, вітру). З необхідної умови оптимальності за швидкістю, як управління, отримуємо

$$\frac{\partial H}{\partial v} = 0 \rightarrow 3\varphi(t)v^2 + 2\lambda v_0 \varphi(t)v = 0 \rightarrow v^* = const. \quad (2)$$

Проте управління (2) викликає значні коливання потрібної потужності СЕЕС і погіршує умови роботи дизель-генераторних агрегатів судна. З урахуванням малого часу реакції генератора отримуємо оптимізаційну задачу, де  $T$  - час регулювання.

$$u^* \rightarrow \min \int_0^T dt; \quad (3)$$

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + Q\mathbf{g}$$

Умова оптимальності  $grad L = 0$ , яка звичайно справедлива для функції, для функціонала переходить в необхідну умову рівності нулю першої варіації функціонала Лагранжа

$$(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}^*, t^*) \rightarrow \delta \tilde{L}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t) = 0; \quad t \in (t_0, t_1). \quad (4)$$

В даному випадку множники Лагранжа зберігають свій фізичний зміст, але перетворюються у функції часу  $\lambda_i = \lambda_i(t)$ ,  $\lambda_0 = const$ . Використовуючи необхідну умову оптимальності у вигляді рівняння Лагранжа-Ейлера, по відношенню до інтегранта маємо функціонал Лагранжа  $L = L(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t)$ . Функцію Лагранжа представлено у вигляді суми, тому

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t) = H(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \boldsymbol{\lambda}(t)) - \frac{d\boldsymbol{\lambda}(t)}{dt}. \quad (5)$$

Множник Лагранжа  $\lambda_i$  – це незалежна змінна, за якою також необхідно записати умову оптимальності. Отримуємо умову Лагранжа-Ейлера в канонічній формі (6)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}} &= \frac{d\boldsymbol{\lambda}}{dt} \\ \frac{\partial H}{\partial \boldsymbol{\lambda}} &= -\frac{d\mathbf{x}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$



Функція Гамільтона  $H = H(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \lambda, t)$  визначає вплив на систему керування. З урахуванням стаціонарності функції Гамільтона з управління, одержуємо канонічну систему Лагранжа-Ейлера у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}} &= + \frac{d\lambda}{dt} \\ \frac{\partial H}{\partial \lambda} &= - \frac{d\mathbf{x}}{dt} \\ \frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} &= \mathbf{0} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Виконати рішення системи (7) достатньо важко, тому що це система диференціальних рівнянь в частинних похідних. Для випадку, коли інтегрант функції мети є опуклим на інтервалі  $[t_0, t_1]$ , виконується умова глобальності

$$\mathbf{x}^* \rightarrow \inf F(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, t). \quad (8)$$

Далі отримуємо умову Куни-Такера для функції Гамільтона в завданні з опуклим функціоналом мети і керованими обмеженнями

$$H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u})|_{\lambda^*} \leq H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}^*)|_{\lambda^*} \leq H(\mathbf{x}, \mathbf{u}^*)|_{\lambda^*}. \quad (9)$$

Ця нерівність розділяється на дві умови

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}^*|_{\lambda^*} &\rightarrow \min H(\mathbf{x}, \mathbf{u}^*) \\ \mathbf{u}^*|_{\lambda^*} &\rightarrow \max H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Таким чином, перша нерівність системи породжує принцип Беллмана, а друга нерівність приводить до принципу максимуму Понтрягіна.

### Висновки

Оптимальне керування судном при хвилюванні моря вимагає збереження сталості упору гвинта. Для забезпечення сталості упору гвинта необхідно використовувати методи оптимального управління з критерієм максимуму швидкодії. Гіпотеза опуклості функціонала мети і керованості обмежень дозволяє реалізувати принцип максимуму Понтрягіна і принцип Беллмана. Використання принципу Белмана в подальшому дозволяє реалізувати адаптивний регулятор, що забезпечує мінімальні витрати за керуванням.

Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления /под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 712 с.

Сэйдж Э.П. Оптимальное управление системами: Пер. с англ./ Под ред. Б.И. Левина. М.: Радио и связь, 1982. 392 с.

## РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ

Створення та вдосконалення комп'ютерних наук призвело до створення нових технологій у різних сферах наукової та практичної діяльності.

Однією з таких сфер стала освіта. Поява та розвиток засобів комп'ютерної графіки [1-9] відкриває для сфери освіти принципово нові потенціали, завдяки яким з'явилася можливість не тільки використовувати графічні образи в якості ілюстрацій, а й змінювати їх на свій розсуд, досліджувати поведінку об'єктів, динамічно управляти їх змістом, формою, розмірами та кольором, домагаючись найбільшої наочності.

Досягнення в галузі ІКТ актуалізують питання підготовки фахівця в галузі подання інформації у вигляді графічних образів креслень, схем, малюнків, ескізів, презентацій, візуалізацій, анімаційних роликів, віртуальних світів і т. д.

Професійна підготовка майбутніх фахівців в галузі комп'ютерної графіки повинна бути орієнтована на підготовку конкурентоспроможного фахівця, затребуваного ринком праці в умовах наростаючих темпів інформатизації освіти, створення єдиного інформаційного середовища та формування відповідних професійних компетенцій в умовах стрімко розвиваються програмних, інтелектуальних продуктів і рішень у сфері ІКТ [1].

Застосування комп'ютерної графіки в навчальних системах не тільки збільшує швидкість сприйняття інформації студентам і підвищує рівень її розуміння, але і сприяє розвитку таких важливих для фахівця будь-якої галузі якостей, як інтуїція, образне і логічне мислення [2].

Численними дослідженнями в галузі психології доведено, що зорові аналізатори володіють значно більшою пропускною здатністю, ніж слухові: слухаючи, людина запам'ятовує лише 15% навчальної інформації, споглядаючи - 25%.

У дорослої людини, яка слухає монотонний доповідь, вже через 20 хвилин починає послаблюватися увага. Якщо ж ця доповідь супроводжується демонстрацією графічних об'єктів, починає працювати зоровий аналізатор. Поява наочного образу активізує увагу слухачів, і вони краще починають сприймати повідомлення [3].

Візуальна форма подачі інформації є набагато більш продуктивнішою, оскільки пропускна здатність зорового каналу сприйняття інформації набагато вище пропускної здатності слухового каналу (приблизно в 7,5 разів). Це пояснюється тим, що з 4 млн. нервових закінчень (волокон), які передають інформацію в людському організмі, близько 2 млн. припадає на зір і лише 60 тис. - на слух [3]. Око здатний сприймати мільйони біт інформації в секунду, вухо - тільки десятки тисяч. Дослідження показують, що найбільшу важливість має саме візуальна складова сприйманого образу. Звідси випливає необхідність використання в сфері освіти технологій комп'ютерної графіки.

У даний час комп'ютерна графіка - це один з найбільш напрямків інформаційних технологій, які бурхливо розвиваються. За допомогою комп'ютерної графіки можна візуалізувати такі явища і процеси, які не можуть бути побачені в дійсності, можна створити наочний образ того, що насправді ніякої наочності не має (наприклад, ефекти теорії відносності, закономірності числових рядів і т.п.).

Розрізняють дві функції комп'ютерної графіки [6-7]: ілюстративну та когнітивну [8]. Ілюстративна функція дозволяє втілити в візуальному оформленні лише те, що вже відомо і існує або в навколишньому світі, або як ідея дослідника. Когнітивна ж функція полягає в тому, щоб за допомогою деякого зображення отримати нове знання, розкрити сутність явища або принаймні сприяти інтелектуальному процесу отримання уявлення про це явище [4].

Ілюстративні функції комп'ютерної графіки реалізуються в навчальних системах при передачі студентам артикульованих частини знання, представлених у вигляді заздалегідь підготовленої інформації з графічними, анімаційними, аудіо- та відеоілюстрацій. Когнітивна

ж функція проявляється, коли студенти отримують знання за допомогою досліджень на математичних моделях досліджуваних об'єктів і процесів.

Саме когнітивна функція [9] комп'ютерної графіки має найбільше значення в навчальному процесі, так як комп'ютерні моделі дозволяють у широких межах змінювати початкові умови експериментів, що дозволяє виконувати численні віртуальні досліди.

Така інтерактивність відкриває перед студентами величезні пізнавальні можливості, роблячи їх не тільки спостерігачами, але і активними учасниками проведених експериментів. Деякі моделі дозволяють одночасно з ходом експериментів спостерігати побудову відповідних графічних залежностей, що підвищує їх наочність.

Системи з когнітивної комп'ютерної графікою, наприклад, математикам дозволяють побачити та усвідомити глибинні теоретико-числові закономірності. Для інженерів-дослідників і розробників складних технічних проектів ці системи перетворюють на зриму реальність про задумані та проєктовані вироби і об'єкти, дозволяючи ретельно досліджувати ще на геометричній моделі цілий ряд технічних і фізичних тонкощів проєктованих деталей і вузлів об'єкта нової техніки, і, тим самим, у значній мірі посилювати конструкторську думку проєктувальника. Ці системи дозволяють розширити та уточнити поставлені завдання, сприяють ідентифікації створюваних об'єктів, виробів і систем. Саме графічні зображення ходу та результатів експериментів на математичних моделях дозволяють кожному студенту сформулювати свій образ досліджуваного об'єкта чи явища в усій його цілісності і різноманітті зв'язків.

Також комп'ютерне моделювання дозволяє отримувати наочні динамічні ілюстрації фізичних експериментів і явищ, відтворювати їх тонкі деталі, які часто не видно при спостереженні реальних явищ і експериментів.

При використанні моделей комп'ютер надає унікальну, що не досяжно в реальному фізичному експерименті, модель. При цьому можна поетапно включати в розгляд додаткові чинники, які поступово ускладнюють модель і наближають її до реального фізичного явища. Крім того, комп'ютерне моделювання дозволяє варіювати тимчасовий масштаб подій, а також моделювати ситуації, не реалізовані в фізичних експериментах.

Наочність - одна з основних особливостей когнітивної функції графіки як сукупності прийомів і методів образного уявлення умов завдання, які дозволяють або відразу побачити рішення, або отримати підказку для його знаходження. Прикладом використання когнітивної графіки в навчальному процесі є застосування сучасних математичних пакетів під час проведення навчально-дослідних робіт.

Існує множина інтегрованих математичних програмних систем для науково-технічних розрахунків: Eureka, Derive, Mercury, MathType, MathLab, MathCad.

Ці програмні системи мають широкі графічними можливостями. Це дозволяє створювати математичні графіки практично всіх типів (в тому числі анімаційні), а також фрагменти відеофільмів, що значно полегшує візуалізацію та аналіз даних [5].

Системи з комп'ютерною графікою, які застосовують в сфері освіти, дозволяють побачити глибинні закономірності досліджуваних процесів і в значній мірі підсилюють конструкторську думку.

Комп'ютерна графіка виконує при цьому перш за все когнітивну, а не ілюстративну функцію, оскільки в процесі навчальної роботи з комп'ютерними системами процедурного типу в студентів формуються суто особистісні, тобто, яких не існує в такому вигляді ні у кого, компоненти знань.

Візуальні можливості сучасних засобів наочності впливають на створення умов, необхідних для процесу мислення. Вони грають велику роль в запам'ятовуванні матеріалу і, створюючи яскраві опорні сигнали, допомагають виявити логіку навчального матеріалу, сприяють систематизації отриманих знань. Під час сприйняття, засвоєння візуальної інформації зорові враження асоціюються з уявленнями про справжні предмети, явища та процеси.

Дистанційні технології навчання в процесі викладання дисципліни «Комп'ютерна графіка» дозволяють не тільки на достатньому рівні організувати роботу, а й заощадити час

вчителя, задіяного на консультаціях або уроках. Учні та студенти отримують більш гнучкий графік роботи, що зменшує психологічне навантаження, дозволяє розвивати їх дисциплінованість, самоорганізацію та відповідальність. При цьому викладачу варто попередньо відпрацювати раціональну методику навчання для підвищення ефективності, яка згодом почне приносити свої плоди.

Викладачеві слід врахувати, що при організації навчання комп'ютерній графіці в дистанційному форматі існує висока можливість подання учнями та студентами неправдивих результатів. Тому корисним буде розробка завдань для контролю їхнього оцінювання, які маловірогідно знайти в мережі Інтернет. З метою дотримання студентами академічної доброчесності викладачем може здійснюватись перевірка графічних зображень на авторство за допомогою Google пошуку, отримання від слухачів зображень поетапного виконання своєї роботи, формулювання питань, завдань, умов і прикладів для вирішення.

Варто зазначити, що важливим аспектом навчання комп'ютерній графіці, особливо для школярів, є профорієнтація – можливість більш точно визначитись із вибором закладу вищої освіти для найкращої реалізації власного творчого потенціалу, отримання майбутньої конкурентоспроможної професії, а також справи, яка буде приносити не тільки достойний заробіток, а й задоволення від праці.

Користувачі, які вивчають комп'ютерну графіку можуть користуватись не тільки ліцензійним, а вільно поширюваним програмним забезпеченням, зокрема, безкоштовними мультиплатформеними графічними редакторами Photoshop Online, Krita, векторним графічним редактором Inkscape тощо.

1. Чернякова Т. В. Методика обучения студентов вузов компьютерной графике / Т.В. Чернякова // *Образование и наука.* – 2010. – № 3. С. 84–89.
2. Соловов А. В. Компьютерная графика в инженерном образовании / А.В. Соловов. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/konoplyova/library/7.htm>.
3. Бисиркин, П. М. Применение технических средств обучения в учебном процессе. *Научный вестник Львовского государственного университета внутренних дел. Серия психологическая.* – Львов, 2008.
4. Зенкин, А. А. Когнитивная компьютерная графика. под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука, 1991.
5. Евсеев, А.И. Разработка компьютерных средств обучения. – Режим доступа: [http://cnit.mpei.ac.ru/textbook/00\\_00\\_00\\_02.htm](http://cnit.mpei.ac.ru/textbook/00_00_00_02.htm).
6. Романюк О. Н. Кательніков Д. І., Косовець О. П.. Веб-дизайн і комп'ютерна графіка. Навчальний посібник. -Вінниця : ВНТУ, 2007. 103 с.
7. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2001. 129 с.
8. Романюк О. Н., Ціхановська О. М. Використання комп'ютерної графіки в підготовці економістів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі», Київ, 18-19 квітня 2019 р. – 2019. – Ч. 2. С. 267-268.
9. Бажан В.М., Денисюк А.В., Романюк О.Н., Ціхановська О.М. Використання когнітивної комп'ютерної графіки в навчальному процесі. Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ: Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції 9-10 листопада 2020 р. – Суми/Вінниця : НІКО/ВНТУ, 2020. С. 23-26.
10. Романюк О.Н., Бойко О.П. Особливості викладання комп'ютерної графіки для дітей шкільного віку. Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ: Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції 9-10 листопада 2020 р. – Суми/Вінниця : НІКО/ВНТУ, 2020. С.45-47

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ І МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКОМПОЗИТІВ ІЗ НЕВПОРЯДКОВАНИМИ СФЕРИЧНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

Подовження строку експлуатації матеріалів, що використовуються в багатьох сферах народного господарства, призведе до зменшення об'ємів утворення відходів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Актуальним є вдосконалення деформаційних і міцнісних характеристик нанокompозитів, що можуть замінити звичайні матеріали.

