

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ ЮВІЛЕЙНОЇ XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ,



Херсон – 2019

**МАТЕРІАЛИ XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ З МАТЕМАТИЧНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ**

**МАТЕРИАЛЫ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО  
МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ**

**MATERIALS OF 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF MATHEMATICAL  
MODELLING**

Збірка матеріалів конференції

**16-20 вересня 2019 року  
Херсон, Україна**

**16-20 сентября 2019 года  
Херсон, Україна**

**September 16-20, 2019  
Kherson, Ukraine**

## **Організатори конференції**

Херсонський національний технічний університет  
Українська асоціація з прикладної геометрії  
Чорноморський національний університет ім. П. Могили (м. Миколаїв)  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Institute of Nuclear Chemistry and Technology (Warsaw)  
Брестський державний технічний університет (м. Брест)  
Херсонська державна морська академія

## **Організаційний комітет:**

**Голова** Бардачов Ю.М. – д.т.н., професор, зав. кафедри ВМ і ММ, ректор ХНТУ;  
**Заступники** Астіоненко І.О. – к.ф.-м.н., доцент кафедри ВМ і ММ ХНТУ;  
**голови** Литвиненко О.І. – к.т.н., доцент кафедри ВМ і ММ ХНТУ.

## **Програмний комітет**

**Голова:** Хомченко А.Н. – д.ф.-м.н., професор, зав. кафедри П і ВМ ЧНУ ім. П. Могили;  
**Заступники** Тулученко Г.Я. – д.т.н., професор кафедри ВМ і ММ ХНТУ;  
**голови:** Рудакова Г.В. – д.т.н., професор, зав. кафедри ТК ХНТУ.

## **Члени комітету:**

Абрамов Г.С. к.ф.-м.н. (Україна);	Найдиш А.В. д.т.н. (Україна);
Андрейцев А.Ю. к.ф.-м.н. (Україна);	Несвідомін В.М., д.т.н. (Україна);
Babichev S.A. PhD (Czech Republic);	Parkes E.J. PhD (UK);
Бень А.П. к.т.н. (Україна);	Петрик М.Р. д.ф.-м.н. (Україна);
Ванін В.В. д.т.н. (Україна);	Пилипака С.Ф. д.т.н. (Україна);
Вахненко В.О. д.ф.-м.н. (Україна);	Підгорний О.Л. д.т.н. (Україна);
Вирченко Ю.П. д.ф.-м.н. (Россія);	Плоский В.О. д.т.н. (Україна);
Гвоздева І.М. д.т.н. (Україна);	Поливода О.В. к.т.н. (Україна);
Гнатушенко В.В. д.т.н. (Україна);	Пугачов Є.В. д.т.н. (Україна);
Guchek P., Dr.Sc. (Poland);	Редчиць Д.О. к.ф.-м.н. (Україна);
Жолткевич Г.М. д.т.н. (Україна);	Рожков С.О. д.т.н. (Україна);
Комяк В.М. д.т.н. (Україна);	Розов Ю.Г. д.т.н. (Україна);
Корчинський В.М. д.т.н. (Україна);	Савіна Г.Г. д.е.н. (Україна);
Куценко Л.М. д.т.н. (Україна);	Самохвалов С.Є. д.т.н. (Україна);
Лазурик В.Т. д.ф.-м.н. (Україна);	Smolarz A. Prof. dr hab. inż. (Poland);
Лебеденко Ю.О. к.т.н. (Україна);	Свешников В.М. д.ф.-м.н. (Россія);
Литвиненко В.І. д.т.н. (Україна);	Смирнов І.В. д.т.н. (Україна);
Ляшенко В.П. д.т.н. (Україна);	Стрельнікова О.О. д.т.н. (Україна);
Мазманішвілі О.С. д.ф.-м.н. (Україна);	Тарасов С.В. к.т.н. (Україна);
Марасанов В.В. д.т.н., (Україна);	Хачапуридзе М.М. к.т.н. (Україна);
Мельник І.В. д.т.н. (Україна);	Човнюк Ю.В. к.т.н. (Україна);
Миргород В.Ф. д.т.н. (Україна);	Шоман О.В. д.т.н. (Україна);
Михайленко В.Є. д.т.н. (Україна);	Шуть В.Н. к.т.н. (Білорусь);
Михальов О.І. д.т.н. (Україна);	Wojcik W. Prof. dr hab. inż. (Poland);
Мусій Р.С. д.ф.-м.н. (Україна);	Zimek Z. PhD (Poland).

У збірнику представлено матеріали ХХ міжнародної конференції з математичного моделювання МКММ-2019, яка відбулася з 16 по 20 вересня 2019 року в ХНТУ і була присвячена актуальним питанням математичного моделювання, прикладної геометрії та інформаційних технологій.

ХХ Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2019) [Збірка тез (16-20 вересня 2019 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2019. – 118 с.

## ЗМІСТ

1	<b>А.В. АМУРОВ, Ю.В. БРАЗАЛУК, О.І. ГУБІН, Д.В. ЄВДОКИМОВ</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛАГРАНЖЕВИХ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОМЕХАНІКИ	16
2	<b>А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ, Ю.Э. ВЯЛА, А.В. ГЕЙЛИК, О.В. ЛЯШКО</b> <b>И.В. СМІРНОВ</b> ДОПОЛНЕНИЕ К АЛГОРИТМУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ	17
3	<b>Е.А. АРШАВА, А.П. ХАРЧЕНКО, Е.В. БАБАЕВА</b> СТАТИСТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ВЛАСОВА-ЭЙЛЕРА	18
4	<b>Л.Г. АХМЕТШИНА, А.А. ЕГОРОВ</b> ОРТОГОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ	19
5	<b>І.В. БАКЛАН, О.К. ОЧЕРЕТЯНИЙ, Я.І. БАКЛАН</b> КУБ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕОРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ	20
6	<b>М. Г. БЕРДНИК</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОД РІШЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗМІШАНОЇ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ ОДНОПОРОЖНИННОГО ГІПЕРБОЛОЇДА ОБЕРТАННЯ	21
7	<b>С.Г. БЛАЖЕВСЬКИЙ</b> ДИНАМІЧНЕ ПОЛЕ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ДВОШАРОВОМУ СИМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРІ	22
8	<b>А.С. БОГАЦЬКА, Д.В. ВОРОНЦОВА, А.О. ДАШКЕВИЧ</b> ВІРТУАЛЬНА РЕКОНСТРУКЦІЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ	23

9	<b>Ю.В. БРАЗЛУК, О.І. ГУБІН, Є.О. ДІДІНСЬКА, Д.В. ЄВДОКИМОВ</b> РОЗРАХУНОК ОДНОГО РІЗНОВИДУ ТЕЧІЇ ПУАЗЕЙЛЯ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ	24
10	<b>А.Ю. БРАЙЛОВ, В.И. ПАНЧЕНКО</b> АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕДОСТУПНОЙ ТОЧКИ	25
11	<b>О.О. БРОВАРЕЦЬ</b> ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ	28
12	<b>В.В. ВАНІН, Г.А. ВІРЧЕНКО, А.Й. НЕЗЕНКО</b> ДЕЯКІ ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ КРИЛА ЛІТАКА ПРОТЯГОМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ	31
13	<b>О.М. ВАСИЛЬЄВ, І.В. ВАСИЛЬЄВА</b> ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У ЛІНГВІСТИЦІ	32
14	<b>Д.Б. ВЕНГРОВИЧ, І.В. БЄЛІНСЬКИЙ, В.А. ЛЕМЕШКО, І.М. ГУБАР</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ВІДОКРЕМЛЕНОЇ ХВИЛІ ЧЕРЕЗ ГРАНІТНУ ПЕРЕШКОДУ	33
15	<b>Т.Г. ВОЙТИК, Г.С. ПОЛЕТАЕВ, С.А. ЯЦЕНКО</b> СПЕЦИАЛЬНЫЕ * ( ) – РЕШЕНИЯ РОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧЕ РИМАНА- ГИЛЬБЕРТА-ПРИВАЛОВА УРАВНЕНИЙ С ВЗАИМНО ОБРАТНЫМИ РАЦИОНАЛЬНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ	34
16	<b>С.В. ВОРОНЕНКО, І.М. ЩЕНКО, Г.В. РУДАКОВА, Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУДНОВОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТУРБОКОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ	35

17	<b>О.В. ВОРОНЦОВ, О.В. ВОРОНЦОВА, Л.О. ТУЛУПОВА</b> ДИСКРЕТНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСУ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ ЗАДАНИХ КООРДИНАТ ВУЗЛОВИХ ТОЧОК ОПОРНОГО КОНТУРУ	36
18	<b>О.Н. РОМАНЮК, С.В. ПАВЛОВ, С.О. РОМАНЮК, О.В. РОМАНЮК</b> ВИКОРИСТАННЯ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГЕНЕТИЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ	37
19	<b>И.М. ГВОЗДЕВА, М.А. ЯКИМЕНКО, В.В. ДЕМИРОВ, В.Ф. МИРГОРОД, Е.В.ДЕРЕНГ</b> ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОСТРАНСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ	38
20	<b>В.В. ГНАТУШЕНКО, В.В. ЖЕРНОВИЙ</b> ПІДГОТОВКА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ З СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ ОБРОБКИ МЕРЕЖЕЮ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ	39
21	<b>В.І. ГНІТЬКО, Л.В. РОЗОВА, А.Ю. ГАРМАШ</b> АНАЛІЗ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З ПЕРЕГОРОДКАМИ ЗА РІЗНІ УМОВИ ЗАКРІПЛЕННЯ	40
22	<b>В.В. ГРИЦИК</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННІ В ПРИКЛАДНІЙ ЗАДАЧІ	41
23	<b>О.М. ГУМЕН, О.О. ЛЕБЕДЄВА</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОЛЯ ПРОМЕНЕВОГО ОБІГРІВУ	42
24	<b>П.Й. ГУЧЕК, О.М. ДУДЧЕНКО</b> ОДИН З ПІДХОДІВ АНАЛІЗУ ЧАСУ ПОЛЬОТУ ФОТОНІВ З МЕТОЮ УСУНЕННЯ ВПЛИВУ НЕДОСКОНАЛОСТІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ	43

25	<b>О.П. ДЕМ'ЯНЧЕНКО, В.П. ЛЯШЕНКО</b> ТЕПЛОВА УМОВА СПРЯЖЕННЯ У ДВОШАРОВІЙ ОБЛАСТІ	44
26	<b>Г.О. ДИМОВА, В.С. ДИМОВ</b> МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТОРА ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАНКЕЛЕВИХ МАТРИЦЬ	45
27	<b>Д.О. ДМИТРІСВ, Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, Д.Д. ФЕДОРЧУК</b> ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТВОЛІВ ДЛЯ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ	46
28	<b>О.В. ДОБАРІНА, К.В. БЕГЛОВ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ПРИ ЗМІНЕННІ ПРОГРАМИ РЕГУЛЮВАННЯ	47
29	<b>Н.Л. ДОРОШ, Л.М. ПЕТРЕЧУК, Т.М. ФЕНЕНКО</b> РОЗРОБКА І ЗАСТОСУВАННЯ НАДБУДОВИ EXCEL ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ	48
30	<b>В.И. ДУБИНКО, А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Д.В. ЛАПТЕВ</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУННЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТИЦЫ В ДВУХЪЯМНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ	49
31	<b>В.І. ДУБРОВІН, О.І. ЮСЬКІВ</b> КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	50
32	<b>С.В. ЄМЕЛЬЯНОВ, Л.С. ФОНАР, М.О. БАРАБАНОВ</b> СИНХРОННО-ГРЕБІНЧАСТІЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛАХ РОТОРНИХ МАШИН	51
33	<b>Н.М. ЗАЩЕПКІНА, В.В. ТАРАНОВ, О.А. НАКОНЕЧНИЙ</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ РОЗМІРНИХ СПЕКТРІВ ВОСКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВІНТЕРИЗАЦІЇ	52

34	<b>Т.С. КАГАДІЙ, О.В. БІЛОВА, І.В. ЩЕРБИНА</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ	54
35	<b>А.О. КАРПІК, Ю.С. ВОРОБІЙОВ</b> АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ ЛОПАТКИ КОМПРЕСОРА ПІД ДІЄЮ ПОВЕРХНЕВОГО РОЗПОДІЛЕНОГО ТИСКУ НА ОСНОВІ ГАЗОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ	55
36	<b>П.В. КАШТАЛЬЯН</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕСА УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С ХОДОВОГО МОСТИКА	56
37	<b>М.І. КЛИМЕНКО, С.І. ГОМЕНЮК, С.М. ГРЕБЕНЮК</b> ГОМОГЕНІЗАЦІЯ В'ЯЗКОПРУЖНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТУ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ ЗСУВІ	57
38	<b>В.М. КОМЯК, О.М. ДАНІЛІН, В.В. КОМЯК, С.С. ГОВАЛЕНКОВ, К.Т. КЯЗІМОВ</b> ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ПРИКЛАДИ ЗАДАЧІ РОЗБИТТЯ ОБЛАСТІ НА ПІДОБЛАСТІ ЗА ВИЗНАЧЕНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ	58
39	<b>Є.А. КОРОТКА</b> ЕВРИСТИЧНІ АЛГОРИТМИ В ЗАДАЧАХ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	59
40	<b>В.М. КОРЧИНСЬКИЙ</b> ГРАНИЧНІ ФОРМИ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ, ЗАДАНИХ НА МНОЖИНІ РЕАЛІЗАЦІЙ	60
41	<b>М.Д. КОШОВИЙ, І.І. КОШОВА, О.М. КОСТЕНКО</b> ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	61



42	<b>Д.Г. КРУГЛИЙ, Е.С. АППАЗОВ, О.М. БЕЗБАХ</b> ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ РІЧКОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ ХМТП	62
43	<b>Д.В. КРЮТЧЕНКО, В.І. ГНИТЬКО, Ю.С. ШУВАЛОВА</b> ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ	63
44	<b>Р.И. КУДЕЛЬКИН, В.С. ЛУКОВЦЕВ</b> РАСЧЕТ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ МОЩНЫХ КЛЮЧЕЙ НА МДП- ТРАНЗИСТОРАХ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ	64
45	<b>Л.В. КУЗЬМИЧ, Н.В. ВАЛЬКО</b> ІНТЕРПРЕТАЦІЯ, МОДЕЛЬ, МЕТОДИ ДОВЕДЕНЬ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ – ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕМАТИКИ	65
46	<b>Ф.Ю. КІЙКО, М.В. МАТЮШЕНКО</b> РЕТОПОЛОГІЯ ВИСОКОПОЛІГОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У МОБІЛЬНИХ ІГРАХ	66
47	<b>О.М. ЛЕНЮК, О.М. НІКІТІНА, М.І. ШИНКАРИК</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІКИ МЕТОДОМ ГІБРИДНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ БЕССЕЛЯ-ЕЙЛЕРА НА ПОЛЯРНІЙ ОСІ	67
48	<b>Ю.І. ПЕРШИНА, І.В. ЦАРЬОВ</b> РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЗАДАЧІ КОМП'ЮТЕРНОЇХ ТОМОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕВЕЛИКОЇ КІЛЬКОСТІ ТОМОГРАМ	68
49	<b>А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Н.Г. РЕШЕТНЯК</b> ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ВЫХОДЕ МАГНЕТРОННОЙ ПУШКИ В ГРАДИЕНТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ	69

50	<b>А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, А.Ю. СИДОРЕНКО</b> ПРИМЕНЕНИЕ РЕВЕРСНЫХ ФУНКЦИЙ В ЗАДАЧЕ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНОГО ФУНКЦИОНАЛА-СВЕРТКИ ОТ НОРМАЛЬНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА	70
51	<b>А.М. МАЦУЙ, В.О. КОНДРАТЕЦЬ, А.А. АБАШИНА</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КУЛЬОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ МЛИНІВ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ВИХІДНОЇ РУДИ НА ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИКАХ	71
52	<b>О.У. МАСНУЛЯНСЬКИЙ, В.В. ВАВУСН, У.О. МАСНУЛЯНСЬКИЙ</b> APPROXIMATION MODELS OF FUNCTIONAL SYSTEMS WITH NANOCOMPOSITE COMPONENTS	72
53	<b>И.В. МЕЛЬНИК, А.В. ПОЧИНОК</b> ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ГРАНИЧНОЙ ТРАЕКТОРИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПРИФОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЛИНЕЙНЫМИ И КВАДРАТИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРИФМЕТИКО-ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ	73
54	<b>Р.С. МУСІЙ, Н.Б. МЕЛЬНИК, Х.Т. ДРОГОМИРЕЦЬКА, Б.Й. БАНДИРСЬКИЙ, Л.В. ГОШКО</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО ПЛАСТИНЧАСТОГО ЕЛЕМЕНТА ЗА ОДНОРІДНОЇ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ	74
55	<b>О.А. NAZARENKO, А.А. STEKHUN</b> BEHAVIOR OF A HARD SPHERICAL SEGMENT IN ELASTIC MEDIUM UNDER THE EFFECT OF TORSION WAVE	75
56	<b>А.Ю. НИЦЫН</b> РАЗВЁРТКА СФЕРЫ КАК МОДЕЛИ СНЕЖНОЙ ХИЖИНЫ «ИГЛУ»	76

57	<b>О.А. НІКІТЕНКО, Г.В. КОВАЛЬОВА, О.О. КАЛІНІН, Т.О. КАЛІНІНА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЛІНІЙ НА ЦИКЛІЧНІЙ ГВИНТОВІЙ ПОВЕРХНІ	78
58	<b>С.І. ОСАДЧИЙ, І.А.БЕРЕЗІЮК, Д.М. ЛУЖКОВ</b> ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІКИ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ ЯК ОБ'ЄКТА СТАБІЛІЗАЦІЇ	79
59	<b>Е.В. ОШАРОВСКАЯ, И.В. ОШАРОВСКИЙ, Н.П. ГУРЧЕНКО</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПЛОТНЫХ УПАКОВОК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	80
60	<b>С.Ф. ПИЛИПАКА, І.Ю. ГРИЩЕНКО, В.М. БАБКА, Т.А. КРЕСАН, Т.П. ФЕДОРИНА</b> РУХ ЧАСТИНКИ ПО КРИВІЙ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА ПІД ДІЄЮ СИЛИ ВЛАСНОЇ ВАГИ	81
61	<b>V.V. POLYVODA, O.V. POLYVODA</b> AUTOMATED SYSTEM OF ACADEMIC PROCESS MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	82
62	<b>О.В. ПОЛИВОДА, А.В. РУДАКОВА, И.Ю. КОНДРАТЬЕВА</b> АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ	83
63	<b>В.А. ПОЛЯКОВ, Н.М. ХАЧАПУРИДЗЕ</b> МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА: РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	84
64	<b>Д.О. ПРОТЕКТОР, Д.А. ЛИСИН, О.Ю. ЛИСИНА</b> ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПО БЕССЕТОЧНОЙ СХЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ОБЩИХ РЕШЕНИЙ	85

65	<b>О.В. РЕУТА, Х. ХАБРАМАН, А.О. ЯКУНІН</b> ПОБУДОВА СКЛАДЕНИХ ВОКСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЙ НАД НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ	86
66	<b>О.О. РОМАНОВ, О.В. ЦАРУК, О.О. БРОВАРЕЦЬ</b> ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ «ФЛОРАТЕСТ» ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	87
67	<b>О.О. РОМАНОВ, І.С. ЧУРИЛОВИЧ, О.О. БРОВАРЕЦЬ</b> ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИОКРЕМЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗОН НЕОДНОРІДНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ	89
68	<b>Д.М. СВИНАРЕНКО</b> ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ АНАЛІЗУ БАГАТОВИМІРНИХ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЙ	90
69	<b>Н.В. СМЕТАНКІНА, С.В. УГРІМОВ</b> АНАЛІЗ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВОГО ОСКЛІННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	91
70	<b>С.Я. КРАВЦІВ, О.М. СОБОЛЬ</b> ОБМЕЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИДУ В ЗАДАЧАХ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ЗАДАНИХ ОБЛАСТЕЙ	92
71	<b>Н.О. СОКОЛОВА, А.С. БЄЛОВ</b> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ	93
72	<b>А.В. СОХАЦЬКИЙ, М.С. АРСЕНЮК</b> ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ MAGLEV	94

73	<b>Е.В. СТЕГАНЦЕВ, М.А. ГРЕЧНЕВА</b> ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КРИВИЗНОЙ И КРУЧЕНИЕМ СФЕРИЧЕСКОЙ И КОНИЧЕСКОЙ КРИВЫХ	95
74	<b>Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА, Д.В. КРЮТЧЕНКО, Ю.В. НАУМЕНКО, О.А. УСАТОВА</b> АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ЖЕСТКИХ РЕЗЕРАУАРАХ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ	96
75	<b>А.М. СІНЧУК</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИТІСНЕННЯ НАФТИ ТЕПЛОНОСІЄМ З УРАХУВАННЯМ КАПЛЯРНОГО ЕФЕКТУ	97
76	<b>С.В. ТАРАСОВ, Д.А. РЕДЧИЦ, А.С. ТАРАСОВ, С.В. МОЙСЕЕНКО</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА	98
77	<b>Н.К. ТИМОФІЄВА</b> КОМБІНАТОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ	99
78	<b>Р.В. ТРЕМБОВЕЦЬКА, В.Я. ГАЛЬЧЕНКО, В.В. ТИЧКОВ</b> СУРОГАТНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НЕСПІВВІСНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІЗ РІВНОМІРНОЮ ЧУТЛИВІСТЮ	100
79	<b>Р.Р. ТРОКНІМСНУСК</b> TO QUESTIONS OF CREATION UNIVERSAL AUTOMATON THEORY AND EFFECTIVE CALCULATIONS	101
80	<b>Г.Я. ТУЛУЧЕНКО, Г.Є. МАКСИМУК</b> МЕТОД ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ У ЗАДАЧАХ ІЗ КОМБІНОВАНИМИ ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ	102