Досліджено кубічну матрицю, що містить неструктуровані сферичні нановключення з випадковим розподілом. Проаналізовано включення діаметром 1нм з об'ємною часткою від 0,025 до 0,25. Розрахункові моделі нанокompозиту з об'ємною часткою включень, рівною 0,2, подані на рис. 1.

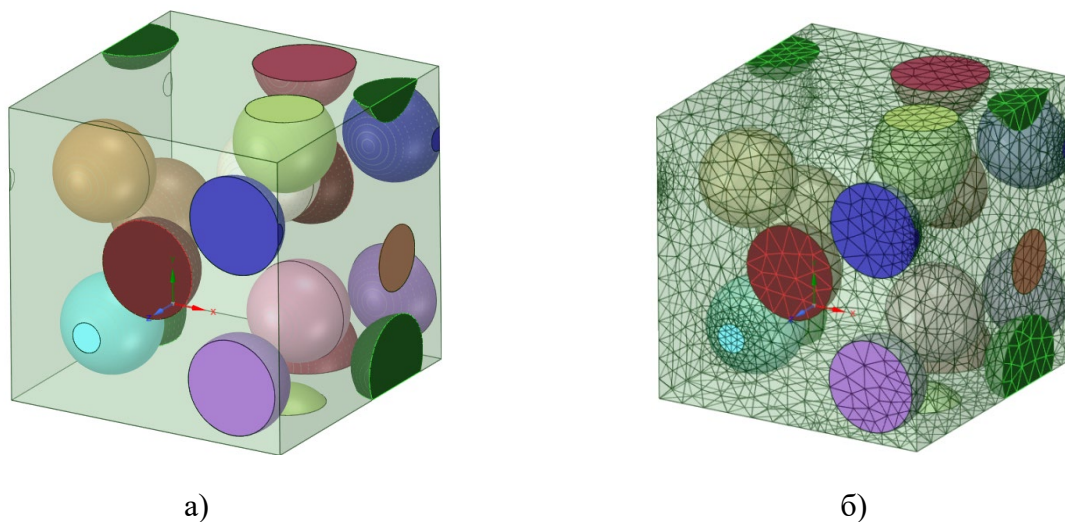


Рис. 1. Представницька комірка (а) і скінченно-елементна (б) модель наноматеріалу з неупорядкованими сферичними включеннями

Результати розрахунків подані в таблиці 1, розглянуті включення однакового розміру з ортотропними властивостями матеріалу.

Ці результати свідчать, що використання ортотропних включень з випадковим розподілом також веде до ортотропного зміцнення нанокompозитного матеріалу та зростання його густини, як і в разі впорядкованого розташування включень.

**Механічні властивості нанокompозиту з неупорядкованими  
сферичними включеннями**

Об'ємна частка	0,0387	0,0582	0,0775	0,116	0,1357	0,1550	0,1936	0,2132	0,2326	0,252
E <sub>1</sub> , МПа	4106,7	4251,4	4470,7	4826	5056,6	5265,2	5773,7	6017	6456,9	6399,4
E <sub>1</sub> , МПа	4106,7	4251,4	4470,7	4826	5056,6	5265,2	5773,7	6017	6456,9	6399,4
E <sub>2</sub> , МПа	4022,5	4139,6	4273,4	4531	4693,6	4816	5155,8	5277	5466,6	5707,8
E <sub>3</sub> , МПа	4009,7	4120,7	4284,1	4542	4637,6	4844,4	5112,4	5346,1	5451,4	5575,9
G <sub>12</sub> , МПа	1482,4	1530,1	1570,1	1683	1788,3	1778,2	1910,7	1988,4	2050,1	2095,1
G <sub>23</sub> , МПа	1487,9	1532,8	1574,2	1660	1704,2	1770,7	1886,8	1955,4	2009,6	2086,3
G <sub>31</sub> , МПа	1482,6	1533,5	1577,9	1685	1725,5	1796,8	1893,2	1987,8	2040,3	2112,4
$\nu_{12}$	0,3450	0,3434	0,3432	0,3432	0,3431	0,3387	0,3328	0,3389	0,3325	0,3190
$\nu_{13}$	0,3476	0,3476	0,3427	0,3413	0,3420	0,3368	0,3361	0,3277	0,3317	0,3397
$\nu_{23}$	0,3528	0,3523	0,3519	0,3491	0,3516	0,3508	0,3559	0,3506	0,3595	0,3549
Густина	1185	1197	1210	1234	1247	1259	1284	1296	1309	1321

Однак, результуючі механічні характеристики неструктурованого нанокompозиту виявились нижчими, ніж у разі структурованих нановключень при однаковій об'ємній частці включень та однаковій густині матеріалу. Вочевидь, головні причини цього явища полягають в ортотропності вуглецевого наповнювача та змінному заповненні матриці неструктурованими нановключеннями. Негативний вплив змінності заповнення нівелюється зростанням маси наноматеріалу в багатьох конструкціях, однак може виявитися суттєвим в таких конструкціях як покриття, плівки, тонкі пластини і т. ін., де застосовуються невеликі маси наноматеріалу.

1. Rozrahunkovi modeli na osnovi metodiv skinchenih ta granichnih metodiv dlya analizu mehanichnih vlastivostej trivimirnih nanokompozitiv / K.G. Degtyarov, V.I. Gnitko, O.O. Strelnikova, A.M. Tonkonozhenko // Prikladni pitannya matematichnogo modelyuvannya. – 2018. – Т. 2. – С. 43–54.
2. Gnitko V. Low Frequency Sloshing Analysis of Cylindrical Containers with Flat and Conical Baffles/ V.Gnitko, Y. Naumemko, E. Strelnikova // International Journal of Applied Mechanics and Engineering. – 2017. – Vol. 22. – Issue 4. – R. 867-881
3. Karayev A.O. Singulyarni integrali v aksialno - simetrichnih zadachah teoriiy potencialu / A.O. Karayev, O.O. Strelnikova // Prikladni pitannya matematichnogo modelyuvannya. – 2018. – Т. 1. – С. 10–18.
4. Karaiev A. Singular Integrals in Axisymmetric Problems of Elastostatics / Artem Karaiev, Elena Strelnikova //International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing. – 2019. – doi.org/10.1142/S1793962320500038
5. Gnitko V. Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity / V. Gnitko, K. Degtyariov, A. Karaiev A., E. Strelnikova// WIT Transactions on Engineering Sciences. – 2019. – Vol.122. –P.13-25. DOI: 10.2495/BE410021.
6. Sierikova O., Koloskov V., Degtyarev K., Strelnikova O. The effective elastic parameters determining of three-dimensional matrix composites with nano-inclusions. Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НУЦЗУ, 2021. С. 327-328.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВИНАХІДНИЦЬКОГО ПРОЦЕСУ НА ПРИКЛАДІ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Розробки літій-іонних акумуляторів інтенсивно ведуться кілька десятків років, але ще є чимало можливостей для удосконалення активних матеріалів електродів і електроліту. В активних матеріалах електродів можуть використовуватися такі хімічні елементи: як літій, кобальт, нікель, залізо, марганець, кисень, фосфор, карбон. Так, активний матеріал катоду містить оксиди літію-кобальту-нікелю-марганцю або фосфат літію-заліза. Активний матеріал аноду містить графіт. Для електроліту можуть використовуватися розчини солей літію в органічних розчинниках. Інтеркаляція і деінтеркаляція іонів літію в активних матеріалах забезпечує високу питому енергію акумуляторів, тому літій-іонні акумулятори найбільш ефективні [1]. І хоча процес розробки подібних акумуляторів дуже складний і потребує врахування багатьох факторів, тем не менш ця винахідницька діяльність може бути інтенсифікована шляхом формалізації і моделювання в руслі теорії вирішення винахідницьких задач [2]. Мета досліджень: здійснити формалізацію і моделювання винахідницького процесу розробки літій-іонних акумуляторів, і за рахунок такого моделювання вирішити завдання підвищення безпеки акумуляторів і їх здатності швидко заряджатися.

Акумулятор можна формалізувати, як «речовина»  $V_1$ , «поле»  $P$ , «речовина»  $V_2$ , «поле»  $P$ , «речовина»  $V_3$ . В даному випадку анод і катод акумулятора є «речовини»  $V_1$  і  $V_3$ , сепаратор акумулятора – «речовина»  $V_2$ . Електроліт акумулятора в даному випадку є «поле»  $P$ , тому що він забезпечує потік іонів літію і других частинок. Взаємодія між анодом  $V_1$  і електролітом  $P$  означено, як хвиляста лінія, бо така взаємодія нас не задовольняє. Аналогічна ситуація з  $V_3$  і  $P$ . Взаємодія між електролітом  $P$  і сепаратором  $V_2$  також нас не задовольняє, тому означено, як хвиляста лінія. І тільки взаємодія між електролітом  $P$  і сепаратором  $V_2$  є задовільною, тому означено, як пряма лінія (див. рис 1, верхній рядок). В нас є перше технічне протиріччя: «речовина»  $V_2$  повинна бути «прозорою» для «поля»  $P$  і, одночасно, не повинна бути «прозорою». Вся згадана термінологія, згідно теорії вирішення винахідницьких задач [2].

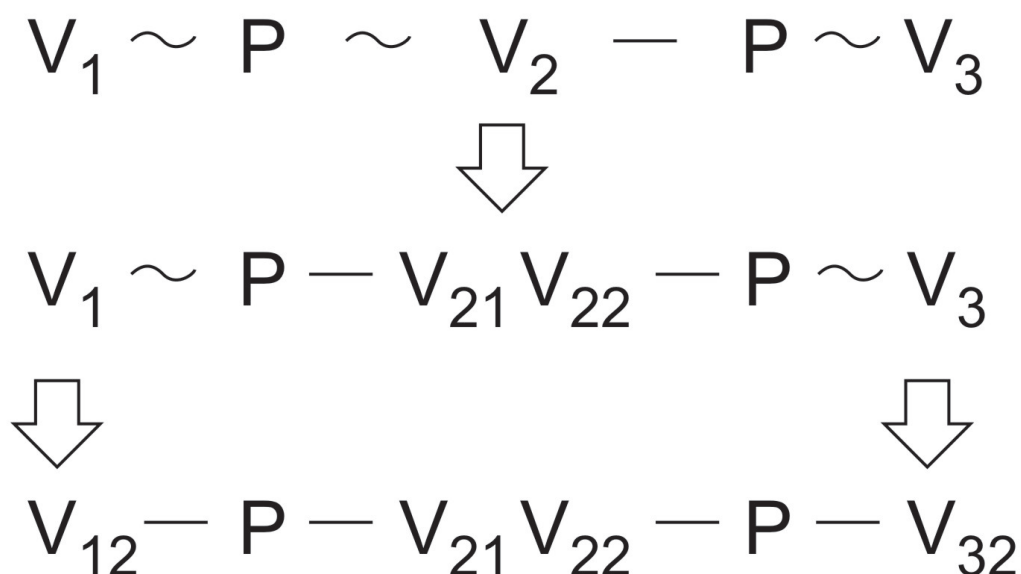


Рис. 1 Спрощена формальна модель винахідницького процесу для літій-іонних акумуляторів

Розшифруємо. Сепаратор  $V_2$  повинен задовільно пропускати іони літію, але не повинен пропускати групи атомів літію, інакше від анода крізь сепаратор ростуть дендрити металевого літію, що веде до короткого замикання і, навіть, до спалаху і вибуху акумулятора. Формальна модель на рис. 1 підказує, що ми можемо зробити задовільною взаємодію електроліту  $P$  з сепаратором  $V_2$ . Це можливо зробити, згідно [2], шляхом заміни «речовини»  $V_2$  за структурою на дві «речовини»  $V_{21}V_{22}$  (див. рис 1, середній рядок). Вкажемо конкретно. Сепаратор  $V_2$  буде виконано з двох шарів  $V_{21}$  і  $V_{22}$ , в даному випадку пористість шару  $V_{21}$  буде 30-40%, а пористість шару  $V_{22}$  буде 60-80%. Причому товщина шару  $V_{21}$  буде 30-50 мкм, а товщина шару  $V_{22}$  буде 40-70 мкм, а сумарна товщина двох шарів  $V_{21}V_{22}$  повинна бути 90-100 мкм. Завдяки зменшеній пористості шару  $V_{21}$ , котрий розташований щільно до аноду  $V_1$ , сепаратор практично не пропускає групи атомів літію від аноду, тобто не дає росту металевим дендритам. Але, завдяки зменшеній товщині шару  $V_{21}$ , сепаратор задовільно пропускає іони літію.

В нас є друге технічне протиріччя: речовини  $V_1$  і  $V_3$  повинні активно взаємодіяти з полем  $P$  і, одночасно, не повинні активно взаємодіяти. Розшифруємо. Анод  $V_1$  і катод  $V_3$  акумулятора повинні забезпечити інтеркаляцію і деінтеркаляцію іонів літію з електроліту  $P$  в активних матеріалах, але анод і катод не повинні піддаватися деградації в електроліті  $P$ . Формальна модель на рис. 1 підказує, що ми можемо зробити задовільною взаємодію аноду  $V_1$  з електролітом  $P$  і катоду  $V_3$  з електролітом  $P$ . Це можливо зробити, згідно [2], шляхом заміни «речовин»  $V_1$  і  $V_3$  на речовини  $V_{12}$  і  $V_{32}$ , відповідно (див. рис 1, нижній рядок). Вкажемо конкретно. Активні матеріали аноду і катоду будуть модифіковані шляхом змін в технологіях виготовлення активних матеріалів. З метою спрощення ми не будемо тут розглядати подробиці технологічних змін. Скажемо лише, що модифікації активних матеріалів для аноду  $V_1$  і катоду  $V_3$  зроблені шляхом механоактивації порошків активних матеріалів в розмельних пристроях.

Попередні випробування літій-іонних комірок, які виготовлено за новою технологією і конструкцією, демонструють перспективність означеної вище розробки. Нові літій-іонні акумулятори повинні характеризуватися підвищенням безпеки експлуатації і здатністю акумуляторів швидко заряджатися, наприклад, на електротранспорті: електромобілях, гібридних автомобілях, метрополітені, тролейбусах, трамваях, електропоїздах.

### Висновки

Запропонована математична (формальна) модель винахідницького процесу скоротила час пошуку винахідницького рішення, яке зняло низку технічних протиріч (в даному випадку для спрощення вказано лише два технічних протиріччя). Це продемонстровано на прикладі літій-іонних акумуляторів, на яких вдалося досягти підвищення безпеки експлуатації і швидкості зарядки (згідно попереднім випробуванням).

Моделювання винахідницького процесу направляє творчий пошук в таке русло, де діяльність винахідника стає більш ефективною. Це не означає, що формальні моделі можуть повністю замінити собою діяльність живих людей, котрі вирішують складні конструкторські і технологічні завдання. Також це не означає, що формальні методи зняття технічних протиріч можуть повністю замінити пошук реальних конструктивних і технологічних рішень. Але користь такого моделювання не повинна визивати сумнівів.

Математична модель винахідницького процесу в перспективі може застосовуватися в системах штучного інтелекту.

1. Кулова Т.Л. Современные электрохимические системы аккумуляирования энергии /Т.Л.Кулова, И.И. Николаев, В.Н. Фатеев, А.Ш. Алиев // *Kimya Problemleri (Chemical Problems)*, №1, 2018. – с.9-34.
2. Альтшуллер Г.С.. Творчество как точная наука. 2 изд., дополн. - Петрозаводск: Скандинавия, 2004. - 208 с.



## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ КОСМІЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Вакуумований магнітолевітаційний транспорт може бути сконструйовано в якості нової космічної технології, як це запропонував один з класиків Maglev-технології – Джеймс Пауелл [1]. Така технологія (Space Tram) здатна суттєво зменшити вартість виводу корисного вантажу на низьку навколосемну орбіту, оскільки не потрібна велика маса ракетного палива на космічному апараті. Але, дана технологія має суттєвий недолік – недостатній рівень безпеки при експлуатації, що обумовлено просторовою конфігурацією системи магнітної левітації. Справа в тому, що система магнітної левітації працює на діапазоні висот від нуля до стратосфери, й один із факторів небезпеки в даному випадку – ураження надпровідникових кабелів транспорту розрядами атмосферних блискавок, що може призвести до повного руйнування транспорту. На жаль, конфігурація системи магнітної левітації не розрахована на екранування від атмосферної електрики. Мета досліджень: здійснити математичне моделювання системи магнітної левітації для ефективного підвищення рівня безпеки космічної транспортної технології за рахунок зміни конфігурації системи левітації.

Як вказано ще Дж. Пауеллом, математичне моделювання системи магнітної левітації ґрунтується на простій формулі для сили взаємодії між кабелями зі струмом, причому це можуть бути багатокабельні системи кінцевої довжини [1]:

$$F_L = f_{GL} \cdot \left( \frac{\mu_0}{2\pi} \right) \cdot \left( \frac{I_G}{I_L} \right) \cdot \frac{I_L^2}{H}, \quad (1)$$

де  $F_L$  – сила магнітної левітації, яка діє на левітуючий кабель;  $I_L$  – величина електричного струму, який протікає по левітуючому кабелю;  $I_G$  – величина електричного струму, який протікає по кабелю, який розташовано на землі;  $H$  – відстань між левітуючим кабелем і кабелем, який розташовано на землі;  $f_{GL}$  – фактор геометрії і довжини кабелів, котрий дорівнює 0,8-0,9 відповідно до варіанта задачі;  $\mu_0$  – магнітна константа.

В роботі розглянуто можливість зміни просторової конфігурації системи магнітної левітації, на підставі математичної моделі системи левітації зроблені попередні розрахунки найбільш перспективного її варіанта. Зроблені чисельні оцінки основних параметрів системи магнітної левітації.

Показано, що найбільш перспективною конфігурацією системи магнітної левітації буде система з двох контурів надпровідникових кабелів на землі і, відповідно, двох контурів надпровідникових левітуючих кабелів, причому така просторова конфігурація повинна характеризуватися вертикальною площиною симетрії. Напрямок польоту космічного апарата повинен розташуватися у цієї вертикальної площині симетрії.

**Висновки.** Математичний аналіз просторової конфігурації системи левітації для нової космічної технології на базі вакуумованого магнітолевітаційного транспорту дозволив запропонувати більш перспективну конфігурацію системи левітації. Нова система магнітної левітації буде система з двох контурів надпровідникових кабелів на землі і, відповідно, двох контурів надпровідникових левітуючих кабелів, причому така просторова конфігурація повинна характеризуватися вертикальною площиною симетрії. Така конфігурація, в порівнянні з відомою системою Space Tram [1], може забезпечити набагато більш безпечний вивід пілотованих космічних апаратів на орбіту.

1. Patent 6,311,926 US, C1<sup>7</sup>. B64F 1/04. Space Tram/ James R. Powell (US), George Maise (US). - 09/558,423, 25.04.2000; 06.11.2001.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ COVID-19 З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ ПАРАДИГМИ

Останнім часом, в тому числі за рахунок глобалізації, світ все частіше стикається з пандеміями. Тільки за останні 15 років: атипова пневмонія, пташиний грип, свинячий грип, вірус Ебола. Кожна пандемія уносить велику кількість людських життів та наносить великі збитки світовій економіці. COVID-19 став найпотужнішим викликом для людства. В умовах пандемії коронавірусу важливо виявити закономірності та характеристики розповсюдження інфекції для того, щоб застосовувати ефективні засоби захисту та боротьби із нею на конкретній території та в умовах конкретного анклаву. Створення імітаційних моделей поширення патогенів є одним з найважливіших завдань математичної епідеміології. Розповсюдження інфекційних захворювань являє собою складне явище з безліччю взаємодіючих факторів. Найчастіше використовуються моделі, які виражені системою диференційних рівнянь, такі як SIR, SEIR, SEIRD, EIHFR, SEIHFR-моделі [1-2]. Вони мають ряд недоліків та не враховують всі особливості предмету моделювання [3]. Імітаційне моделювання на основі мультиагентної парадигми дозволяє, визначивши початкові параметри за кожним типом об'єктів і систему правил взаємодії один з одним і докількам, виявити динамічні закономірності розвитку інфекції і найбільш суттєві властивості агентів, сприяючих зміні темпів поширення. Імітаційне моделювання з використанням мультиагентного методу - найбільш відповідний апарат для моделювання процесів в епідеміології [4].

У середовищі NetLogo розроблена мультиагентна модель соціальної системи в якій розповсюджується інфекція. В розробленій імітаційній моделі поширення COVID-19 з геоінформаційною підтримкою визначені та досліджені декілька наступних сценаріїв.

**НАСЕЛЕННЯ. ТЕРИТОРІЯ. СТАН НАСЕЛЕННЯ. ІНФЕКЦІЯ. ОДУЖАННЯ. ІМУНІЗАЦІЯ.** Змодельована Дніпропетровська область населена агентами в розподілі, що за віком, відповідає офіційним статистичним даним. Агенти територіально розподілені рівномірно. Кожен агент має певний імунітет. Інфікований агент може заразити інших, одужати та набути імунітет або вмерти.

**ЗАКОРДОННІ ПЕРЕМІЩЕННЯ.** Агент, що прибув позначається у вигляді кола. До області прибувають та область залишають агенти, по 6 агентів в обох напрямках (це 0.11% населення). З них 1 агент (16.67%) хворий, він може бути в латентному періоді або заражати оточуючих. Найбільш стрімкий розвиток епідемії «Закордонні переміщення», тобто без обмежень на перетин кордону.

**ПРИКОРДОННИЙ КОНТРОЛЬ** – це сценарій, за яким можуть бути застосовані різні ступені обмеження. 1 ступінь) хворі не залишають область. 2 ступінь) хворі, що прибувають до області дотримуються самоізоляції. 3 ступінь) комбінація обох попередніх обмежень. В цьому сценарії максимальна кількість хворих на певний день зафіксована, коли хворі не відбувають з області, через накопичення хворих. Мінімальна кількість хворих на певний день зафіксована у випадку дотримання самоізоляції прибувшими. День, у який фіксується максимальна кількість хворих настає: раніше у випадку без обмежень; пізніше – якщо хворі дотримуються самоізоляції. Це свідчить про те, що лише самоізоляція може сповільнити епідемію і знизити навантаження на лікарні.

**ОБСЕРВАЦІЯ.** Обсервація - усі люди, що прибувають до області, знаходяться в обсерваторії, через 14 днів тестуються - здорові та хворі без симптомів їдуть додому, хворі із симптомами дотримуються самоізоляції до одужання. Проведено експерименти із різним радіусом зараження. У випадку обсервації по декілька осіб в кімнатах, інфікована людина може покинути обсерватор, і заражати оточуючих поза ним. Якщо не ізолювати людей всередині самої обсервації, усі в її межах перехворіють, а додому поїдуть лише імунізовані.

**ЗАБОРОНА ПЕРЕМІЩЕНЬ ЧЕРЕЗ КОРДОН.** Ніхто не залишає та не прибуває до області. При «Забороні переміщень через кордон», епідемія закінчується на 31 день. Тобто, у замкненому просторі епідемія завершується швидше. А коли наявні переміщення через кордон, епідемія взагалі не завершується. Але самоізоляція та обсервація, у якій максимальна кількість агентів перехворіє перед поверненням додому, сповільнюють епідемію. Найменша кількість померлих за умов обсервації та забороні переміщень через кордон. Ніж менша щільність населення в області, тим повільніше буде поширюватися вірус.

**САМОІЗОЛЯЦІЯ.** Полягає у самоізоляції хворих із симптомами. Зі збільшенням відсотку ізольованих агентів зменшується кількість померлих; максимальна кількість хворих при ізоляції в 50% більша у 4.7 разів, ніж при ізоляції 90% хворих. Загальна кількість заражень (8 стовпець) більша у 8 разів при ізоляції 50% хворих.

**ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ.** Зниження швидкості пересувань абсолютно усіх людей, коли є хоча б 1 хвора людина (аналог зниження соціальної активності). Зменшується максимальна кількість хворих на певний день, у 9 разів зменшується кількість загиблих. У 8.6 разів менша загальна кількість заражень при зниженні швидкості пересувань у 5 разів. Все це свідчить про сповільнення розвитку епідемії.

**Сценарій комбінації САМОІЗОЛЯЦІЇ (50% хворих) + ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ.** Комбінація дотримання самоізоляції та зниження швидкості пересувань дає найменшу швидкість поширення епідемії. Більший ефект для сповільнення епідемії має дотримання самоізоляції, аніж зниження швидкості. При порівнянні випадків «Без обмежень» та «з максимальними обмеженнями» виявлено, що максимальна кількість хворих на день зменшилась більш ніж у 122 рази, а загальна кількість хворих зменшилась у 75 разів.

**ПРИКОРДОННИЙ КОНТРОЛЬ + ОБСЕРВАЦІЯ + САМОІЗОЛЯЦІЯ + ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ.** Переміщення через кордон наявні + Прикордонний контроль + Обсервація + Самоізоляція 50% хворих + Обмеження пересувань удвічі. Епідемія не може закінчитися доки в область надходять нові зараженні. Регулювання поведінки лише агентів, що перетинають кордон, не дозволяє забезпечити низький рівень навантаження на медичну систему, та призводить до захворювання більшої кількості агентів. Також необхідно регулювання поведінки усього населення анклаву.

В результаті проведення експериментів, підібрано параметри, за яких репродуктивне число вірусу в моделі близьке до заданого початковими умовами.

### **Висновки**

Модель може бути використана для визначення поточного стану та прогнозування поширення інфекційних захворювань у певній області України при заданих її характеристиках. Робота моделі досліджена на прикладі поширення коронавірусу в Дніпропетровській області та місті Дніпро. Дослідження моделі поширення вірусу у місті Дніпро показало, що загальна кількість хворих у моделі вища кількості хворих за офіційною статистикою у 1.8 разів (на момент дослідження). Це пояснюється тим, що в офіційній статистиці можуть бути неврахованими багато випадків хвороби: безсимптомні, але заразні носії; люди, що не звернулися по медичну допомогу або не робили тестування; хибнонегативні результати. Вдосконалити модель можна додавши параметри, що уточнюють ознаки Дніпропетровської області або ускладнивши правила взаємодії об'єктів моделі.

1. Neher R., Aksamentov S., Noll N. COVID-19 scenarios. [<https://covid19-scenarios.org/>]
2. Бровченко І. Розробка математичної моделі поширення епідемії COVID-19 в Україні. Світогляд, 2020, No2 (82)
3. Pauline van den Driessche: Reproduction numbers of infectious disease models. In: Infectious Disease Modelling, Band 2, KeAi Publishing, August 2017, S. 288–303.
4. Чумаченко, Д.І., Чумаченко, Т.О. Математичні моделі та методи прогнозування епідемічних процесів: монографія. – Харків : ТОВ "Планета-Прінт", 2020. – 180 с.

## LAND SURFACE DIELECTRIC PERMITTIVITY SEQUENTIAL RESTORATION BY DUAL-POLARIZATION RADAR IMAGE

Dielectric permittivity ( $\varepsilon$ ) is an important physical parameter of the land surface, which is widely used in the geophysical, geological and environmental applications of remote sensing. In general, numerous heuristic, statistical, semi-empirical and physically conditioned models can be used in order to estimate the  $\varepsilon$ . In particular, the Oh, Dubois and IEM backscatter models, as well as various updates and recalibrations, can be applied for the  $\varepsilon$  estimation based on satellite radar imagery.