81	<b>А.В. УСОВ, М.В. КУНЦИН</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ	104
82	<b>А.В. УСОВ, Ю.С. СІКІРАШ</b> МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ОБ'ЄКТАХ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ	105
83	<b>V.Ye. KHODAKOV, G.V. VESELOVSKAYA, A.Ye. SOKOLOV, Ye.S. BORISENKO</b> PERFECTION OF MODELS FOR COMPUTERIZED INFORMATION SUPPORT OF INDEPENDENT STUDY IN 3D PRINTING SYSTEMS, AND TECHNOLOGIES	106
84	<b>А.Н. ХОМЧЕНКО, О.І. ЛИТВИНЕНКО, І.О. АСТІОНЕНКО</b> ЗАСТОСУВАННЯ ЙМОВІРНІСНИХ МОДЕЛЕЙ В АНАЛІТИЧНІЙ ГЕОМЕТРІЇ	107
85	<b>А.М.ХОШАБА</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЦЕНОК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	108
86	<b>М.О. ЦАРЕНКО, Г.М. ТОЛПЕКІНА</b> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІРТУАЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО КЛАСУ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ	109
87	<b>О.В. ЧОПОРОВА, С.В. ЧОПОРОВ, А.О. ЛІСНЯК</b> ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛАСТИНКИ	110

88	<b>Г.Г. ШВАЧИЧ, Б.І. МОРОЗ, І.М. УДОВИК , С.Д. ПРИХОДЧЕНКО</b> ПРО ПРОБЛЕМУ УПОВІЛЬНЕННЯ ОЧИСЛЕНЬ В БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	111
89	<b>Г.Г. ШВАЧИЧ, И.А. ПОБОЧИЙ, Е.В. ИВАЩЕНКО, Л.Ф. СУШКО</b> О КОНЦЕПЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ВРЕМЕНЕМ	112
90	<b>Д.Г. ШОВГЕЛЯ, Н.О. СОКОЛОВА</b> РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМА ВІЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ТРИВИМІРНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЯХ	113
91	<b>А.Г. ШПОРТА, Т.С. КАГАДІЙ</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ЕЛЕКТРОПРУЖНОСТІ	114
92	<b>Е.В. ШВЕЦОВА, В.Н. ШУТЬ</b> АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК НА ГОРОДСКИХ ЛИНИЯХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ	115
93	<b>Н.О. ЯРЕЦЬКА</b> ПРОСТОРОВА КОНТАКТНА ЗАДАЧА ПРО ТИСК ПРУЖНОГО КІЛЬЦЕВОГО ШТАМПА З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ НА ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИЙ ПІВПРОСТІР	116
94	<b>В.Є. ХОДАКОВ, А.Є. СОКОЛОВ, Г.В. ВЕСЕЛОВСЬКА</b> СУЧАСНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ МОТИВАЦІЇ З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ	117

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛАГРАНЖЕВИХ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОМЕХАНІКИ

Останнім часом в обчислювальній гідромеханіці все більшою популярністю користуються так звані лагранжеві методи розрахунку, які ґрунтуються на загальновідомій ідеї Лагранжа про відстеження у потоці рідини рухомих локальних чи нелокальних об'єктів. До лагранжевих відносяться метод дискретних вихорів та метод дискретних особливостей, метод контурної динаміки, численні та різноманітні методи частинок, об'єктно-траєкторні моделі у динаміці багатофазних середовищ, методи дослідження хаотичної адвекції (в певній мірі) та запропонований авторами метод аналізу еволюції рідинного контуру. Слід зазначити, що лагранжеві чисельні методи гідромеханіки тісно пов'язані з алгоритмами обчислювальної теорії потенціалу та не припускають альтернативних реалізацій на основі інших представлень поля течії.

На жаль, теоретичне дослідження точності лагранжевих методів викликає суттєві труднощі та на теперішній час знаходиться явно в незадовільному стані. Тому автори даного дослідження віддали перевагу розробці спеціальних прийомів чисельного експерименту, які б дали змогу евристичного аналізу похибки, що накопичується у розрахунковому процесі. Всі подальші міркування та обговорення будуть віднесені до методу дослідження еволюції рідинних контурів, запропонованого авторами, у випадку плоскої течії ідеальної рідини.

Побудувати аналітичні розв'язки задач про рух рідинних частинок у складних течіях, як правило, не вдається. Тобто не вдається обрати певну кількість задач з відомими аналітичними розв'язками для тестування відповідних розрахункових алгоритмів. З іншого боку, відома певна кількість аналітичних розв'язків для плоских та просторових задач механіки ідеальної рідини. Першим засобом евристичного дослідження похибки лагранжевого розрахунку є внесення в аналітичні розв'язки для поля швидкості заздалегідь визначених збурень з подальшим аналізом їх впливу на загальний чисельний розв'язок.

Другим напрямом контролю накопичення похибки чисельного розрахунку руху рідинних частинок за лагранжевими алгоритмами є непрямі оцінки по відхиленню траєкторії руху рідинної частинки у стаціонарному потоці від лінії струму, що визначається по різниці між початковим значенням функції струму та поточним її значенням у точці розташування рідинної частинки. Також непрямий спосіб контролю похибки може бути оснований на факті збереження площі (об'єму у просторовому випадку), яку охоплює замкнений рідинний контур. В решті решт, принцип обернення течії може бути застосований для непрямого контролю точності. Згідно цьому принципу, якщо в деякий момент еволюції рідинного контуру поле швидкостей змінилося на протилежне, то через точно такий же час, як той, що пройшов з початку руху, рідинний контур має повернутися до свого початкового положення. Відхилення розрахованого положення рідинного контуру від початкового відбувається внаслідок накопичення обчислювальної похибки, а аналіз такого відхилення дає змогу якісно та кількісно оцінити похибку обчислювального процесу.

**Висновки.** В роботі була застосована модель потенціальної течії ідеальної нестисливої рідини у плоскому випадку. Для розрахунку поля швидкості рідини використовувався метод граничних елементів, який відомий саме високою точністю розрахунків. Рух представницького набору точок рідинного контуру було розраховано методом Ейлера. Проведено декілька серій розрахунків, що ілюструють еволюцію рідинних контурів у різноманітних течіях. Очевидною галуззю застосування результатів роботи є обчислювальна екологія, коли рідинний контур охоплює рухому зону забруднення. Але авторів також цікавили задачі перемішування рідини внаслідок вібрацій та інших механічних впливів у паливних баках та інших ємностях транспортних засобів під час руху останніх, наприклад, у паливних баках ракетно-космічної техніки.



## ДОПОЛНЕНИЕ К АЛГОРИТМУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Одной из важнейших проблем, возникающих в процессе производства, а также на транспорте, является задача принятия решения о своевременной замене оборудования. Любое оборудование имеет свой срок службы. В процессе эксплуатации происходит его как физический, так и моральный износ: возрастают затраты на ремонтное обслуживание и снижается производительность, уменьшается прибыль. Возникает вопрос о замене (приобретении нового и утилизации изношенного оборудования). В связи с этим становится актуальной задача выработки оптимальной стратегии поэтапного обновления оборудования.

Наиболее эффективными при решении задачи о замене оборудования являются методы динамического программирования, в основе которых лежит принцип оптимальности Беллмана. Алгоритм решения задачи об обновлении оборудования детально описан во многих источниках. Он основан на построении функции Беллмана, начиная с последнего шага (условная оптимизация) и последующего анализа и принятия решения о стратегии замены (безусловная оптимизация). Однако, мало исследована проблема, возникающая при невозможности построения функции Беллмана. В данном докладе мы рассматриваем пути её преодоления и предлагаем три возможных способа разрешения.

1 способ. Не вычисляем значение функции Беллмана и оставляем соответствующие клетки таблицы значений пустыми. Но может оказаться, что на 1-м году планового периода мы будем иметь информацию только о прибыли от эксплуатации оборудования возраста 1 год, а это соответствует одновременной замене остального оборудования.

2 способ. Будем считать, что при  $t = n$  оборудование необходимо заменить. Однако в этом случае мы можем уменьшить суммарную прибыль, поскольку при дальнейшей эксплуатации оно, вполне возможно, могло бы дать большую прибыль чем при замене.

3 способ. Увеличиваем плановый период, вводя прогнозируемые значения прибыли и остаточной стоимости от эксплуатации оборудования большего возраста, чем имеющееся в наличии. По окончанию расчетов, фиктивная часть таблицы отбрасывается. Эффективность этого способа зависит от достоверности прогнозируемых значений. С одной стороны, ликвидируются недостатки, возникающие при применении первого способа, а с другой – увеличение планового периода может привести к снижению уровня адекватности модели.

Рассмотрен абстрактный пример построения функции Беллмана каждым из трех способов. Проанализированы недостатки каждого из них. Уделено внимание также ситуации, возникающей в случае, когда в зоне замены находятся элементы, для которых более предпочтительно сохранение оборудования.

На этапе безусловной оптимизации проведен сравнительный анализ распределения прибылей по годам при применении стратегий обновления, основанных на построении функции Беллмана каждым из предложенных способов. Акцентируется внимание на зависимости уровня адекватности модели от точности прогнозируемых значений прибыли и остаточной стоимости оборудования при использовании третьего способа.

Мы рассмотрели три подхода к выработке стратегии обновления оборудования в случае, когда значение функции Беллмана не может быть определено, а также ситуацию, когда в области замены возникает элемент, соответствующий стратегии сохранения. Возможен и четвертый подход. Он основывается на введении фиктивных значений прибылей и остаточных стоимостей и построении функции Беллмана для всего полученного периода.

Достаточно эффективной данная модель является для оборудования с быстрым моральным износом (например, компьютерная техника и средства мобильной связи).

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ВЛАСОВА-ЭЙЛЕРА

Эффекты турбулентности играют большую роль в плазме, встречающейся в природе. Случайный характер турбулентных процессов плазмы указывает на то, что для определения средних величин целесообразно использовать статистическое описание турбулентности.

Эволюция плотности электронов  $F^-(x, p, t)$  и ионов  $F^+(x, p, t)$  достаточно разреженной плазмы в приближении самосогласованного поля описывается системой уравнений Власова. Однако, в некоторых задачах физики плазмы рассматривается модель, в которой одно из уравнений (для плотности электронов или ионов) заменяют гидродинамическим уравнением. Такую модель называют гидродинамической [1,2].

Рассмотрена краевая задача для системы уравнений, описывающая такую модель. В ограниченной области  $\Omega \subset R^2$  с границей  $\partial\Omega$  изучена следующая система с условием полного отражения частиц на границе области

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{m} \left( p, \frac{\partial F}{\partial x} \right) + e \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial p} \right) &= 0, t > 0 \\ -\Delta \varphi &= 4\pi e \rho(x, t), \quad \rho(x, t) = \int F(x, p, t) dp - \rho_0, \\ \rho_0 \frac{\partial \Delta \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \frac{\partial \Delta \psi}{\partial x_1} - \frac{\partial \psi}{\partial x_1} \frac{\partial \Delta \psi}{\partial x_2} &= -\frac{\rho_0 e}{mc} \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \\ F(x, p, t) &= F_0(x, p), \\ \psi(x, 0) &= \psi_0(x), \\ x \in \Omega, \quad p \in R^2. \end{aligned} \tag{1}$$

где:  $x, p$  – точки двумерного евклидова пространства  $R^2$ ;  $\frac{\partial}{\partial x}$  – оператор градиента,

$\Delta$  – оператор Лапласа;  $\rho$  – плотность;  $(,)$  – скалярное произведение в  $R^2$ ;  $\psi(x, t)$  – функция тока, через которую выражается скорость ионов

$$v_1 = \frac{\partial \psi}{\partial x_2}, \quad v_2 = -\frac{\partial \psi}{\partial x_1},$$

где  $v_1, v_2$  составляющие вектора скорости  $v$ ;  $m, c, \rho_0$  – положительные константы, имеющие физический смысл массы электрона, скорости света и плотности ионов;  $e$  – величина заряда электрона. Функция  $\varphi(x, t)$  – потенциал самосогласованного электрического поля.

Цель работы состоит в доказательстве существования меры, сосредоточенной на множестве обобщенных решений системы (1), индуцированной исходной вероятностной мерой. Такую меру называют статистическим решением системы (1). При этом следуем концепции статистических решений, предложенной Арсеньевым А.А.

1. Аршава Е.А., Харченко А.П., Поклонский Е.В., Бабаева Е.В. Инвариантные меры системы уравнений магнитной гидродинамики. *Вестник ХНТУ*. Херсон. 2017, №3(62), Т.1. С.13-17.
1. Аршава Е.А., Харченко А.П., Поклонский Е.В., Бабаева Е.В. Статистические решения системы уравнений магнитной гидродинамики. *Вестник ХНТУ*. Херсон. 2018, №3(66), Т.1. С.11-16.

## ОРТОГОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Сегментация изображений – одна из важнейших и неоднозначных процедур, выполняемых при обработке изображений. При этом, значительное число трудностей возникает из-за того, что исходные данные, цели и требования к результату являются неоднозначными. В таких условиях эффективным методом сегментации является выполнение нечеткой кластеризации с последующей визуализацией ее результатов.

В настоящее время популярным методом кластеризации является применение нечетких алгоритмов, например, FCM (Fuzzy C-Means), который позволяет учесть неопределенность в изображении. Недостатком является неоднозначность процесса дефазификации. В работе [1] было предложено использование сингулярного разложения для автоматического определения значимых столбцов функции принадлежности, получаемой при сегментации полутоновых изображений на основе нечеткой кластеризации.

В данной работе рассматривается влияние вида ортогонального преобразования нечеткой функции принадлежности при визуализации результатов нечеткой кластеризации на чувствительность и достоверность сегментации полутоновых слабоконтрастных изображений.

Предложенный в работе алгоритм сегментации состоит из следующих шагов.

1. Выполняется нечеткая кластеризация исходного изображения  $I$ , в результате чего формируется матрица нечетких функций принадлежности  $U$ .
2. Формируется матрица  $I^1$ , содержащая матрицы  $I$  и/или  $U$ .
3. Полученная матрица  $I^1$ , подвергается ортогональному преобразованию. В результате формируются многомерное изображение  $I^2$  и вектор коэффициентов  $C$  (используется для автоматического отбора наиболее значимых компонент  $I^2$ ). Их расчет зависит от выбранного преобразования.
4. Формируется вектор  $dC$ , содержащий разности для каждой пары соседних элементов вектора  $C$ , и вычисляется  $dC_a = \left( \left( \sum_{j=1}^c dC_j / c \right) + (dC_{\min} + dC_{\max}) / 2 \right) / 2$ , где  $dC_{\min}$  и  $dC_{\max}$  – минимальный и максимальный элементы вектора  $dC$ , соответственно. На его основе выбирается индекс  $i_{\max}$ .
5. Формируется выходное полутоновое изображение  $I^3$  по формуле:

$$I_{y,x}^3 = \sum_{i=1}^{i_{\max}+1} I_{y,x,i}^2 \cdot dC_i, y \in [1, dy], x \in [1, dx]. \quad (1)$$

Экспериментальные результаты были получены при применении предложенного метода для сегментации различных полутоновых изображений, в том числе медицинских. В качестве ортогональных преобразований использовались преобразование Грамма-Шмидта, сингулярное разложение и нечеткий анализ главных компонент.

**Выводы.** Анализ экспериментальных результатов показал, что вид ортогонального преобразования оказывает влияние на результаты сегментации. Использование преобразования Грамма-Шмидта и нечеткого анализа главных компонент позволило получить более высокий уровень детализации при сегментации.

1. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Метод адаптивной визуализации при сегментации изображений на основе сингулярного разложения. *Искусственный интеллект*. 2015. № 1-2. С. 36–43.

## КУБ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕОРІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Сучасний етап розвитку підходів до створення програмного забезпечення передбачає появу нових засобів – мов програмування, які поєднують у собі функціональні можливості основних парадигм програмування. Враховуючи той факт, що кожна з парадигм базується на певних математичних теоріях, стоїть в першу чергу завдання гібридизації теорій з наступним відображенням отриманої гібридної теорії у деяку метамову програмування [1]. За думкою авторів наглядним зображенням взаємодії під час гібридизації може стати куб математичних теорій, які лежать в основі основних парадигм програмування.

Основні методи опису семантики мов програмування на основі формальних систем (математичних теорій): оперативна семантика, денотаційна семантика, аксіоматична семантика, лямбда-числення, алгебраїчна семантика, семантика дій.

Куб гібридизації парадигм програмування уявляє з себе наочну класифікацію восьми можливих гібридів. На рис.1. дається графічне зображення куба гібридизації.

Будь-яку мову програмування з погляду семантики можна розглядати як сукупність функційних елементів (фелів), які можуть бути виражені в термінах формальної системи. Тоді процес гібридизації можна розглядати як побудову гібридної формальної системи на основі двох окремих систем [2]. Під час операції гібридизації теорії можуть об'єднувати множини своїх функційних елементи, які в собі несуть різні семантики, або результат взаємодії функційних елементів з різних формальних систем, отримуючи гібридний функційний елемент.

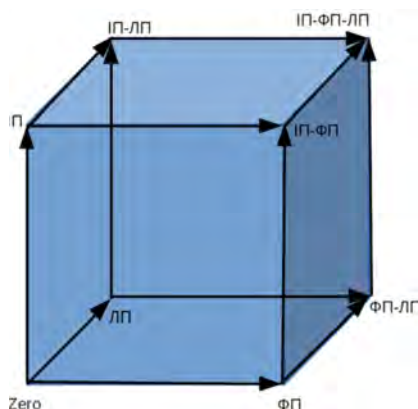


Рис.1 – Куб гібридизації парадигм програмування.

**Висновки.** В роботі сформована класифікація взаємодії різних методів опису семантики мов програмування та побудований куб гібридизації основних парадигм програмування. Приведені принципи гібридизації формальних систем і функційних елементів для подальшого конструювання programming language from scratch.

1. Баклан І. В., Баклан Я. І. Термінологічний підхід – шлях від метамови до систем інтелектуального перекладу. Искусственный интеллект, № 3, 2000. С. 412 – 420.
2. 12. Очеретяний О.К., Баклан І.В. Шляхи гібридизації мов програмування. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнар. наук. конф., с. Залізний Порт, 21-25 травня 2019 р. – Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2019. – С.135-136.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОД РІШЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗМІШАНОЇ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ ОДНОПОРОЖНИННОГО ГІПЕРБОЛОІДА ОБЕРТАННЯ

Застосування гіперболічних поверхонь в будівельній справі стало великим технічним проривом. Практика проектування споруд на основі гіперболічних поверхонь, потребує аналізу їх термоміцності, термовипучиванія.

В роботі досліджуються розрахунок температурного поля у тонкостінному однопорожнинному гіперboloїді обертання (рис. 1) який обмежений двома торцями (при  $z=-c$  і  $z=c$ ). Рівняння твірних ліній у циліндричній системі координат  $(\rho, \varphi, z)$  для зовнішній і внутрішній бічних поверхностях відповідно є

$$r = b \left( 1 + \frac{z^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad r = b_1 \left( 1 + \frac{z^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{де } b_1 < b.$$

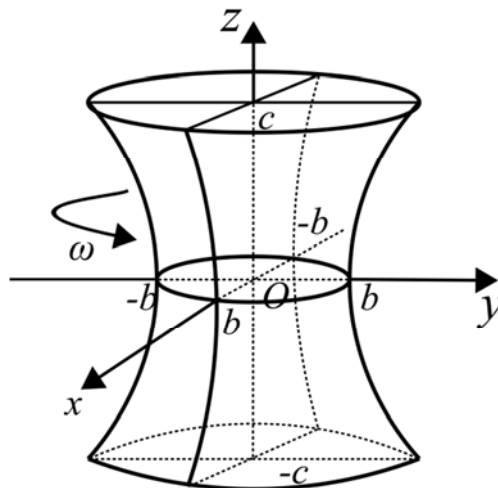


Рис. 1. Тонкостінний однопорожнинний гіперboloїд обертання.

Гіперboloїд обертається навколо осі OZ з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ , а швидкість поширення тепла є відомою величиною. Теплофізичні властивості тіла не залежать від температури, а внутрішні джерела тепла відсутні. У початковий момент часу температура тіла постійна, а на зовнішній і внутрішній бічних поверхнях тіла відомі значення температур. На торцях відомі значення теплових потоків.

В роботі вперше побудована узагальнена математична модель розрахунку температурних полів в тонкостінному однопорожнинному гіперboloїді у вигляді змішаної крайової задачі для гіперболічного рівняння теплопровідності. В роботі побудовано нове інтегральне перетворення для двовимірного кінцевого простору, із застосуванням якого знайдено температурне поле в вигляді збіжних рядів по функціям Фур'є

**Висновки.** Знайдений розв'язок узагальненої крайової задачі теплообміну у тонкостінному однопорожнинному гіперboloїді може знайти застосування при модулюванні температурних полів, які виникають в градирнях подібної форми, виконані з металопрокату або збірного залізобетону, які широко використовуються в атомній енергетиці, хімічній і металургійній промисловості а також в градирнях зі склопластику які знаходять застосування на цукрових заводах, заводах з переробки м'яса, риби, фруктів і овочів, молокозаводах, пивоварнях і інших підприємствах.

## ДИНАМІЧНЕ ПОЛЕ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ДВОШАРОВОМУ СИМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Задача про структуру динамічного поля переміщень в двошаровому симетричному просторі математично приводить до побудови обмеженого в області  $D = \{(t, r) : t \in (0, \infty); r \in I_1 = (0, R_1) \cup (R_1, \infty)\}$  розв'язку сепаратної системи диференціальних рівнянь руху в переміщеннях [1]

$$\frac{1}{c_j^2} \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} - B_{\alpha_j} [u_j(t, r)] = -m_{0j} \frac{\partial T_j(t, r)}{\partial r}, \quad j = \overline{1, 2} \quad (1)$$

за початковими умовами

$$u_j(t, r)|_{t=0} = \varphi_j(r); \quad \frac{\partial u_j}{\partial t}|_{t=0} = \Psi_j(r); \quad j = \overline{1, 2} \quad (2)$$

та умовами ідеального механічного контакту [2]

$$\begin{cases} [u_1(t, r) - u_2(t, r)]|_{r=R_1} = 0, \\ [\sigma_{rr,1}(t, r) - \sigma_{rr,2}(t, r)]|_{r=R_1} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

У рівності (1) бере участь диференціальний оператор

$$B_{\alpha_j} = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2\alpha_j + 1}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{2\alpha_j + 1}{r^2}; \quad 2\alpha_j + 1 \geq 0.$$

У системі (1)  $T_j(t, r)$  – задані компоненти нестационарного температурного поля  $T(t, r) = \{T_1(t, r), T_2(t, r)\}$  [2], яке породжує динамічне поле переміщень.