The IEM is an advanced and physically driven model, which conventional for the radar backscattering parameters estimation. The simplified IEM equations for horizontal ( $H$ ) and vertical ( $V$ ) radar backscattering have the following form [Stankevich et al., 2020]:

$$\frac{\sqrt{\sigma_H^0}}{2k^2 s \cos^2 \theta \sqrt{l e^{-(kl \sin \theta)^2}}} = \frac{\varepsilon - 1}{\left(\cos \theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta}\right)^2} \quad (1)$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_V^0}}{2k^2 s \cos^2 \theta \sqrt{l e^{-(kl \sin \theta)^2}}} = (\varepsilon - 1) \frac{(\varepsilon - 1) \sin^2 \theta + \varepsilon}{\left(\varepsilon \cos \theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \theta}\right)^2} \quad (2)$$

where  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  is the radar wavenumber,  $\lambda$  is the radar operating wavelength,  $\theta$  is the radar beam incident angle,  $s$  is the standard deviation of land surface roughness,  $l$  is the land surface horizontal profile correlation length [18],  $\varepsilon$  is the land surface dielectric permittivity.

Theoretically, the IEM equations can be solved independently of one another. However, the following issues arise: 1) not all the parameters in the equations are bound, specifically – the  $s$  and  $l$ ; 2) the  $\varepsilon$  obtained independently from the equations (1) and (2) will be very different.

The following approach is proposed to solve the denoted issues: 1) the solutions of equations (1) and (2) relative to  $\varepsilon$  are mutually adjusted; 2) the  $s$  and  $l$  are convolved into a single land surface roughness parameter ( $s$ ); 3) the system's solution is performed sequentially: first, the  $s$  as having greater sensitivity is fitted numerically, and then the  $\varepsilon$  is estimated.

The  $s$  and  $l$  convolution is carried out in the framework of empirical regression power-type relationship for each polarization separately:

$$l = \alpha s^\beta = \delta (\sin \theta)^\gamma s^{\eta+\xi} \quad (3)$$

Here,  $\alpha$  and  $\beta$  are polarization-dependent parameters, that can be parted into polarization-dependent  $\delta$ ,  $\xi$  and polarization-independent  $\gamma$ ,  $\eta$  components.

The proposed approach applied for a Sentinel-1 (S1) dual-polarization C-band radar image processing. The input S1 Level-1 Ground Range Detected (GRD) product was provided by the mirror server (Ukrainian Data Hub, <http://sentinel.spacecenter.gov.ua/>) of the Copernicus Open Access Scientific Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). The S1 GRD product was processed using open-source software ESA SNAP (<http://step.esa.int/main/>) and SciLab (<https://www.scilab.org/>). As a result, the land surface roughness parameters were excluded and the map of the dielectric permittivity spatial distribution was obtained:



**The land surface dielectric permittivity map obtained based on the Sentinel-1 dual-polarization radar image**  
Ochakovske – Skadovsk (Ukraine), April 12, 2021, 10 m spatial resolution

The figure represents in grey shades the areas with different values of the  $\epsilon$ : light tones correspond to strongly electrically polarized materials and substances (water, dry soil, vegetation, polymers); dark tones correspond to surfaces, where radio-wave penetration depth is low (dry rocks, dry soil, construction materials etc.).

The map of the land surfaces dielectric permittivity can be useful for the physical and biophysical parameters estimation over wide area in radar remote sensing applications.

We hope that the proposed approach will interest the scientists and natural sciences experts who plan to engage radar remote sensing data in their research.

### **References**

Stankevich S.A., Piestova I.O., Shklyar S.V., Lysenko A.R. Satellite dual-polarization radar imagery superresolution under physical constraints. In: Shakhovska N., Medykovsky M.O. (Eds). *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham: Springer Nature, 2020, pp. 439-452. DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0\_30

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

Основной целью исследований является повышение точности и надежности прогноза нефтегазоперспективных зон и нефтегазоносных объектов. Космогеологические исследования проводятся с целью оперативной оценки нефтегазоносности поисковых площадей на этапе, предшествующем их вводу в разведочное бурение. Современные технологии применения материалов дистанционно зондирования Земли в геолого-поисковых исследованиях основываются на интеграции с другими геопространственными данными – картографическими, геологическими, геофизическими, геохимическими и другими. Это позволяет устранить субъективизм, имеющий место при визуальной интерпретации спутниковых изображений. Интегрирование дистанционных и геолого-геофизических пространственных данных даёт возможность автоматизировать процесс оценки исследуемой площади и установить её сходство с эталонными участками (месторождениями). Классификация гиперкуба дистанционных и геолого-геофизических данных позволяет определить степень сходства исследуемых участков с эталонами и проранжировать их по перспективности. Предлагается модель интеграции дистанционных и геолого-геофизических данных на основе байесовского вероятностного вывода. При картировании нефтегазоперспективных участков оцениваются априорные и условные вероятности принадлежности растровых элементов гиперкуба данных позитивному или негативному эталону с последующим вычислением апостериорной вероятности принадлежности каждого элемента положительному эталону. Описанная модель апробирована на примере Хухринского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в Ахтырском районе Сумской области Украины. Месторождение характеризуется сложным геологическим строением и для его изучения включены все имеющиеся в наличии гетерогенные геопространственные данные. В результате выполненной интеграции дистанционных и геолого-геофизических данных получено пространственное распределение апостериорной вероятности, которую можно трактовать как комплексную оценку нефтегазоперспективности исследуемой площади. Результаты апробации хорошо согласуются с предшествующими геологическими прогнозами.

### Выводы

Таким образом, интеграция дистанционных и геолого-геофизических данных является эффективным и наглядным инструментом комплексной оценки нефтегазоперспективности территорий. Подход к интеграции данных на основе байесовского вероятностного вывода позволяет строить карты пространственного распределения вероятности сходства с известными нефтегазоносными геологическими структурами, которые обеспечивают важную информационную поддержку принятия решений на проведение детальных геологоразведочных работ.

1. Genesereth M. Data Integration: The Relational Logic Approach: Stanford: Morgan and Claypool Publishers, 2010.– 110 p.
2. Challa S., Koks D. Bayesian and Dempster-Shafer fusion. *Sadhana*. 2004. Vol.29. Part 2. P.145–176.

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ І РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОЗСУВНИХ ЛОПАТЕЙ І ТРАВЕРС Н-РОТОРІВ ДАР'Є

Коефіцієнт потужності вертикально-осьових вітроустановок з варіантами Н-ротору Дар'є може бути істотно підвищено, якщо в число керованих параметрів ввести змінну в залежності від робочих режимів довжину лопатей і траверс. Змінність довжини лопатей і траверс дозволяє змінювати енерговіддачу ротору шляхом підстроювання під поточні параметри вітрового потоку.

Запропоновано два варіанти конструктивного виконання розсувних лопатей і траверс. Перший варіант передбачає висування/засування рухомої частини траверси/лопати в/з нерухомої частини (рис.1). Другий варіант близький до конструктивного варіанту перспективних розсувних лопатей гелікоптерів [1,2] і передбачає «одягання» рухомої частини на нерухому (рис.2).

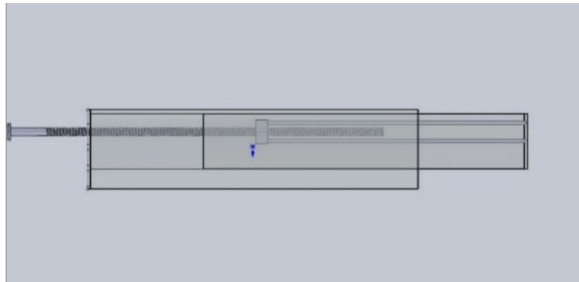


Рисунок 1. Конструктивна схем розсувної телескопічної лопаті з рухомою частиною, що висується/засується (вигляд в плані)

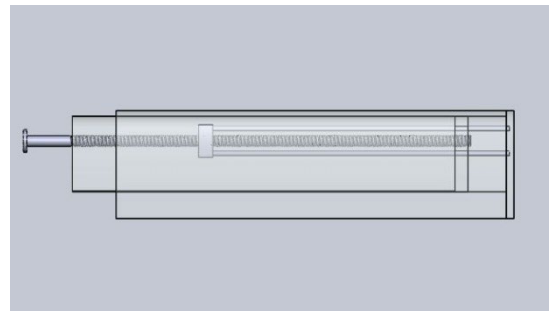


Рисунок 2. Конструктивна схем розсувної телескопічної лопаті з рухомою частиною, що одягається (вигляд в плані)

Проведений статичний і динамічний розрахунок експериментальних конструкцій розсувних лопатей і траверс. Розглядалися напруги і переміщення при різних величинах висування рухомих частин. Визначень рівень напружено-деформованого стану і небезпечні перетини. Знайдено значення власних частот і форми коливання для 10 перших частот при різних величинах висування рухомих частин.

Для дослідження динаміки ротора вертикально-осьових ВЕУ в потоці повітря під дією активних аеродинамічних сил в режимах розгону, роботи в експлуатаційному генеруючому режимі при різних швидкостях вітру і режимі гальмування отримані моделі динаміки ротора з трьома лопатями зі змінною довжиною лопатей и траверс. Одержані рівняння дозволяють моделювати динаміку трансформованого ротора як при злагожденій зміні довжини траверс і лопатей, так і незалежно один від одного. Облік аеродинамічних сил діючих на траверси допустимий в рамках розрахункової схеми моделі і залежить від необхідної повноти моделювання динамічних процесів. Розрахункова схема розробленої моделі динаміки дозволяє без зміни структури моделі розраховувати запропоновані варіанти конструктивного виконання лопатей і траверс.

1. Fradenburgh E.A. Variable-diameter rotor – a key to high performance rotorcraft [Text]/Vertiflite, 1990, 36, #3. – pp.46-53.
2. Segel R.M., Fradenburgh E.A. Development TRAC variable diameter rotor concept [Text]/AIAA Paper, No.69-221, AIAA/AHS VTOL Research, Design and Operation Meeting, Georgia Institut Tecnology, Atlanta, Georgia/February 17-19, 1969. – P.10 .



## КОРИГУВАННЯ ЕМПІРИЧНОГО РІВНЯННЯ ГЛАУЕРТА ДЛЯ КОЕФІЦІЄНТА ОСЬОВОЇ СИЛИ ПОТОКА В ІМПУЛЬСНИХ МОДЕЛЯХ Н-РОТОРА ДАР'Є

В імпульсних моделях Н-ротора Дар'є, аналогічно горизонтально-осьовим роторам, згідно з класичною імпульсною теорією ідеального вітродвигуна, при збільшенні коефіцієнта індукції потоку от 0,5 до 1,0, коефіцієнт осьової сили потоку на ротор  $C_q$  зменшується до нуля. Проте, фактично, коефіцієнт  $C_q$  продовжує зростати и досягає значення, рівного двом. Така невідповідність теорії и практики пов'язана з відмінністю обтікання роторів реальним в'язким потоком від прийнятого в теорії потенціального потоку ідеальної рідини. Для горизонтально-осьових роторів Г. Глауерт експериментально винайшов значення коефіцієнту осьової сили потоку в діапазоні коефіцієнтів індукції  $0,4 < a < 1,0$  і запропонував емпіричне співвідношення

$$C_q = 0,86 + 1,56(a - 0,143)^2 \quad (1)$$

На жаль, через відмінності поля обтікання горизонтально-осьового и вертикально-осьового роторів, застосувати формулу Глауерта в імпульсних моделях Н-ротора не можна. Аналіз робіт по дослідженню дозвукового обтікання непроникного циліндра що обертається, показав якісне відповідність поля течії навколо Н-ротора и циліндра. Так, математичне моделювання циліндра показує, що зі збільшенням швидкості обертання, осьовий тиск потоку на циліндр зменшується [1]. При фізичному моделюванні встановлено, що з ростом швидкості обертання циліндра, його фактичний опір збільшується [2]. Ці результати дозволяють в якості аналога Н-ротора розглядати непроникний циліндр.

Горизонтально-осьовий ротор являє собою плоский диск, а вертикально-осьовий Н-ротор – круговий циліндр. Для чисел  $Re$ , які відповідають режимам обтікання роторів вітроустановок, значення коефіцієнта опору плоскої пластини, яка розташована перпендикулярно потоку, дорівнює  $C_{q-гор} \approx 1,0$ , а циліндра –  $C_{q-верт} \approx 0,6$ . Тому можна записати  $0,6 C_{q-гор} = C_{q-верт}$ . Підстановка (1) в це рівняння дає модифіковане для моделі Н-ротора емпіричне співвідношення Глауерта с графіком на рис.1.

$$C_{q-верт} = 0,516 + 0,936(a - 0,143)^2$$

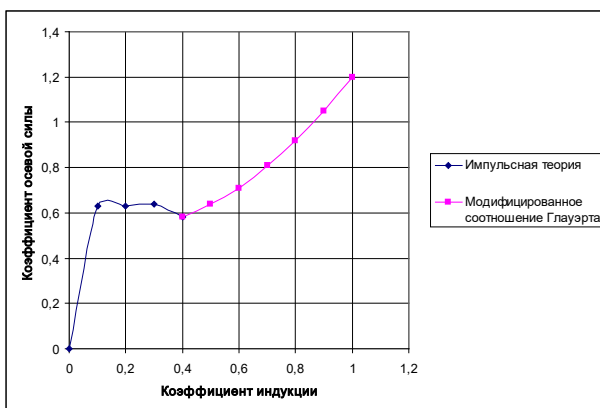


Рис. 1. Залежність коефіцієнта осьової сили  $C_q$  Н-ротора від коефіцієнта індукції  $a$

1. Редчиц Д. А. Численное моделирование эффекта Магнуса при обтекании кругового цилиндра невозмущенным потоком вязкой жидкости /Д.А. Редчиц, А.А. Гуржий // Прикладна гідромеханіка, Том 14, № 1. – 2012. – С. 63 – 71.
2. Бычков Н.М. Ветроустановка с эффектом Магнуса. Характеристики вращающегося цилиндра / Н.М. Бычков // Теплофизика и аэромеханика, Том 12, № 1. – 2005. – С. 159 – 175.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ

Застосування BIM-технологій для відтворення процесів життєвого циклу об'єктів будівництва є актуальними для професійної діяльності архітекторів, проєктувальників та інших представників будівельної галузі.

У нинішній ситуації світової пандемії COVID-19 наведені завдання постали на ще більш відповідальному рівні, що вимагає вжиття необхідних санітарно-гігієнічних, організаційних, нормативних та інших заходів. Тому вдосконалення математичного моделювання процесів мікроклімату під час автоматизованого проєктування різних споруд та подальшої їх експлуатації становить актуальну науково-прикладну задачу в теоретичному та практичному плані.