Розв'язок задачі (1) – (3) побудований методом гібридного інтегрального перетворення типу Фур'є-Бесселя [3] має вигляд

$$\begin{aligned} u_j(t, r) = & \sum_{k=1}^2 \int_{R_{k-1}}^{R_k} K_{(\alpha+1, \alpha); jk}(t, r, \rho) \Psi_k(\rho) \sigma_k \rho^{2\alpha_k+1} d\rho + \\ & + \frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^2 \int_{R_{k-1}}^{R_k} K_{(\alpha+1, \alpha); jk}(t, r, \rho) \varphi_k(\rho) \sigma_k \rho^{2\alpha_k+1} d\rho + \\ & + \sum_{k=1}^{n+1} m_{0k} \int_0^t \int_{R_{k-1}}^{R_k} Z_{(\alpha+1, \alpha); jk}(t-\tau, r, \rho) T_k(\tau, \rho) \sigma_k c_k^2 \rho^{2\alpha_k+1} d\rho d\tau; \quad j = 1, 2. \end{aligned} \quad (4)$$

Проаналізовано структуру для найбільш вживаного на практиці випадку двошарового осесиметричного тіла.

1. Подстригач Я.С., Коляно Ю.М. Обобщенная термомеханика.– К.: Наук. думка, 1972. – 307 с.
2. Блажевський С.Г. Моделювання процесу дифузії тепла в двошаровому симетричному просторі // Вісник ХНТУ. Вип. 3 (66). – Херсон: ХНТУ, 2018. – С. 29–33.
3. Ленюк М.П. Узагальнення інтегралу Фур'є-Бесселя // Інтегральні перетворення та їх застосування до крайових задач: Зб.наук.пр. – Київ: Ін-тут математики АН України, 1993. – Вип. 2, ч.1. – С.79-91.

## ВІРТУАЛЬНА РЕКОНСТРУКЦІЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ

Особисту роль у збереженні минулого відіграє історико-культурна спадщина. Одним із розповсюджених видів реконструкції історичних архітектурних комплексів є комп'ютерна графіка. В роботі було виконано 3D реконструкцію пам'ятника архітектури маєтку Шидловських. В процесі роботи були виявлені наступні етапи реконструкції: постановка задачі, формування джерельної бази [1,2], вибір ПО, створення 3D моделі та візуалізація. В ході роботи були застосовані такі програмні пакети, як Autodesk 3D Maya, Autodesk ImageModeler, додаток для запікання карт Crazy Bump, редактор графіки Adobe Photoshop CS6 та програма Agisoft PhotoScan. При моделюванні значну увагу було приділено детальності розробки моделі та досягненню максимальної реалістичності (Рис.1). Розглянутий пам'ятник архітектури, як об'єкт дослідження, дав можливість для багатоаспектної апробації сучасних підходів і технологій віртуальної просторової побудови.



Рисунок 1 — Рендер фінальної сцени

**Висновки.** В результаті роботи отримали тривимірну модель будинку Шидловських, який є частиною історичного архітектурного ансамблю Слобожанщини. При моделюванні споруди використовували методи полігонального, сплайнового моделювання, метод запікання карт і техніку фотограмметрії. Отримана 3D модель може використовуватись в просвітницьких цілях, здійснювати наочну репрезентацію для збереження і візуалізації історико-культурної спадщини.

1. Powell E. A. The Past in High-Def. The world's ancient heritage is coming to your desktop in 3-D: Archaeology magazine, Volume 62 Number 3, May/June 2009
2. Reilly P. Towards a virtual archaeology: Computer Applications in Archaeology: Oxford, 1990. P. 133–139.

## РОЗРАХУНОК ОДНОГО РІЗНОВИДУ ТЕЧІЇ ПУАЗЕЙЛЯ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ

Течія Пуазейля – стаціонарна ламінарна течія у каналі постійного поперечного перерізу – є однією з найпоширеніших в інженерній практиці останніх десятиліть та сьогодення. Достатньо згадати, що до цього класу належать ламінарні течії в трубах, які складають суттєву частину всього обсягу промислових течій. З іншого боку, модель течії Пуазейля виявляється однією з найпростіших в сучасній механіці рідини, оскільки для традиційної труби у формі колового циліндру при течії Пуазейля вдається побудувати елементарний аналітичний розв'язок у квадратурах. А для каналу довільного поперечного перерізу профіль швидкості при течії Пуазейля описується крайовою задачею Діріхле для рівняння Пуассона з константою у правій частині, що не викликає суттєвих труднощів при чисельному розв'язанні, навіть у випадку, коли поперечний переріз каналу представляє собою область складної геометричної форми. Не дивно, що такий клас простих, але в той же час вельми актуальних задач викликає постійний інтерес дослідників, які прагнуть узагальнити чи розширити клас течій Пуазейля з теоретичною або практичною метою. Робота, яка пропонується, не стала виключенням з цієї загальної тенденції, що визначає її актуальність з теоретичної точки зору. Основна ідея роботи полягає у дослідженні впливу на течію Пуазейля повздовжнього руху циліндричних об'єктів довільного перерізу, які містяться у потоці, та, безумовно, має великі практичні перспективи.

Якщо циліндричний об'єкт, паралельний стінкам каналу, рухається, зберігаючи паралельність стінкам, із заданою швидкістю, то течія в каналі буде течією Пуазейля. Швидкість руху об'єкта суттєво впливає на профіль швидкості в каналі і може розглядатися як додатковий управляючий параметр разом з перепадом тиску. Додатковий рух об'єкту може викликати низку специфічних гідродинамічних ефектів, наприклад, існування в потоці при певних параметрах поверхні нульової швидкості, виникнення зони зворотного руху, існування режиму течії з загальною нульовою витратою та інші. Незважаючи на зазначені гідродинамічні ефекти, течія в каналі буде течією Пуазейля, а її математична модель мінімально відрізняється (одним параметром в крайових умовах) від класичної математичної моделі течії Пуазейля. Для випадку найпростішої геометрії течії Пуазейля між двома коаксіальними циліндрами, внутрішній з яких рухається уздовж каналу, вдалося побудувати аналітичний розв'язок. Хоча задача і не є новою, цей розв'язок представляється дуже корисним як для прикладних питань, так і в якості тестового прикладу при розробці програмного забезпечення для чисельного розрахунку узагальненої течії Пуазейля.

Основним обчислювальним інструментарієм у роботі обраний метод граничних елементів. У попередній роботі авторів [1] було достатньо обґрунтоване застосування цього підходу для загального випадку довільного поперечного перерізу каналу. Автори при проведенні розрахунків спиралися на комплекс програм, розроблений ними раніше. Слід зазначити, що завдяки псевдоаналітичному представленню поля швидкості в методі граничних елементів чисельний розв'язок, отриманий цим методом, надає практично такі ж можливості аналізу течії, як і згаданий вище аналітичний розв'язок.

**Висновки.** Отримані результати можуть знайти застосування у хімічній, медичній галузях промисловості, при виробництві композитів та наноматеріалів, у мікроелектроніці та мікромеханіці.

1. Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Кочубей А.А., Шульга Р.А. Применение метода граничных элементов для расчета течения Пуазейля в каналах сложного поперечного сечения. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 3 (66), том 1. С. 24–31.



## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕДОСТУПНОЙ ТОЧКИ

В проведенных исследованиях разработана геометрическая модель для бесконтактного определения координат недоступной точки объекта при заданном расположении геодезического оборудования [1]. Для определения численных значений параметров недоступной точки объекта получено адекватное разработанной геометрической модели аналитическое основание (аналитическая модель).

Аналитическая модель геометрической модели измерений параметров недоступной точки состоит из следующих блоков.

1. Каноническое уравнение прямой линии имеет вид [2]:

$$\frac{x - x_M}{r_x} = \frac{y - y_M}{r_y} = \frac{z - z_M}{r_z}, \quad (1)$$

где  $x_M, y_M, z_M$  – координаты некоторой заданной точки  $M(x_M, y_M, z_M)$  пространства в системе  $Oxyz$ ;

$x, y, z$  – координаты произвольной точки  $N(x, y, z)$  в пространстве на визирном луче;

$r_x, r_y, r_z$  – координаты направляющего вектора  $\vec{r}(r_x, r_y, r_z)$ , совпадающего с визирным лучом.

2. Уравнение прямой линии, проходящей через две заданные точки  $A(x_A, y_A, z_A)$  и  $D(x_D, y_D, z_D)$  визирного луча  $AD$ , отображается выражением:

$$\frac{x - x_A}{x_D - x_A} = \frac{y - y_A}{y_D - y_A} = \frac{z - z_A}{z_D - z_A}, \quad (2)$$

где  $\overline{AD}(x_D - x_A, y_D - y_A, z_D - z_A)$  – направляющий вектор с координатами

$$\begin{cases} r_{xD} = x_D - x_A, \\ r_{yD} = y_D - y_A, \\ r_{zD} = z_D - z_A. \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение прямой линии, проходящей через две заданные точки  $B(x_B, y_B, z_B)$  и  $E(x_E, y_E, z_E)$  визирного луча  $BE$ , отображается выражением:

$$\frac{x - x_B}{x_E - x_B} = \frac{y - y_B}{y_E - y_B} = \frac{z - z_B}{z_E - z_B}, \quad (4)$$

где  $\overline{BE}(x_E - x_B, y_E - y_B, z_E - z_B)$  – направляющий вектор с координатами

$$\begin{cases} r_{xE} = x_E - x_B, \\ r_{yE} = y_E - y_B, \\ r_{zE} = z_E - z_B. \end{cases} \quad (5)$$

3. Уравнение прямой линии, заданной параллельным ей вектором  $\vec{r}(r_{xM}, r_{yM}, r_{zM})$  и точкой  $M(x_M, y_M, z_M)$ , в параметрическом виде представляется системой уравнений (6):

$$\begin{cases} x = r_{xM} \cdot t_M + x_M, \\ y = r_{yM} \cdot t_M + y_M, \\ z = r_{zM} \cdot t_M + z_M, \end{cases} \quad (6)$$

где  $t_M$  – параметр, определяющий положение точки  $M$  на визирном луче.

4. Уравнения (6) для прямых линий (визирных лучей)  $AD$  и  $BE$  разработанной геометрической модели представляются системами уравнений (7) и (8) соответственно:

$$\begin{cases} x = r_{xD} \cdot t_D + x_D, \\ y = r_{yD} \cdot t_D + y_D, \\ z = r_{zD} \cdot t_D + z_D, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x = r_{xE} \cdot t_E + x_E, \\ y = r_{yE} \cdot t_E + y_E, \\ z = r_{zE} \cdot t_E + z_E, \end{cases} \quad (8)$$

где  $t_D$  – параметр, определяющий положение точки  $D$  на визирном луче  $AD$ ;

$t_E$  – параметр, определяющий положение точки  $E$  на визирном луче  $BE$ .