Для успішного використання в середовищі BIM-технологій даних про мікроклімат в житлових приміщеннях рекомендується представляти їх у формі комп'ютерних графоаналітичних алгоритмічних моделей.

Габаритними точками проєкцій зон комфортності на осі температур і відносної вологості кожна з них поділено на п'ять проміжків

$$T = (t_I, t_{II}, t_{III}, t_{IV}, t_V), \Phi = (\varphi_I, \varphi_{II}, \varphi_{III}, \varphi_{IV}, \varphi_V), \quad (1)$$

де  $t_I$  – холодно,  $t_{II}$  – прохолодно,  $t_{III}$  – тепло,  $t_{IV}$  – жарко,  $t_V$  – спекотно;  
 $\varphi_I$  – дуже сухо,  $\varphi_{II}$  – сухо,  $\varphi_{III}$  – нормальна вологість,  $\varphi_{IV}$  – волого,  $\varphi_V$  – дуже волого.

Діапазонами (1) діаграма комфортності розбивається на 25 уточнюючих зон, які дозволяють деталізувати метеорологічні характеристики досліджуваної точки  $\mathbf{r}(t, \varphi)$ . Їх назви є результатом декартового добутку даних множин. Авторами створена комп'ютерна програма, яка не тільки визначає комфортність наявної температури та відносної вологості повітря, а й може бути складовою автоматизованих систем більш високого рівня в середовищі сучасних BIM-технологій.

Запропонований спосіб візуалізації складних функціональних залежностей проілюстровано на прикладі інтерпретації аналітичного визначення комфортного теплового стану людини на основі розрахунків показників *PMV* (*predicted mean vote*), тобто прогнозованої середньої оцінки. Використовувані розрахункові формули відповідають виданню [1].

Проведення математичного дослідження аналітичних співвідношень з метою виявлення необхідних раціональних комбінацій наведених параметрів становить для інженерів-проєктувальників доволі важку задачу. Побудовані ж комп'ютерні геометричні моделі дозволяють суттєво полегшити її розв'язання.

1. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників *PMV* і *PPD* і критеріїв локального теплового комфорту. Київ: Мінрегіон України, 2012. 74 с.

## ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХНЬОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

**Вступ.** До задач із штучного інтелекту відносяться задачі розпізнавання (образів, мовлення), задачі з медицини, порівняння текстів на плагіат, автоматичний переклад текстів з однієї мови на іншу, класифікація тощо. Із-за своєї складності не завжди можна адекватно побудувати їхні математичні моделі. Дослідження багатьох прикладних задач цього класу показують, що процес їхнього розв'язання потребує перебору варіантів, а це вказує на їхню комбінаторну природу. Тобто, вони моделюються як задачі комбінаторної оптимізації, а для їхнього розв'язання використовуються підходи, які розроблено в дискретній математиці.

**Основна частина.** Для розв'язання задач із класів задач комбінаторної оптимізації виділимо такі основні підходи [1]: а) ітераційні методи та алгоритми, що ґрунтуються на частковому переборі варіантів; б) методи та алгоритми, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації. Метод найближчого сусіда, "жадібний" алгоритм, метод північно-західного кута, деякі алгоритми розв'язання задач із штучного інтелекту, в яких використано розповсюдження обмежень, ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідних даних. До цього напряму відноситься проблема знаходження підкласів розв'язних задач. В оговорених підходах шляхом розпізнавання структури вхідної інформації визначається аргумент, для якого цільова функція набуває оптимального значення. Підходи, які використовуються для розв'язання задач комбінаторної оптимізації і ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації, відносяться до методів штучного інтелекту. Як правило, їх називають евристичними. В них моделюються правила вибору оптимального рішення людини в ручному режимі та неявно моделюється функція зору людини.

Прикладні задачі штучного інтелекту складні за своєю природою і основна задача, як правило, розділяється на підзадачі, а цільова функція, за якою оцінюється оптимальний розв'язок, залежить від кількох змінних, якими є комбінаторні конфігурації різних типів. Якщо побудувати математичні моделі задач розпізнавання мовленнєвих сигналів та клінічної діагностики з використанням теорії комбінаторної оптимізації, то можна побачити, що вони розділяються на три підзадачі, тобто ці задачі за аргументом цільової функції – подібні. До задач штучного інтелекту також відносяться задачі із семантики. Вони полягають в тому, що необхідно встановити суть певного об'єкта, знайшовши його еталон в базі даних. Пошук певного еталону проводиться двома способами: за первинними ознаками, які описують шуканий об'єкт, і за заданим об'єктом, а також розробляються ефективні підходи для встановлення суті об'єкта без бібліотеки еталонів.

**Висновки.** Багато задач із штучного інтелекту мають перебірну природу та зводяться до задач комбінаторної оптимізації. Використання теорії комбінаторної оптимізації для їхнього моделювання підтверджує їхню комбінаторну природу. Для деяких задач сформульовано цільову функцію в явному вигляді, виявлено характерні ознаки, за якими встановлюється подібність задач штучного інтелекту. Вони досить складні за своєю природою і за аргументом цільової функції можуть розділятися на підзадачі. В цьому разі для їхньої реалізації необхідно розробляти гібридні алгоритми. Для їхнього розв'язання можна використовувати підходи, які розроблено в дискретній математиці, а також ті, які ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації.

1. Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Автореф. дис... докт. техн. наук: 01.05.02. Київ, 2007. 32 с.

**ОПТИМАЛЬНЕ СУРОГАТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ НАКЛАДНИХ  
ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ  
НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

Використання накладних вихрострумів перетворювачів (НВСП) класичних конструкцій на сьогодні достатньо широко використовуються при дефектоскопічному контролі матеріалів та виробів, в тому числі з автоматичним скануванням. Проте сучасні вимоги до автоматизованих систем неруйнівного контролю вимагають не лише здійснення дефектоскопічного контролю, а й дефектометрії, що передбачає встановлення форми дефектів, допустимих їх розмірів, прийнятності структурних відхилень.

Для впевненого виявлення дефектів і визначення їх геометричних параметрів вихрострумівими засобами важливо забезпечити в зоні контролю оптимальне електромагнітне поле (ЕМП) збудження, наприклад, у вигляді П-подібної форми розподілу напруженості поля, що локалізовано та максимально сконцентровано в зоні контролю та має нульове його значення поза її межами. Реалізація апіорі заданих характеристик перетворювачів здійснюється із використанням процедур сурогатного оптимального синтезу їх конструкцій, зокрема систем збудження (СЗ).

Створення апроксимаційних моделей (метамodelей, сурогатних modelей) НВСП, що з прийнятною точністю відтворюють багатовимірні в загальному випадку поверхні відгуку, є дуже важливим етапом методу, який визначає в кінцевому результаті успішність синтезу апіорі заданого однорідного розподілу густини вихрових струмів (ГВС) в зоні контролю об'єкта.

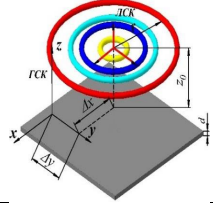
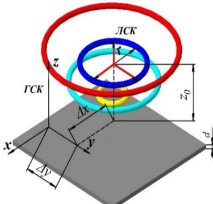
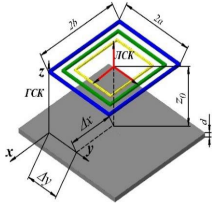
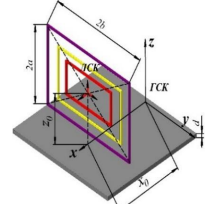
**Метою даних досліджень** є створення універсального методу апроксимації гіперповерхонь відгуку НВСП із достатньою точністю, що є запорукою успішного розв'язку задач параметричного сурогатного синтезу перетворювачів з однорідною чутливістю в зоні контролю.

В роботі сформульовано задачу багатовимірної апроксимації математично для ряду структур СЗ НВСП у вигляді функціональних апроксимаційних залежностей розподілу ГВС. Функціональна апроксимаційна модель навіть в найпростішому випадку для планарної структури збудження залежить від трьох параметрів, тоді як для складніших об'ємних СЗ вона має до шести параметрів. Тобто топологія багатовимірних поверхонь відгуку ГВС є вельми складною та не підлягає візуалізації. Тому задача створення методу апроксимації гіперповерхонь відгуку ГВС з достатньою точністю, тобто побудови метамodelей НВСП, є актуальною та заслуговує на увагу.

В роботі запропонована та на прикладах продемонстрована універсальна методологія побудови багатовимірних апроксимаційних (сурогатних) modelей НВСП різноманітних структур СЗ. Вона полягає в поетапному виконанні певних взаємопов'язаних задач. Комп'ютерний план експерименту для багатовимірного факторного простору пропонується реалізувати на основі сукупності безпараметричних адитивних рекурсивних одновимірних  $R_d$ -последовностей та комбінацій ЛП $_r$ -последовностей Соболя, що мають найкращі показники розбіжності. Їх використання найкраще забезпечує відтворення глобальної та локальної поведінки багатовимірної поверхні відгуку. Для побудови багатовимірних апроксимаційних modelей, зважаючи на суттєву нелінійність та нерегулярну поведінку гіперповерхонь відгуку використано гібридний підхід, що передбачає одночасне застосування технологій декомпозиції області пошуку та нейронних мереж (НМ), які побудовані на техніках асоціативних машин, а також адитивної НМ-регресії. Для підвищення точності адитивної НМ-регресії використано декілька методів – це усереднення по ансамблю НМ та підсилення шляхом формування підвибірок (беггінг). Внаслідок таких дій та шляхом ускладнення структурних особливостей адитивної НМ-регресії, а саме застосуванням комітетів НМ на останньому або кожному проміжному рівні апроксимації вдалося досягти прийнятної похибки апроксимації  $MAPE, \%$  багатовимірних метамodelей НВСП (табл.1).

На етапі відтворення поверхні відгуку адекватність отриманої метамоделі оцінювалася за показниками: сума квадратів відповідно регресії, залишків, загальної; середніх квадратів тих самих показників; дисперсії відтворюваності, адекватності, загальної; стандартної похибки оцінки відтворюваності, оцінки адекватності, загальної; коефіцієнту детермінації;  $S.D.ratio$ ;  $MAPE$ , %.

Табл. 1 - Різновиди апроксимаційних залежностей розподілу ГВС однорідних НВСП

№	Структура СЗ НВСП	Геометрична форма СЗ	Функціональна апроксимаційна залежність ГВС	MAPE, %	
				Етап навчання	Етап відтворення
1	планарна	кругова	$\mathcal{F}=f(x, y, r_0)$ 	3.56-5.38	4.78-6.76
2	об'ємна		$\mathcal{F}=f(x, y, r_0, z_0)$ 	4.35-19.33	6.22-21.31
3	планарна	квадратна	$\mathcal{F}=f(x, y, a)$ 	7.38-14.91	7.97-14.27
5	об'ємна	квадратна тангенціальна	$\mathcal{F}=f(x, y, a, b, x_0)$ 	2.14-3.99	2.18-4.47

1. Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В., Тичков В. В. Синтез вихрострумів перетворювачів з об'ємною структурою системи збудження, що реалізує однорідну чутливість в зоні контролю. *Технічна електродинаміка*. 2021. №. 3. С. 10–18. <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.010>.
2. Halchenko V. Ya., Trembovetska R. V., Tychkov V. V., Storchak A. V. The Construction of Effective Multidimensional Computer Designs of Experiments Based on a Quasi-random Additive Recursive  $R_d$ -sequence. *Applied Computer Systems*. 2020. Vol. 25, No. 1. P. 70-76. <https://doi.org/10.2478/acss-2020-0009>
3. Halchenko V. Ya., Trembovetska R. V., Tychkov V. V., Development of excitation structure RBF-metamodels of moving concentric eddy current probe. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2019. No. 1, P. 28-38. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2019.2.05>.

## SOME QUESTIONS OF MODELLING THE ELIIONIC-INDUCED ATOMIZATION OF MATTER

Problems of the observation the elionic-induced sublimation and atomization of matter is one of the central questions of modern elionic technology [1 – 5]. Concept elionic are including all possible types of particle irradiation, including photons [4]. This problem is connected with problem of ion- and electron-induced atomization of irradiated surface with help accelerators of proper particles, including photons. Particle-induced processes [1, 2, 4] are “hard” processes; laser-induced sublimation (atomization) is more soft process [3, 5]. For the case of laser irradiation we have two scenarios of evaporation. First is connected with melting of irradiated matter (evaporation from melting liquid phase) and sublimation (evaporation from solid state).

We present this problem from one point of view for all types of interaction from photon to ions. It is the first attempt of observation this problem in main detail in whole.

Main methods of modeling are physical chemical. All these processes have threshold nature. For ion and electron irradiation it depends from parameters of irradiation and type of irradiated matter.

For ion implantation we select macroscopic quantities: total atomization ratio and selective atomization coefficient [4]. This simple model allows explaining the main peculiarities of ion-induced atomization of two and more numbers component systems. So, for ion implantation the threshold of atomization of irradiated matter is  $\sim 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$  [1, 2, 4]. For electron irradiation this value has more on two order magnitude [2, 4].

Laser-induced processes have more soft nature [3]. Therefore, we must use the methods of modeling, which are allow to explain the possible chains intermediate phase transformations [3, 5]. In this case we must use the cascade model of excitation of proper chemical bonds in the regime of saturation of excitation [3]. Roughly speaking, the laser-induced surface atomization of irradiated matter without melting must be realized for the regime of irradiation, which is equal of sum the chemical bonds of surface atoms. As rule, this value is equal the half of Zeits energy (sum of all nearest chemical bonds of corresponding atoms in crystal lattice) [4]. In order of magnitude, this value corresponds to the sublimation energy of the irradiated material. In this case, we must select regimes of irradiation, which generating cascade “quantum” short-range actions, because the transition to long-range action may be cause of melting the irradiated matter.

The pure laser sublimation (atomization) method is more preferable for obtaining the micro-hole drilling of stainless steel using short laser pulses [5], because it does not leave molten droplets on the irradiated surface, in addition, the holes themselves have a more even border.

In whole methods of elionic-induced atomization may be used for the cleaning the surfaces of materials and their corresponding profiles, while laser methods can be used for samples with a significantly smaller size.