5. Координаты  $x_C; y_C; z_C$  определяемой точки  $C(x_C; y_C; z_C)$  можно выразить через уравнения (7) и (8):

$$\begin{cases} x_{DC} = r_{xD} \cdot t_{DC} + x_D, \\ y_{DC} = r_{yD} \cdot t_{DC} + y_D, \\ z_{DC} = r_{zD} \cdot t_{DC} + z_D, \end{cases} \quad (9)$$

где  $t_{DC}$  – значение параметра  $t$  для точки  $C$  на визирном луче  $AD$ ;

$$\begin{cases} x_{EC} = r_{xE} \cdot t_{EC} + x_E, \\ y_{EC} = r_{yE} \cdot t_{EC} + y_E, \\ z_{EC} = r_{zE} \cdot t_{EC} + z_E, \end{cases} \quad (10)$$

где  $t_{EC}$  – значение параметра  $t$  для точки  $C$  на визирном луче  $BE$ .

6. *Гипотеза.* Визирный луч  $AD$ , описанный уравнением (7), и визирный луч  $BE$ , описанный уравнением (8), пересекаются в некоторой точке  $C(x_C, y_C, z_C)$  тогда и только тогда, когда координаты  $x, y, z$  произвольных точек на этих лучах станут равными:

$$\begin{cases} x_{DC} = x_{EC}, \\ y_{DC} = y_{EC}, \\ z_{DC} = z_{EC}, \end{cases} \quad (11)$$

где  $x_{DC}; y_{DC}; z_{DC}$  – координаты точки,  $C(x_{DC}, y_{DC}, z_{DC})$  на визирном луче  $AD$ ;

$x_{EC}; y_{EC}; z_{EC}$  – координаты точки  $C(x_{EC}, y_{EC}, z_{EC})$  на визирном луче  $BE$ .

7. Для определения значений параметров  $t_{DC}$  и  $t_{EC}$ , при которых визирные лучи  $AD$  и  $BE$  пересекутся в требуемой точке  $C$ , подставим в уравнения (11) правые части уравнений (9) и (10).

Аналитическое выражение гипотезы в параметрическом виде представляется системой уравнений (12), (13), (14):

$$\begin{cases} r_{xD} \cdot t_{DC} + x_D = r_{xE} \cdot t_{EC} + x_E, \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} r_{yD} \cdot t_{DC} + y_D = r_{yE} \cdot t_{EC} + y_E, \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} r_{zD} \cdot t_{DC} + z_D = r_{zE} \cdot t_{EC} + z_E. \end{cases} \quad (14)$$

Координаты направляющих векторов  $r_{xD}, r_{yD}, r_{zD}, r_{xE}, r_{yE}, r_{zE}$  определяются уравнениями (3) и (5).

8. Для нахождения значений параметров  $t_{DC}$  и  $t_{EC}$  выразим из уравнений (12), (13), (14) параметр  $t_{DC}$ :

$$t_{DC} = \frac{r_{xE} \cdot t_{EC} + x_E - x_D}{r_{xD}}, \quad t_{DC} = \frac{r_{yE} \cdot t_{EC} + y_E - y_D}{r_{yD}}, \quad t_{DC} = \frac{r_{zE} \cdot t_{EC} + z_E - z_D}{r_{zD}}. \quad (15)$$

9. Подставляя, например, первое равенство из выражений (15) в уравнение (13), выразим параметр  $t_{EC}$ :

$$t_{EC} = \frac{r_{xD} \cdot y_E - r_{yD} \cdot x_E + r_{yD} \cdot x_D - r_{xD} \cdot y_D}{r_{yD} \cdot r_{xE} - r_{xD} \cdot r_{yE}}. \quad (16)$$

10. Вычислив значение параметра  $t_{EC}$  по формуле (16) и подставив его в уравнение (15), определяется значение параметра  $t_{DC}$ .

11. Значения координат  $x_{DC}; y_{DC}; z_{DC}$  определяемой точки  $C(x, y, z)$  вычисляются после подстановки значения параметра  $t_{DC}$  в уравнения (9).

12. Значения координат  $x_{EC}; y_{EC}; z_{EC}$  определяемой точки  $C(x, y, z)$  вычисляются после подстановки значения параметра  $t_{EC}$  (16) в уравнения (10).

13. Сравнением значений координат точки  $C(x, y, z)$ , полученных на этапах 11 и 12, определяется погрешность предлагаемого метода.

Абсолютные погрешности рассчитанных координат определяются системой уравнений (17):

$$\begin{cases} \Delta_x = |x_{DC} - x_{EC}|, \\ \Delta_y = |y_{DC} - y_{EC}|, \\ \Delta_z = |z_{DC} - z_{EC}|. \end{cases} \quad (17)$$

Относительные погрешности каждого измерения определяются системой уравнений (18):

$$\begin{cases} \Sigma_{xD} = \frac{\Delta_x}{x_{DC}} \cdot 100; \Sigma_{xE} = \frac{\Delta_x}{x_{EC}} \cdot 100; \\ \Sigma_{yD} = \frac{\Delta_y}{y_{DC}} \cdot 100; \Sigma_{yE} = \frac{\Delta_y}{y_{EC}} \cdot 100; \\ \Sigma_{zD} = \frac{\Delta_z}{z_{DC}} \cdot 100; \Sigma_{zE} = \frac{\Delta_z}{z_{EC}} \cdot 100. \end{cases} \quad (18)$$

**Выводы.** Разработана аналитическая модель для геометрической модели бесконтактного определения координат недоступной точки объекта при заданном расположении геодезического оборудования. Доказана возможность практического использования разработанной аналитической модели.

1. Браилов А. Ю., Панченко В. И., Устьянский В. А. Геометрическая модель определения координат точек кровли исторического здания. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. Вип. 3(58). С. 482–486.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов*. М.: Наука, 1986. 544 с.

# ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Броварець О.О., к.т.н., доцент

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

Сучасне землеробство передбачає виконання певної технологічної операції, згідно відповідної картограми-завдання, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації. Знання певної структура варіабельності ґрунтового покриву, отриманих з використанням інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь, дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення для ефективного управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь.

У зв'язку, з цим ставиться завдання використання принципово нового класу інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Мета даного дослідження є розробка і обґрунтування програмно-апаратного забезпечення інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Функціональний принцип роботи інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця полягає у наступному: сигнал від робочих електродів перетворюється на аналого-цифровий сигнал блоку керування технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Після підсилення цей сигнал передається до головного модуля цієї системи. Для наочного відображення результатів виконання технологічних операцій використовується дисплей інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця (рис. 1).

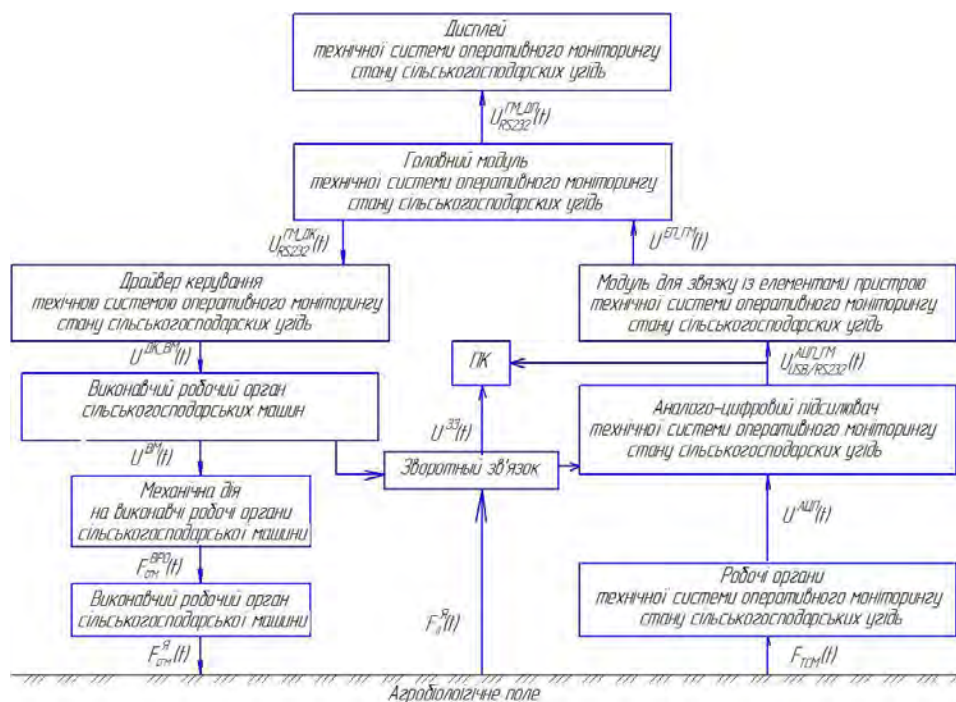
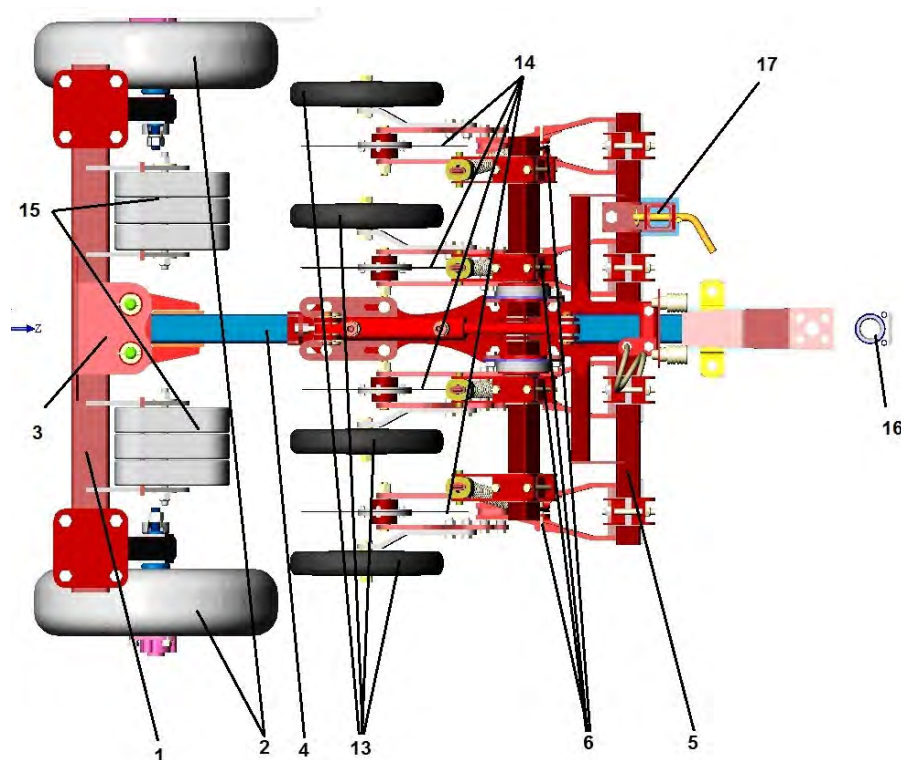


Рис. 1. Функціональна схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця.