1. Rissel H., Ruge I. Ion implantation. Moscow: Nauka, 1983. 360 p. (In Russian)
2. Technological processes and systems in microelectronics: plasma, electron-ion-beam, ultrasonic. Ed. A.P. Dostanko. Minsk: Bestprint, 2009. 204 p. (In Russian)
3. Trokhimchuck P. P. Relaxed Optics: Modeling and Discussions. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2020. 249 p.
4. Trokhimchuck P. P. Radiation Physics of Status Solid. – Lutsk: Vezha, 2007. – 394 p. (In Ukrainian)
5. Dupliak I., Li F., Feng F. Micro-hole drilling of stainless steel using short pulse laser. *Actual Problems of Fundamental Science: Proceedings Third International Conference dedicated to the memory of Anatoliy V. Svidzinskyi* (Lake “Svityaz”, I – 5 June, 2019). Lutsk: Vezha-Print, 2019. P. 42-44.

## ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ ТА ДОВЖИНИ ГНУЧКОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПАНЕЛІ НА ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН

Відкриті прямокутні в плані циліндричні оболонки зі змінними параметрами широко застосовуються, як елементи сучасних конструкцій. Наявність достатньо високого рівня навантаження призводить до необхідності дослідження їх напружено-деформованого стану в геометрично нелінійній постановці. Крім того, працездатність і стійкість таких конструкцій істотно залежить від впливу різних варіантів граничних умов на краях пологої оболонки і становить безпосередній теоретичний та практичний інтерес. В даній роботі запропонований підхід до чисельного розв'язку крайових задач, які описують геометрично нелінійну деформацію пологих циліндричних панелей скінчених розмірів зі змінними параметрами. Він базується на застосуванні наближеного аналітичного методу Власова-Канторовича, методу лінеаризації нелінійних одновимірних крайових задач та стійкого чисельного методу дискретної ортогоналізації розв'язку лінійних крайових задач [1]. Досліджується достовірність результатів розв'язку даного класу задач з метою апробації методу Власова-Канторовича. Запропонований підхід до чисельного розв'язку крайових задач, які описують геометрично нелінійну деформацію пологих циліндричних панелей при силових навантаженнях зі змінними параметрами. Досліджується вплив різних варіантів граничних умов на криволінійних краях панелі і розподілу навантаження вздовж напрямної на її деформацію. З метою апробації методу Власова-Канторовича, на базі побудованого точного аналітичного розв'язку нелінійної крайової задачі проведемо співставлення розв'язку методом Власова-Канторовича задачі про деформацію колової нескінченно довгої циліндричної панелі сталої товщини в залежності від числа утримуваних членів ряду в розкладах розв'язувальних функцій [1]. Для цього розглянуто розв'язок задачі про деформацію колової нескінченно довгої циліндричної панелі сталої товщини, яка знаходиться під дією зовнішнього навантаження  $q$  вздовж напрямної  $u$  [1]. Для порівняння результатів розв'язку задачі при застосуванні методу Власова-Канторовича, отриманих при різному числі членів ряду, розглянуто деформацію гнучкої циліндричної панелі скінчених розмірів під дією зовнішнього навантаження  $q$ . Наведено таблиці залежності амплітудних значень для прогину  $w$  в центрі панелі, на основі нелінійної теорії, від навантаження за різних значень параметра  $q$ . Досліджено вплив граничних умов на криволінійних краях колової циліндричної панелі скінчених розмірів і сталої товщини  $h$  під дією поверхневого навантаження  $q$ . Наведено таблиці залежності амплітудних значень для прогину  $w$  в центрі панелі, на основі лінійної і нелінійної теорії, від навантаження за різних значень параметра  $q$  і для різних варіантів граничних умов. Наведено таблиці значень напружень на зовнішній (+) і внутрішній (-) поверхнях оболонки в геометрично нелінійній постановці.

1. Григоренко Я.М., Тумашова О.В. Розв'язок двовимірних задач про нелінійну деформацію циліндричних панелей зі змінними параметрами. *Доповіді АН УРСР* Серія. А. 1988. №7. С. 36-39.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ КОНІЧНИХ ВИРОБІВ НА ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В роботі розглядається модель температурного поля, яке формується у поверхневому шарі конічних виробів при обробці їх на фінішних операціях. Із застосуванням цих операцій пов'язана поява у поверхневому шарі виробів дефектів типу припиків, тріщин, розтягуючих напружень, що значно впливає на надійність і довговічність цих деталей, в процесі їх експлуатації. Ці дефекти, будучи локальними концентраторами напружень в експлуатаційних умовах призводять до передчасного виходу виробів з ладу, попри те, що навантаження на них формує напруження, величина яких не перевищує граничних значень. Отримані на підставі моделі функціональні зв'язки технологічних параметрів з температурою шліфування відбивають стан оброблених поверхонь для виробів конічної форми і дозволяють за допомогою відповідних прийомів усувати припіки на оброблюваних поверхнях виробів. Дослідження умов підвищення якості оброблюваних поверхонь шляхом усунення дефектів типу тріщин і припиків проводилося в основному на рівні виявлення зв'язків температурних полів, що формуються, з технологічними параметрами, фізико-механічних властивостей шліфованих матеріалів і геометрією виробів. Встановлено, що при шліфуванні конічних виробів від більшого радіусу у напрямі до меншого, температура збільшувалася пропорційно куту нахилу оброблюваної поверхні. Адекватність побудованої моделі перевірялася на прикладі шліфування конічних виробів із сталі, з відомими фізико-механічними характеристиками, вибором інструменту і призначенням режимів обробки. Аналіз результатів чисельних розрахунків температурних полів показали достатню точність за граничними умовами моделювання. Розроблено модель по визначенню температурного поля, що формується в поверхневому шарі конічних виробів на фінішних операціях, яка дозволяє за рахунок функціональних зв'язків з технологічними параметрами забезпечити необхідний рівень температур на оброблюваної поверхні, щоб уникнути утворення на ній дефектів типу припиків і тріщин. Аналіз результатів моделювання показує, що температура на оброблюваної поверхні зростає в міру наближення обробного інструменту по конічній поверхні до меншого діаметру. Саме ця область оброблюваної поверхні конічних виробів найбільше схильна до дефектоутворення на фінішних операціях. Тому при призначенні режимів обробки таких поверхонь, слід їх призначати з умови, що при наближенні обробного інструменту до більш вузької частини конічної поверхні формується температура на ній не повинна перевищувати допустимих значень, що забезпечують необхідну якість.

### Список літератури

1. Якимов А. В., Слободяник П. Т., Усов А. В. Теплофизика механической обработки. Киев-Одесса : Лыбидь, 1991. 240 с.
2. Kunitsyn M. V., Usov A. V. The Possibilities of Increasing the Reliability and Durability of a Cylindrical Group by Technological Methods. Odeskyi Politechnichniy Universytet Pratsi. 2018. T. 1 (54). С. 26-35.
3. Altenbach H., Altenbach J., Kissing W. Mechanics of Composite Structural Elements. Singapore : Springer, 2018.
4. Bader M. G. Handbook of composite reinforcements. International Materials Reviews. 2012. Vol. 39, no. 3. P. 123-124.



## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕТЕРОГЕННОЇ СТРУКТУРИ СПЛАВІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ФІНІШНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В роботі запропоновано моделювання термомеханічних явищ, які формуються у виробках на фінішних операціях і впливають на якість поверхневого шару з урахуванням спадкових неоднорідностей, сформованих на попередніх технологічних операціях, встановлення впливу їх на тріщино- і припікоутворення на основі кількісного аналізу теплового і напруженого стану і з урахуванням гетерогенності матеріалу виробів. Встановлено що, на величину коефіцієнтів інтенсивності напружень для дефектів типу тріщин впливають розміри і орієнтація цих дефектів, глибина їх залягання і взаємне розташування в поверхневому шарі, величина теплового потоку, який діє на оброблювану поверхню. Для будь-яких коефіцієнтів теплопровідності, лінійного температурного розширення і модулів зсуву матриці і включення показано зміни коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) якщо тепловий потік спрямований перпендикулярно тріщині знаходиться у включенні, і навпаки, якщо паралельно тріщині. Розглянуто геометрія і властивості включень, які можуть створювати умови як для гальмування так і для розвитку шліфувальних тріщин. Якщо тепловий потік направлений паралельно більшій осі еліптичних включення і прямолінійною термоізолюваному тріщині, то при температурному коефіцієнті лінійного розширення (ТКЛР) включення більшому ніж матриці, збільшення жорсткості включення призводить до зростання коефіцієнтів інтенсивності напружень для різних відносин коефіцієнтів теплопровідності складових матеріалу. Це призводить до розвитку мікротріщини. І навпаки, якщо ТКЛР включення менше ніж матриці, зменшення жорсткості включення призводить до зниження коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_I$  ( $K_{II} = 0$ ) для тих же відносин коефіцієнтів теплопровідності, тобто є сприятливі умови для нерозповсюдження мікротріщин. Наявність жорсткого включення в разі силового навантаження призводить до збільшення, а в разі теплової до зменшення значення  $K_I$ . При цьому, істотний вплив на характер зміни КІН мають ТКЛР -  $\alpha_t$ . При  $\alpha_t$  включення  $< \alpha_1$  матриці,  $K_I > 0$ , а при  $\alpha_t^{вкл} > \alpha_t^{(M)}$ ,  $K_I < 0$ . У м'якому включенні тріщина почне поширюватися при меншій величині теплового потоку, ніж в жорсткому, тобто міцність виробу з жорстким включенням вище, ніж з м'яким.

### Список використаної літератури

1. Оборский Г. А., Дашенко А. Ф., Усов А. В., Дмитришин Д. В. Моделирование систем : монография. Одесса : Астропринт, 2013. 664 с.
2. Daniel G. Composite Materials: Design and Applications. 3rd edition. Boca Raton : CRC Press, 2014. P. 635.
3. Bader M. G. Handbook of composite reinforcements. International Materials Reviews. 2012. Vol. 39, no. 3. P. 123-124.
4. Wessel J. K. The Handbook of Advanced Materials: Enabling New Designs. Wiley: Wiley-Interscience publication, 2004.
5. Ящерицын П. И., Рыжов Э. В., Аверченков В. И. Технологическая наследственность в машиностроении. Минск : Наука и техника, 1977. С. 256.

## ВИКОРИСТАННЯ СИМПЛЕКС-РЕШІТЧАСТИХ ПЛАНІВ ШЕФФЕ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДІВ Mn-Ni-Zn ФЕРИТІВ

Магнітні композити, що містять нанодисперсні ферити поряд з полімерами, відкривають нову еру багатофункціональних матеріалів, які не тільки поєднують властивості складових, але і набувають певних специфічних властивостей [1].

Властивості феритів дуже чутливі до технології їх одержання, умов спікання, наявності домішок. Mn-Ni-Zn ферити відносяться до класу дуже широко застосовуваних матеріалів, що володіють високою намагніченістю насичення, високим опором, високою температурою Кюрі, високою хімічною стабільністю, низькою коерцитивною силою [2–4]. Вони широко використовуються для виготовлення трансформаторів, мікрохвильових пристроїв, трансформаторних сердечників, частотних антен, матеріалів радіолокаційного поглинання. Композити наночастинок фериту з полімерами можуть бути використані як активні покриття для електромагнітного екранування.

Для оптимізації складів феритів у системі Mn-Zn-Ni в даній роботі було використано метод математичного планування експерименту та побудовано діаграми «склад-властивості» за допомогою симплекс-решітчастих планів Шеффе. На основі виконаного плану експерименту було побудовано поліноміальну модель третього порядку. Було обрано у якості функції відгуку намагніченість насичення, коерцитивну силу, параметр решітки.

Отримані ферити вивчали за допомогою вібраційної магнітометрії, рентгеноструктурного аналізу, ІЧ та ЕПР-спектроскопії. Впливовими факторами було обрано вміст катіонів мангану, цинку та нікелю в фериті складу  $MFe_2O_4$ . Використання даного методу математичного планування дозволило за допомогою невеликого числа дослідів встановити залежність властивостей феритів від їх хімічного складу.

### Висновки

Ефект взаємного впливу вмісту різних катіонів на намагніченість насичення і коерцитивну силу досліджували за допомогою симплекс-решітчастого методу. Побудовано адекватну математичну модель. Дослідження магнітних властивостей за допомогою вібраційного магнітометра показує, що низьке значення намагніченості відповідає складам Ni-Zn феритів та високі значення намагніченості для всієї серії феритів Mn-Ni. Спектри ЕПР показують, що значення резонансне поле і ширина лінії відповідає значенню намагніченості насичення.

1. Shokrollahi, H. E. J. K., Janghorban, K. Soft magnetic composite materials (SMCs). *Journal of Materials Processing Technology*, 2007. Vol.189(1-3), P.1-12.
2. Ranga, R., Kumar, A., Kumari, P., Singh, P., Madaan, V., Kumar, K. Ferrite application as an electrochemical sensor: A review. *Materials Characterization*, 2021. P.111269.
3. Srinivasan, S. Y., Paknikar, K. M., Bodas, D., Gajbhiye, V. Applications of cobalt ferrite nanoparticles in biomedical nanotechnology. *Nanomedicine*, 2018. Vol.13(10), P.1221-1238.
4. Rani, B. J., Ravina, M., Saravanakumar, B., Ravi, G., Ganesh, V., Ravichandran, S., Yuvakkumar R. Ferrimagnetism in cobalt ferrite ( $CoFe_2O_4$ ) nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 2018. Vol.14, P. 84-91.