Головний модуль інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця передає сигнал на драйвер керування інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця. Від драйвера керування сигнал іде на виконавчий механізм інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця (сервопривід), який через механічний зв'язок забезпечує дію на робочий орган сільськогосподарської машини, яка виконує технологічну операцію.

**Загальна характеристика інформаційно-технічної системи локального *Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця використовують (рис. 2):*** перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю. Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

На рис. 2 – зображено загальний вигляд інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця (вид зверху).



*Рис. 2. Загальний вигляд інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця (вид зверху).*

Інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця складається (рис. 2) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, повздовжньої рами 4, поперечної рами 5, шарнірів 6, важелів 7, стояків-пружин 8, кронштейну 9, обертового валу 10, гідроциліндру 11, кронштейну кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопу 16 та підставка 17.

Інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця працює наступним чином: переміщення технічної системи оперативного моніторингу стану

сільськогосподарських угідь конструкції Олександра Броварця відбувається з використанням транспортного засобу за допомогою опорних коліс 1, на яких розміщується П-подібна рама 2 до якої за допомогою кріплення 3, приєднується повздовжня рама 4. До повздовжньої рами 4 відбувається приєднання поперечної рами 5 до якої через шарніри 6, важелі 7 та стояки-пружини 8 кріпляться підважені копіювальні колеса 13 з робочими електродами 14. Регулювання глибини ходу робочих електродів 14 відбувається за допомогою копіювальних коліс 13, а за допомогою стояків-пружини 8, які прикріплені до обертового валу 10, гідроциліндру 11, кронштейну кріплення 12, відбувається притискання робочих електродів до поверхні поля та їх копіювання нерівностей. Реалізація механізму піднімання/опускання робочих електродів 14 відбувається з використанням кронштейну 9, до якого приєднано гідроциліндр 11, який обертає вал 10 через кронштейн кріплення 12 (рис . 3).

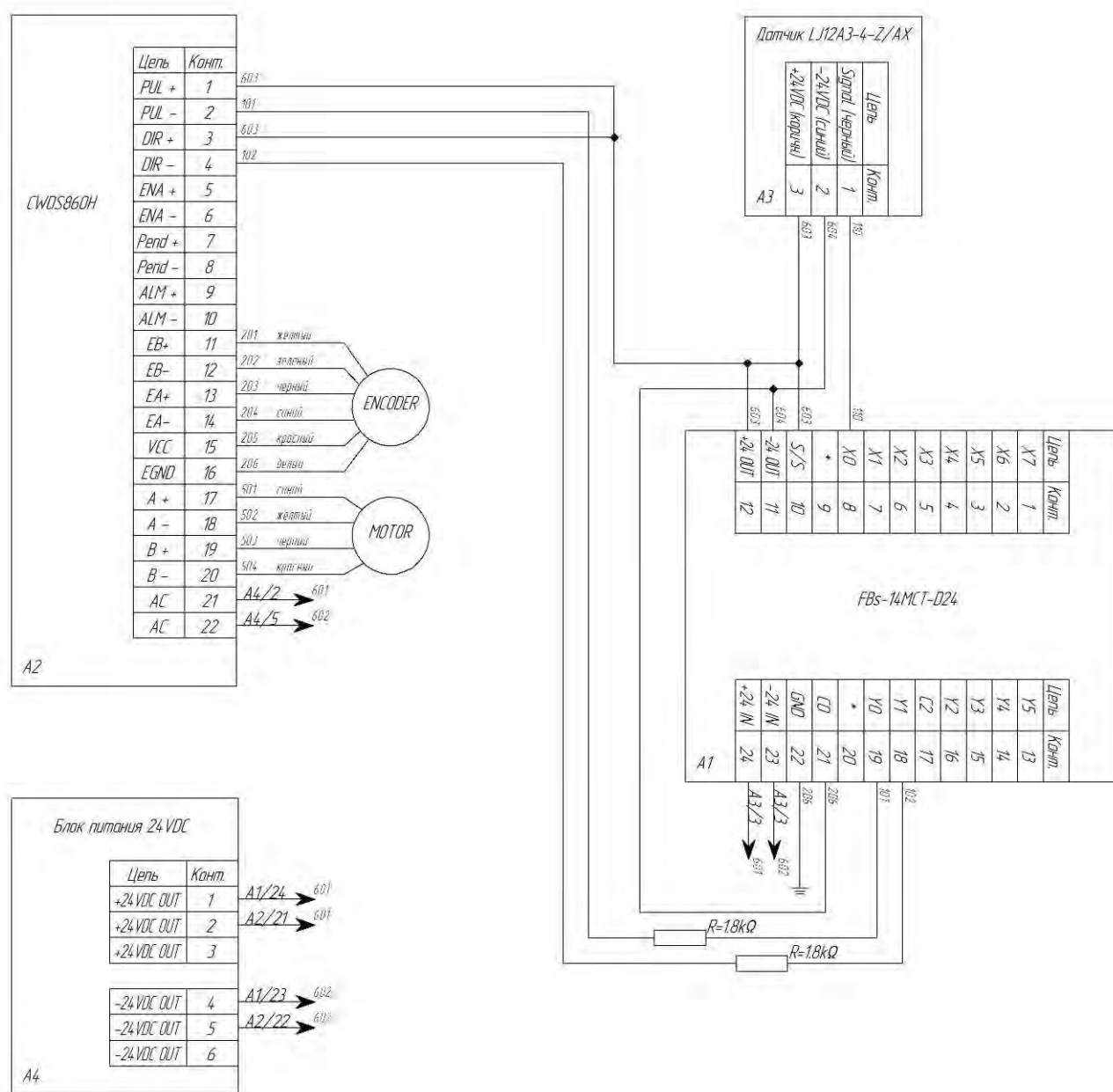


Рис. 3. Функціональна схема інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця дає можливість оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища.

## ДЕЯКІ ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ КРИЛА ЛІТАКА ПРОТЯГОМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ

У нинішніх умовах широкого використання комп'ютерних інформаційних технологій геометричне моделювання здатне відігравати провідну роль не тільки під час проектування складних промислових виробів, а також при їх виготовленні та експлуатації. Поєднання зазначених стадій життєвого циклу продукції в єдиний керований автоматизований процес із метою проведення її комплексної оптимізації становить важливу науково-прикладну проблему. Для її успішного вирішення необхідне створення належної методології комп'ютерного формоутворення складних технічних об'єктів, яка охоплює весь життєвий цикл зазначеної продукції.

Науковою школою прикладної геометрії НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» напрацьовано теорію структурно-параметричного геометричного моделювання, яка спрямована на ефективне автоматизоване формоутворення складних технічних об'єктів, зокрема, літаків [1-3].

Дане дослідження спрямоване на подальше узагальнення задач геометричного моделювання поверхні крила літака протягом усього його життєвого циклу. При цьому головний акцент зроблено на моніторинг змінювання геометричних параметрів, встановлення взаємозв'язків між їх проектними та фактичними значеннями, створення відповідних комп'ютерних моделей. Комплексне інтегроване використання останніх дозволяє підвищувати ефективність процесів формоутворення поверхні крила літака.

Запропонований підхід урахування динамічних змін геометричних параметрів проілюстровано на прикладі трьох конфігурацій крила: *стательної* (геометрична модель будується під час ескізного проектування і призначена для розробки конструкції та технологічного оснащення на етапі робочого проектування літака), *польотної* (модель відтворює модифікації форми та розмірів крила під час польоту літака) та *стоянкової* (геометрична модель формується на завершальному етапі виготовлення літака за результатами замірів фактично отриманих параметрів форми та розмірів). Зазначено, що описаний підхід потребує розробки нових методів та прийомів комп'ютерного геометричного моделювання складних технічних об'єктів.

**Висновки.** Запропоноване узагальнення задач формоутворення поверхні крила шляхом здійснення моніторингу змінювання геометричних параметрів протягом життєвого циклу виробу та побудови належних комп'ютерних моделей дозволяє підвищувати ефективність автоматизованого проектування сучасного літака.

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Структурно-параметричні геометричні моделі як засіб інтеграції автоматизованого проектування сучасного літака. Вісник ХНТУ. Херсон, 2014. Вип. 3(50). С. 571-574.
2. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Збруцький О.В. Комп'ютерні структурно-параметричні геометричні моделі як засоби конструкторсько-технологічної оптимізації літака. Механіка гіроскопічних систем. Київ, 2014. Вип.27. С. 111-119.
3. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Незенко А.Й. Особливості геометричного моделювання поверхні крила в аспекті життєвого циклу літака. Вісник ХНТУ. Херсон, 2017. Вип. 3(62). Т. 2. С. 260-263.

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У ЛІНГВІСТИЦІ

Кількісні методи, які застосовуються у квантитативній лінгвістиці, мають свої особливості [1-3]. В процесі створення математичних моделей найскладніша проблема пов'язана із вибором типу апроксимуючої функції для побудови моделі. Як правило, в кількісних лінгвістичних дослідженнях вигляд відповідної функціональної залежності вибирається виходячи із самих загальних уявлень про властивості досліджуваної системи. Цей підхід не завжди прийнятний. Існує інша методика, в рамках якої для побудови математичної моделі використовуються диференціальні рівняння. Апроксимуюча функція знаходиться як розв'язок такого рівняння [4,5].

Одна з важливих задач квантитативної лінгвістики пов'язана з визначенням статистичних характеристик частотних словників. Частотний словник являє собою впорядкований за частотою появи список слів із певного тексту. Головну цікавість викликає питання про зв'язок рангу слова в словнику з частотою появи слова у тексті. Класичним є закон Зіпфа [6-8], згідно з яким ранг слова  $n$  та частота його появи у тексті  $f$  пов'язані степеневою залежністю виду

$$f(n) = A / n^\alpha,$$

де  $A$  та  $\alpha$  є параметрами розподілу. Така залежність часто використовується на практиці, однак все ж вона має обмежену область застосування. Тому актуальною є проблема пошуку більш точних апроксимацій. Це і є мета дослідження.

Вихідним для пошуку залежності  $f(n)$  є диференціальне рівняння наступного вигляду:

$$\varphi(f)df = -\psi(n)dn.$$

В цьому рівнянні  $\varphi(f)$  та  $\psi(n)$  є априорі невідомими функціями. Розкладаючи їх в ряд Тейлора по від'ємних степенях аргументу і розв'язуючи диференціальне рівняння отримуємо шукану апроксимаційну залежність. Параметри, котрі входять в цю апроксимаційну залежність, визначаються на основі емпіричних даних методом найменших квадратів. Значення шуканої функції в кожній вузловій точці розраховується як корінь алгебраїчного рівняння методом послідовних ітерацій. Перевірку методики виконано на прикладі тексту, що містить 22878 слововживань і 1867 різних словоформ. Результати моделювання добре узгоджуються з наявними емпіричними даними.