Н.Н. ХАРИТОНОВ,  
<sup>1</sup> Днепропетровский государственный аграрно – экономический университет  
И.И. КЛИМКИНА  
<sup>2</sup>Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»  
О. В. ТИТАРЕНКО,  
<sup>3</sup> Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАНУ  
Л.Б. АНИСИМОВА  
<sup>4</sup>Институт проблем природопользования и экологии НАНУ

## ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ В ПОЙМЕ РЕКИ САМАРА

Разработка шахтами каменного угля в Западном Донбассе приводит к образованию на поверхности поймы реки Самара просадок (до 3-7 м). При этом ухудшается состояние пойменных лугов и лесов. Полевые опыты, проводимые на землях, нарушенных горными разработками связаны с обоснованием выбора смягчающей технологии с последующим моделированием и прогнозом ее воздействия на окружающую среду. Применение методов математического моделирования для оценки процессов техногенного воздействия на окружающую среду должно базироваться на использовании данных долгосрочного мониторинга. Для описания процессов миграции растворенных веществ в пористых средах разработано несколько числовых и аналитических моделей. К ним относятся как методы конечных разностей, так и числовые модели [1-2]. Основной целью нашего исследования была геопространственная оценка антропогенного воздействия на формирование ландшафтов в пойме реки Самара с последующим моделированием и прогнозом вертикального засоления насыпного слоя почвы. Оценка проективного покрытия земной поверхности возможна благодаря изучению спектральных отражающих особенностей растительного покрова. Мультиспектральные снимки спутниковой системы Landsat были использованы для дистанционного зондирования поймы реки Самара в 2004 -м и 2020 -м годах. Исследования эффективности технологии рекультивации шахтных отвалов были проведены в условиях Павлоградского стационара рекультивации нарушенных земель Днепропетровского государственного аграрно – экономического университета. Исходными данными были результаты определения реакции водной вытяжки (рН) и засоления рекультивированных трехслойного профиля, которые были получены в 2003 - м, 2008 – м, 2016 - м и 2020 -м годах. Данные ГИС картирования экспериментальных делянок позволили определиться с местом отбора проб почвы для оценки вертикальной миграции солей вдоль рекультивированного профиля.

**Выводы.** Сравнение уровней проективного покрытия растительностью пойменной части реки Самара свидетельствует о деградации почвенного покрова за последние 17 лет. Согласно полученным данным прогноза засоления слоев искусственного профиля процесс засоления рекультивированных земель без орошения будет постепенно развиваться. Вместе с тем, необходимо признать, что интенсивность транспирации луговой растительности значительно ниже, чем у сельскохозяйственных культур. Последний тип природопользования в Западном Донбассе связан с меньшим риском развития процессов вертикального засоления почв, учитывая тенденцию перехода к стратегии природного луговодства.

1. Евграшкина Г. П., Харитонов Н.Н. Математические модели вертикального солепереноса на шахтных отвалах для обоснования варианта их рекультивации. *Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету*, 2017.Том.4. С.64–70
2. Bresler E. Transport of Salts in Soils and Subsoils. *Agricultural Water Management*. 1981. Vol.4. P.35-62.

## МОДЕЛІ КОНОЇДІВ ТА МЕТОД ПЕРЕРІЗІВ НА ПРИКЛАДІ БІКВАДРАТИЧНОГО СКІНЧЕННОГО ЕЛЕМЕНТА

Проблема заміни коноїдів з поліноміальними напрямними коноїдами з тригонометричними напрямними цікавить не тільки фахівців з методу скінченних елементів (МСЕ). Це новий підхід до задачі відновлення функцій двох аргументів, який певною мірою руйнує традиції матричної алгебри і алгебраїчних схем Паскаля. Зрозуміло, що інтерполяційна гіпотеза Лагранжа лишається, але в деяких місцях доводиться змінювати термінологію. В центрі нашої уваги квадрат  $Q8$  ( $|x| \leq 1, |y| \leq 1$ ) та інтегральні характеристики його функцій впливу. Щоб позбутися від'ємних значень середньої аплікати “кутової” функції, треба навчитися регулювати середні значення аплікати “проміжної” функції. Фізична неадекватність зникає, коли середнє значення аплікати “проміжної” функції не перевищує 0,25. В стандартних серендипових скінченних елементах (СЕ) ця вимога, як відомо, не виконується.

Склалася думка, що фізичну адекватність серендипових СЕ можна забезпечити лише шляхом відмови від коноїдів. У цій роботі ми покажемо, що відмовлятися від коноїдів не обов'язково. Достатньо замінити поліноміальну напрямну тригонометричною. Дослідження свідчать, що переріз коноїда може суттєво відрізнятись від кінчного перерізу, хоча ілюзія схожості існує.

Робота присвячена дослідженню нових специфічних властивостей коноїдів – лінійчатих поверхонь Каталана (1843), які застосовуються в сучасному МСЕ. Коноїди з'явилися в МСЕ несподівано, коли у 1968 р. Ергатудіс, Айронс і Зенкевич сконструювали підбором перші серендипові скінченні елементи (СЕ): білінійний  $Q4$ , біквдратичний  $Q8$  і бікубічний  $Q12$ . Коноїди застосовуються у якості базисних функцій (функцій впливу) у всіх (без винятку) моделях стандартних серендипових СЕ, незважаючи на неприродні спектри еквівалентних вузлових навантажень (фізична неадекватність). Саме коноїди, які асоціюються з проміжними вузлами інтерполяції, спричинили появу від'ємних навантажень у кутових вузлах СЕ. Найавторитетніший фахівець проф. О. Зінкевич радив змиритися з цим недоліком. Позбутися фізичної неадекватності в кутових вузлах можна, якщо відмовитись від коноїдів в проміжних вузлах. Але такі серендипові СЕ вже належать до альтернативних моделей. Варто зауважити, що коноїди використовують не тільки в МСЕ. Технологічні та естетичні якості коноїдів давно приваблюють архітекторів і будівельників. Потрібно знайти такі коноїди, які забезпечують фізичну адекватність моделей.

Мета дослідження – сконструювати на тригонометричних коноїдах математично обґрунтовані і фізично адекватні моделі  $Q8$ . Звернути увагу на геометричні аспекти фізичної неадекватності спектрів вузлових навантажень стандартних серендипових СЕ. За допомогою перерізів показати стереометричні особливості нових моделей. Когнітивно-графічний аналіз – найкраща інформаційна технологія, особливо у поєднанні з комп'ютерними експериментами.

В результаті дослідження бібліотека серендипових СЕ поповнилася новими моделями із фізично адекватними інтегральними характеристиками. Особливість нових моделей в тому, що в “проміжних” базисних поверхнях (коноїдах) замість “поліноміальних” напрямних вперше задіяні “тригонометричні” напрямні. Це ще один приклад “м'якого” математичного моделювання (за версією акад. В.І. Арнольда).

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МАЙСТРА ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛІВ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ РІЗНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Сучасні технології конструювання та виготовлення машинобудівних деталей передбачають необхідність попередньої побудови їх комп'ютерних моделей. Можливість побудови 3D-моделей забезпечується відповідними прикладними програмами, серед яких Autodesk Inventor (AI) є однією з найбільш ефективних і розповсюджених. Вона дозволяє створювати параметричні моделі деталей, які передбачають саме широке коло можливих змін геометрії. "Майстри проектування" цієї програми по суті є вже готовими параметричними моделями для побудови необхідного валу чи зубчастого колеса, пружини чи кулачка довільної геометрії. Вони містять зручний інтерфейс для створення, розрахунків та подальшого редагування цих широко розповсюджених в машинобудуванні деталей.

В роботі, що пропонується, з'ясовуються можливості та надаються алгоритми застосування "Майстра проектування валів" ("Генератора компонентів валу") програми AI для тривимірного моделювання вже не тільки валів, а й штуцерів, накривок, пробок, значної кількості корпусних деталей, зовнішні контури яких містять ділянки циліндричної, конічної чи правильної багатогранної форми, у випадках, коли ці ділянки розташовані вздовж спільної осі. Саме машинобудівні деталі такої геометрії являються найбільш технологічними у виробництві та найбільш поширеними. Авторами надаються рекомендації з використання запропонованого підходу при моделюванні таких деталей.

Виконано апробацію запропонованого підходу та розроблених алгоритмів шляхом їх застосування при побудові 3D-моделей різних за геометрією деталей (рис. 1).

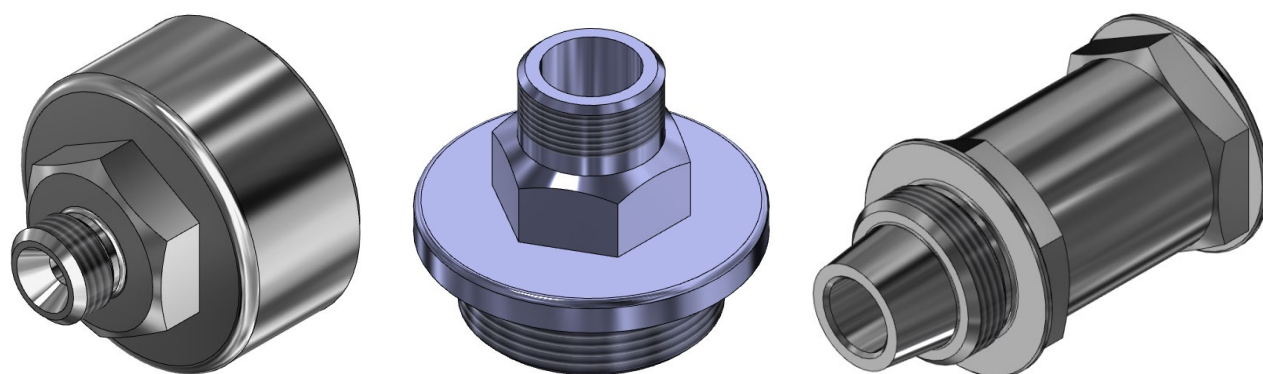


Рис. 1. 3D-моделі накривки, штуцера та корпусної деталі.

Зроблено аналіз та визначено переваги, які надає "Майстер проектування валів" при побудові стандартних конструктивних елементів (фасок, зокрема на багатогранниках, пазів, отворів, зовнішніх проточок та канавок для виходу шліфувального круга) у порівнянні з побудовою цих елементів в середовищі тривимірного моделювання деталей.

**Висновки.** Апробація запропонованих алгоритмів і методів застосування "Майстра проектування валів" виявила їх високу ефективність. Перевірка була виконана на великій кількості різноманітних геометричних моделей типових деталей. Даний підхід дозволяє суттєво зменшити кількість потрібних операцій і витрати часу на побудову та подальше редагування моделей, суттєво спрощує сам процес моделювання. Отримані результати успішно впроваджені в навчальний процес ХНАДУ і можуть бути використані як іншими закладами освіти, так і спеціалістами у промисловості, діяльність яких пов'язана з проектуванням та тривимірним моделюванням.

## РОЗРОБКА ДОДАТКІВ ДО ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR З ВИКОРИСТАННЯМ API

Робота присвячена подальшому розгляду питань автоматизації часто виконуваних операцій при моделюванні деталей та адаптації пакету Autodesk Inventor для спрощення роботи інженера-конструктора шляхом розробки додаткових інструментів для різних середовищ програми, зокрема, «3D-модель» та «Ескіз». Задачі розв'язано завдяки наявності вбудованої системи програмування Inventor – функціональних можливостей програми, що дозволяє використовувати її інструменти через власний код користувача.

Мета роботи полягала в розробці та апробації алгоритмів та їх коду, що розширює можливості базових інструментів комп'ютерного моделювання пакету Inventor для підвищення ефективності праці конструктора та зменшення витрат часу на рутинні операції.

Було розроблено та впроваджено в практику низку засобів, які дозволяють додати нові операції побудови геометричних примітивів, які наразі не передбачені в програмі (але були присутні в інших, наприклад, в пакеті AutoCAD): це побудова спільних дотичних та спряжень кіл, побудова робочих площин або граней тіла під заданим кутом, побудова конічних фасок, відображення моделі в диметричній проекції.

Програмування виконувалось в середовищі Autodesk Inventor з використанням Inventor API та мови Visual Basic. Слід зазначити, що оволодіння можливостями створення власних програмних додатків для адаптації пакету Autodesk Inventor, які вивчаються в рамках дисциплін комп'ютерного проектування, дозволить студентам в подальшому стати кваліфікованими фахівцями, як в конструюванні сучасних вузлів і агрегатів, так і в питаннях адаптації програм до потреб конкретного виробництва. Використання запропонованих додатків організовано за допомогою створених кнопок команд, розміщених на стрічці інструментів. Впровадження цього додатку здійснено в навчальний процес та рекомендовано для виробництва, що дозволить суттєво прискорити та спростити роботу з пакетом.

На рис. 1 наведено приклади нових команд для геометричних побудов.

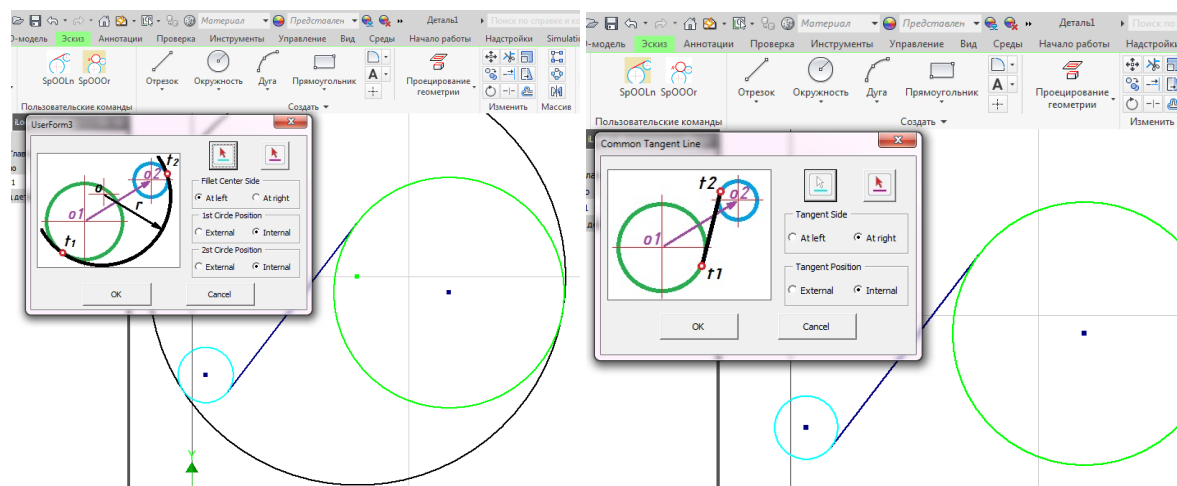


Рис. 1. Приклади додатків у середовищі «Ескіз»

**Висновки.** Запропоновані програмні додатки більш ефективно розв'язують типові задачі, що виникають при розробці цифрових моделей як деталей машинобудування, так і елементів будівельних споруд. Використання мови програмування Visual Basic, інтегрованої до середовища Inventor, дозволило звести процес використання розроблених алгоритмів до виконання однієї команди. Наступні кроки продовжать розробку подібних програмних додатків для середовищ креслеників та інженерного аналізу. Ми пропонуємо зацікавленим особам ставити питання та надсилати свої побажання щодо розв'язку інших рутинних задач, що зустрічаються в їх практиці створення цифрових прототипів.

## **ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КРУГЛОЇ ПЛАСТИНКИ**

Необхідність в дослідженні поведінки інженерних конструкцій виникає в різноманітних галузях таких як будівництво, автомобілебудування, ракетобудування, і ін. Машинне навчання дозволяє отримати моделі для миттєвої (щодо, наприклад, методу скінченних елементів) оцінки параметрів стану об'єкта. Таким чином, розробка методів машинного навчання для прогнозування поведінки інженерних конструкцій є актуальною.

Класичні методи математичного моделювання дозволяють робити прогнози з необхідною точністю, але підготовка математичних моделей і проведення відповідних обчислювальних експериментів можуть бути тривалими за часом. Методи машинного навчання дозволяють адаптувати свою структуру шляхом обробки вибірки даних. Вони дозволяють розширити можливості математичного моделювання за допомогою обліку результатів обчислювальних і натурних експериментів. З практичної точки зору моделі машинного навчання для прогнозування значень параметрів стану конструкції можуть служити інтерактивними асистентами в процесі проектування.

У запропонованій роботі розглянуто прогнозування напружено-деформованого стану затисненої за периметром круглої пластинки з ізотропного матеріалу, яка знаходиться під дією рівномірно розподіленого по поверхні поперечного тиску з використанням машинного навчання. А саме розроблено алгоритм генерації параметрів пластини з певними обмеженнями, також побудовано моделі нейронної мережі для прогнозування максимального прогину круглої пластини та інтенсивності напружень. Нейромережева модель для прогнозування максимального прогину має наступний вигляд: перший шар зовнішній складається з 5 параметрів, що були використані під час генерації даних. Внутрішні шари моделі – 5 штук по 30 нейронів у кожному. Останній шар (також зовнішній) має кількість нейронів, яка дорівнює кількості вихідних значень, тобто 1 нейрон для обчислення прогину. Структура нейронної мережі для прогнозування інтенсивності напружень у круглій пластині має шість вхідних параметрів у зовнішньому шарі: радіус пластини, товщина, модуль пружності матеріалу, коефіцієнт Пуассона, поперечна сила, максимальний прогин. П'ять внутрішніх прихованих шарів по 30 нейронів у кожному, та зовнішній вихідний шар з одним нейроном для прогнозування інтенсивності напружень.

Під час обчислювального експерименту для визначення максимального прогину та інтенсивності напружень круглої пластини було використано у створеній нейромережі різну кількість внутрішніх шарів з різною кількістю нейронів в них. Експеримент показав, що найкращі результати можна отримати використовуючи п'ять внутрішніх шарів з 30 нейронами. У результаті навчання 2000 епох досягнуто найкраще значення середньоквадратичної похибки.

Отже, штучні нейронні мережі дозволяють роботи прогноз одночасно декількох характеристик напружено-деформованого стану конструкції. Водночас похибка відносно скінченно-елементного розв'язку у межах 10%.

Основною перевагою штучної нейронної мережі є швидкість прогнозування: обчислення необхідних характеристик у порівнянні з методом скінченних елементів відбувається майже миттєво (мілісекунди). Можна зробити висновки, що «натреновані» штучні нейронні мережі можуть слугувати як інтерактивні помічники у процесі проектування.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою штучних нейронних мереж, які дозволять прогнозувати напружено-деформований стан за кресленням або зображенням оболонкових конструкцій з використанням машинного зору і алгоритмів класифікації.

## ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ АРХІТЕКТУРИ ГЕТЕРОГЕННОЇ МУЛЬТИКОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ

При розробці архітектури системи розподіленого планування задач необхідно визначитися з типом архітектури системи, моделлю взаємодії, типом зв'язку між вузлами, способом синхронізації, реплікацією та способами забезпечення узгодженості даних [1]. При цьому потрібно мати на увазі, що операції в системі повинні бути атомарними і сама система повинна бути відмовостійкою. Для побудови такої системи необхідно вирішити наступні задачі:

1. З урахуванням призначення системи визначитися з типом архітектури розроблюваної системи.
2. Вибрати ефективну модель взаємодії в системі.
3. Визначитися з типом зв'язку між вузлами в розроблюваній системі.
4. Забезпечити певний погоджений рівень відмовостійкості за рахунок реплікації даних та алгоритмів вибору лідера.
5. Протестувати розроблену систему і її здатність до масштабування.

### Основна частина

Проаналізовано різні моделі взаємодії в розподілених системах. Зважаючи на результати аналізу, модель Message Oriented Middleware (MOM) є найбільш оптимальним варіантом для розподілених систем планування сервісних задач, оскільки асинхронна взаємодія, гарантована доставка повідомлень і гнучка маршрутизація дозволяють провести налаштування системи таким чином, щоб забезпечити відмовостійкість та зменшити затримки [2].

Оскільки брокер є центральним елементом при застосуванні моделі взаємодії MOM, було проаналізовано роботу різних брокерів для визначення найбільш надійного брокера для систем планування сервісних задач. Найбільш стабільним варіантом є застосування брокера RabbitMQ, який є повноцінним самостійним елементом системи, що забезпечує надійну доставку повідомлень і гнучку маршрутизацію [3-5].

Оскільки розроблена система призначена для запуску і планування сервісних задач з різним рівнем споживання ресурсів, акцент в розробці даної системи в тому, щоб ефективно розподілити задачі між вузлами. Задачі розподілятимуться відповідно до зайнятості вузлів.

Було проаналізовано роботу Paxos і Raft, які є повноцінними системами, спрямованими на забезпечення узгодженості даних в кластерах і потребують значних ресурсів при розгортанні [6-7]. В результаті запропоновано використовувати модель Failover, яка потребує мінімум ресурсів і є більш простою у використанні [8].

Виділено наступні характеристики архітектури розробленої системи:

- Гетерогенна розподілена система.
- Використання моделі Failover.
- Використання статичної конфігурації для розподілу задач.
- Побудова транспортної системи на основі обміну повідомленнями (MOM) з використанням брокера RabbitMQ.
- Вибір лідера здійснюється за допомогою алгоритму Redlock, що побудований на основі Redis (в перспективі планується використовувати алгоритм консенсусу Raft).
- Дані, отримані під час обробки задач, зберігаються в базі даних Postgres.
- Майстер запускає тільки ті задачі, які були отримані в повідомленні від вузлів. Сторонні користувачі не можуть відправити фальшиві повідомлення для підривання



роботи системи, оскільки необхідно знати користувача і пароль для встановлення зв'язку з транспортною системою.

В ході експерименту виявлено, що в результаті збільшення кількості конкурентних задач на одному вузлі, витрачається більше часу на запуск кожної наступної goroutine. Goroutine – це приклад використання спрощеного паралелізму [9].

### Висновки

Було визначено набір ключових характеристик для розробленої архітектури. Було проведено експеримент з розробленою системою для визначення можливості розширення розподіленої системи в сторону збільшення кількості виконуваних задач. Відповідно до результатів експерименту було виявлено, що відбувається незначне збільшення часу виконання задач. Їх виконання можна ще більш оптимізувати за рахунок використання пулу goroutine.

### Література:

1. Стеен М., Таненбаум Е. Распределенные системы. Принципы и парадигмы: навч. посіб. Санкт Петербург: Пітер, 2003. 877 с.
2. Curry E. Message-Oriented Middleware. *Middleware for Communications*. 2005. С. 1-28. URL: [https://www.researchgate.net/publication/220035284\\_Message-Oriented\\_Middleware](https://www.researchgate.net/publication/220035284_Message-Oriented_Middleware).
3. Vineet J, Xia Liu. A Survey of Distributed Message Broker Queues. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/315764651\\_A\\_Survey\\_of\\_Distributed\\_Message\\_Broker\\_Queues](https://www.researchgate.net/publication/315764651_A_Survey_of_Distributed_Message_Broker_Queues).
4. Guo Fu., Yanfeng Zhang, Ge Yu. A Fair Comparison of Message Queuing Systems. 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9303425>.
5. RabbitMQ Tutorials. URL: <https://www.rabbitmq.com/getstarted.html>.
6. Lamport L. Paxos Made Simple. 2001. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2016/12/paxos-simple-Copy.pdf>.
7. Ongaro D. Consensus: bridging theory and practice : дис. докт. / Stanford University. 2014.
8. Kleppmann M. How to do distributed locking. URL: <https://martin.kleppmann.com/2016/02/08/how-to-do-distributed-locking.html>.
9. Golang. Frequently Asked Questions. URL: <https://golang.org/doc/faq>

## **СБОР И АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ**

### **Проблематика**

В основе организации любого процесса перевозки лежит задача планирования, которая в свою очередь решается посредством прогнозирования спроса на перевозку. В классическом случае прогнозирование в транспортных системах основывается на исторических данных за предыдущие периоды работы системы, собранных с большими погрешностями и допущениями в основном из-за человеческого фактора. В предлагаемой работе описывается концептуальная модель городской пассажирской информационно-транспортной системы (ИТС) и уделяется особое внимание описанию процесса сбора заявок на перевозку как основе принятия адекватных решений по организации перевозочных процессов на основе интеллектуальных алгоритмов. Описана практическая реализация системы сбора заявок и системы анализ данных ИТС, строящаяся на использовании современных систем управления базами данных временных рядов, которая подтверждает реализуемость предложенных теоретических выкладок.

### **Цель работы**

Целью данной работы является описание концептуальной модели информационно – транспортной системы на базе беспилотных транспортных средств и практической (программной) реализации ее информационной компоненты. В работе уделяется особое внимание принципам накопления и анализа данных, поступивших в ИТС для составления плана перевозки.

### **Объект исследования**

Процесс сбора и анализа данных для организации перевозочного процесса в городской пассажирской информационно-транспортной системе на базе беспилотных транспортных средств.

### **Использованные методики**

Сбор и хранение данных о заявках пассажиров в виде дискретного временного ряда с помощью системы управления базами данных временных рядов. Получение данных об интенсивности пассажиропотока на каждый часовой интервал суток через агрегирование исторических сведений о заявках пассажиров.

### **Научная новизна**

Изложены принципы накопления исторических данных о корреспонденциях пассажиров в виде дискретного временного ряда и использование его в задачах планирования и прогнозирования информационно – транспортной системы на базе беспилотных электрокаров.

### **Полученные научные результаты и выводы**

В результате тестирования предложенные подходы показали свою уместность для сбора и анализа данных о корреспонденциях пассажиров и интенсивности пассажиропотока в информационно-транспортной системе на базе беспилотных электрокаров.

Предложенные в работе подходы для сбора и анализа данных в ИТС позволяют получать с высокой точностью значения интенсивности пассажиропотока в заданный интервал суток и использовать полученную информацию для организации перевозочного процесса.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОГО КІЛЬЦЕВОГО ШТАМПА ТА ПРУЖНОГО ПІВПРОСТОРУ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ

Дослідження та математичне моделювання процесів контактної взаємодії пружних тіл із врахуванням початкових (залишкових) напружень є частиною великої за обсягом та актуальної області механіки суцільних середовищ, що безперервно розвивається. Підтримкою цього слугує виступ академіка НАН України Л. Лобанова із доповіддю «Про виконання цільової програми наукових досліджень НАН України «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд»» [1] від 09.12.2020 р.

Оскільки математичне моделювання фізичних та механічних процесів має достатньо вагомий вплив і дозволяє оптимізувати розрахунок витрат матеріалів, їх економічну вартість, покращити експлуатаційні характеристики конструкцій та деталей машин, що додатково підкреслює важливість проведення досліджень з механіки твердого деформованого тіла.

Тому дане дослідження присвячене проблемі контактної взаємодії пружного кільцевого штампа на пружний півпростір з початковими (залишковими) напруженнями (без врахування сил тертя), які мають суттєвий вплив на контактні характеристики процесу.

Мета дослідження – представити математичну модель, граничні умови та результати числового розв'язку задачі про контактну взаємодію пружного кільцевого штампа та пружного півпростору з початковими напруженнями в межах лінеаризованої теорії пружності без врахування сил тертя. Дослідження виконати у загальному вигляді для стислих і нестисливих тіл для теорії великих початкових деформацій і двох варіантів теорії малих початкових деформацій при довільній структурі пружного потенціалу. Аналітичні результати представити для випадку рівних коренів визначального рівняння, а числові – для потенціалу Бартенева-Хазановича. Зробити висновки про вплив початкових напружень на контактну взаємодію пружного кільцевого штампа та пружного півпростору з початковими напруженнями.

Проведене дослідження складається із постановки проблеми, граничних умов та аналітичного і числового розв'язку. В роботі представлено розв'язок для кільцевого пружного штампа, що враховує вплив початкових напружень. Задача зводиться до розв'язку потрібних інтегральних рівнянь, які зводимо до одного, використовуючи розривний інтеграл. Задачу розв'язано у випадку рівних коренів визначального рівняння. Дослідження представлено в загальному вигляді для теорії великих початкових деформацій і двох варіантів теорії малих початкових деформацій у рамках лінеаризованої теорії пружності при довільній структурі пружного потенціалу. Робиться припущення, що початкові стани пружного кільцевого штампа та пружного півпростору однорідні й рівні. Дослідження проводиться в координатах початкового деформованого стану, які пов'язані з лагранжевими координатами (природного стану). Крім того, вплив кільцевого штампа викликає невеликі збурення відповідних величин основного напружено-деформованого стану.

Числова реалізація методу представлена у вигляді графіків для потенціалу Бартенева-Хазановича. Алгоритм розв'язку поставленої задачі реалізовано у Maple.

**Висновки.** Отже, враховуючи проведене математичне моделювання та дослідження процесу контактної взаємодії пружного кільцевого штампа на півпростір з початковими напруженнями, був виявлений достатньо суттєвий вплив початкових напружень на контактні характеристики розподілу зусиль. Тому, отримані результати можуть бути використані для регулювання контактних характеристик при розрахунках конструкцій на міцність, що безпосередньо впливатиме на їх економічну складову.

1. Національна академія наук України : Повідомлення НАН України. URL: <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7263>.

**Збірка тез**

**XXII МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**МКММ-2021**

Відповідальний за випуск Хомченко А.Н.  
Технічний редактор, комп'ютерна верстка Омельчук А.А.

Херсонський національний технічний університет  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
73000, м. Херсон, Бериславське шосе, 24