1. Тулдава Ю. Проблемы и методы квантитативно-системного исследования лексики. Таллин: Валгус, 1987. 204 с.
2. Köhler R., Altmann G., Piotrowski R.G. Quantitative Linguistics. An International Handbook, Berlin: Walter de Gruyter, 2005. 1041 p.
3. Левицкий В.В. Квантитативные методы в лингвистике. Черновцы: Рута, 2004. 190 с.
4. Vasilev A., Vasileva I. Text Length and Vocabulary Size: Case of the Ukrainian Writer Ivan Franko. Glottometrics. 2018. Vol. 43. P. 1 – 10.
5. Васильєв О.М., Чалий О.В., Васильєва І.В. Про екзотичні задачі фізики, Вінні-Пуха та закон Зіпфа. Журнал фізичних досліджень. 2013. Т. 17, № 1. С. 1001(1 – 8).
6. Zipf G. Human Behavior and the Principle of Least Effort. Cambridge: Addison-Wesley, 1949. 573 p.
7. Li W. Zipf's law everywhere. Glottometrics. 2002. Vol. 5. P. 14 – 21.
8. Popescu I.-I., Altmann G., Köhler R. Zipf's law another view. Quality and Quantity. 2010. Vol. 44, No 4. P. 713 – 731.



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ВІДОКРЕМЛЕНОЇ ХВИЛІ ЧЕРЕЗ ГРАНІТНУ ПЕРЕШКОДУ

В останні роки серед геофізиків зріс інтерес до розповсюдження нелінійних хвиль в структурованих середовищах. Є гіпотеза, що нелінійні хвилі передають енергію структурованих дискретних середовищ. Одним з методів вивчення цього явища є фізичне і математичне моделювання розповсюдження нелінійних хвиль в структурованому середовищі.

В роботі досліджується поширення нелінійної відокремленої хвилі (ВХ) в гранульованому середовищі через гранітну перешкоду. Проведено два експерименти: перший – коли перешкода знаходиться в кінці середовища, другий – коли перешкода знаходиться посередині середовища. Середовище моделюється одномірним ланцюгом сталевих куль діаметром 41.25мм (див. фото на Рис.1). Початкове збурення задається ударом спеціального маятниково механізму. Сенсорами в першому експерименті виступають сенсор-куля, яка одночасно є елементом ланцюга і міряє силу, а також акселерометр фірми В&К, який встановлювався на поверхні перешкоди. Для другого експерименту використовувалось два сенсора-кулі, які встановлювались в 8 та 26 позиціях ланцюга. Всього ланцюг мав 34 елементи. Гранітні перешкоди мали різні розміри від 15мм до 499мм.

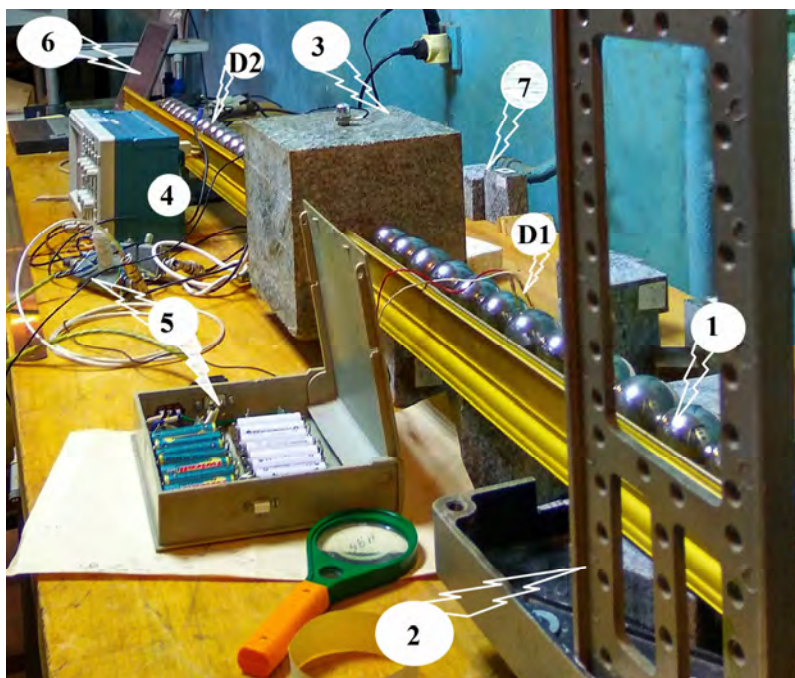


Рис. 1. Фото експериментальної установки для експ №2 (для експ №1 використовувалась половина цього ланцюга куль). Ланцюг куль (1) зі зразком (3) №3 – гранітним кубом. (7) – гранітні зразки різних розмірів, D1, D2 – кулі-давачі в ланцюгу, В лівому верхньому кутку видно осцилограф (4) TDS-210, підсилювачі з блоком живлення (5) та ноутбук (6), праворуч – частина каркаса ударного механізму (2)

В експериментах вдалося отримати різницю в проходженні ВХ через перешкоду. Крім цього математичне моделювання цих процесів показало тотожність з фізичним моделюванням.

**Висновки.** Експериментально доведено, що формування ВХ залежить не лише від маси зразка, але і від його розмірів при одній і тій же самій масі. Доцільно продовжити дослідження, застосувавши інші пружні матеріали (сталь, алюміній).

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ (\*) – РЕШЕНИЯ РОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ РИМАНА-ГИЛЬБЕРТА-ПРИВАЛОВА УРАВНЕНИЙ С ВЗАИМНО ОБРАТНЫМИ РАЦИОНАЛЬНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ**

Продолжено изучение, родственных краевым условиям задач Римана-Гильберта, уравнений с взаимно обратными рациональными коэффициентами. Известна [1, 2], важность задачи Римана-Гильберта (Римана-Гильберта-Привалова) для аналитических функций. Она возникает или используется в разделах математики, механики и приложениях. В том числе, в теории упругости, задачах о кручении, в теории некоторых дифференциальных уравнений, интегральных уравнений типа свёртки, при изучении соответствующих дифференциальных уравнений математической физики. Рассматриваемые уравнения:

$$A(z)X^+(z) + Y_-(z) = B(z); z \in \square \cup \{\infty\}, \quad (1)$$

$$A^{-1}(z)X_1^+(z) + Y_{1-}(z) = B_1(z); z \in \square \cup \{\infty\}, \quad (2)$$

при  $z = x \in \{-\infty, \infty\}$  выражают краевые условия соответствующих родственных задач, которые задаются на сомкнутой вещественной оси. Специальными решениями для родственных *Задач* [2] и соответствующих им уравнений (1), (2) называем решения, через которые можно находить их решения при произвольных правых частях из широкого подмножества кольца  $\mathfrak{R}_r$  [1, 2] рациональных функций. Среди них специальные (\*) – решения уравнений (1), (2) в подмножествах кольца  $\mathfrak{R}_r$ . Специальные (\*) – решения удовлетворяют уравнениям (1), (2) с правыми частями  $B(z) = A_*(z)$ ,  $B_1(z) = A_*^{-1}(z) := [A^{-1}(z)]_*$ , то есть уравнениям:

$$A(z)X_{A_*}^+(z) + Y_{A_*-}(z) = A_*(z); z \in \square \cup \{\infty\}, \quad (3)$$

$$A^{-1}(z)X_{A_*^{-1}}^+(z) + Y_{A_*^{-1}-}(z) = A_*^{-1}(z); z \in \square \cup \{\infty\}. \quad (4)$$

При правильной факторизации коэффициента и, независимо, при однозначной разрешимости в  $\mathfrak{R}_r$ , установлены, соответственно, формулы вычислений и взаимосвязи специальных (\*) – решений:

$$X_{A_*}^+(z) = 1 - \Gamma^+(z)S^0 A^0, \quad Y_{A_*-}(z) = -(T^-(z))^{-1}T_-(z)A^0; \quad (5)$$

$$X_{A_*^{-1}}^+(z) = 1 - [\Gamma^+(z)S^0 A^0]^{-1}, \quad Y_{A_*^{-1}-}(z) = -T^-(z)[(T^-(z)A^0)^{-1}]_-;$$

$$[1 - X_{A_*}^+(z)] \cdot [1 - X_{A_*^{-1}}^+(z)] = 1, \quad [A^0 + Y_{A_*-}(z)] \cdot [(A^0)^{-1} + Y_{A_*^{-1}-}(z)] = 1; z \in \square \cup \{\infty\}. \quad (6)$$

Приведен иллюстративный пример. Процедура свободна от интегралов типа Коши и Фурье, требования гёльдеровости функций, индекса.

1. Voytik T.G. Projector approach to the general linear equation with variables from the subring of the rational functions and a factorable coefficient / T.G. Voytik, G.S. Poletaev, S.A. Yatsenko // J. of Physics: Conf. Series.- 2017. - Vol. 918 (2017) 012032 doi:10.1088/1742-6596/918/1/012032 Scopus. - P. 1-5.

2. Войтик Т.Г. Родственные типу Римана-Гильберта-Привалова задачи со взаимно обратными рациональными правильно факторизуемыми коэффициентами / Т.Г. Войтик, Г.С. Полетаев, С.А. Яценко // Вестник ХНТУ. – 2017. – 3(62), том 1. – С. 43-50.

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУДНОВОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТУРБОКОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ**

У сучасній судновій електроенергетиці особливу увагу приділяють удосконаленню систем генеруванню електроенергії, підвищенню якості електроенергії, економічності її виробництва, надійності роботи систем та живлення приймачів електроенергії. Для підвищення ефективності суднових енергетичних установок (СЕУ) широко застосовуються системи відбору тепла відпрацьованих газів [1]. Зокрема, перспективним напрямком є використання турбокомпресорних систем, у яких енергія відпрацьованих газів використовується безпосередньо для приводу газової турбіни, що передає енергію на привод гребного гвинта або на привод електрогенератора. У судновій комплексній електроенергетичній турбокомпресорній установці (СКЕЕТКУ) компоненти, а саме головний двигун, турбіна, компресор і генератор, можуть бути з'єднані між собою як одним валом, так і за допомогою системи редукторів [2].

Аналіз сучасних систем утилізації тепла вихлопних газів показує, що їх режими й умови роботи вибираються без урахування особливостей роботи та режимів СЕУ, тому практично у всіх випадках виникають проблеми із забезпеченням наддування при пуску двигунів, їх роботі на режимах малого ходу, а також на режимах при надлишковій потужності турбіни. Відзначені проблеми можуть бути вирішені відносно просто – за рахунок відповідної зміни режиму роботи генератора з перетворювачем частоти.

Метою досліджень є побудова математичної моделі СКЕЕТКУ як об'єкту керування, яка дозволить здійснювати аналіз процесів, що протікають в системі, та оцінювати ефективність методів керування, що розроблюються.

Для побудови математичної моделі СКЕЕТКУ як об'єкту керування розглянуто взаємозв'язки між окремими складовими компонентами комплексу.

До складу комплексу входять окремі підсистеми: головна (дизельна) енергетична установка (ГЕУ) з турбонаддувом; система автоматичного регулювання частоти обертання (САРЧО) валу головного двигуна; система відбору потужності (СВП).

Кожна з підсистем може бути описан диференційними рівняннями, що описують динамічні процеси найбільш значущих елементів комплексу [3].

Математична модель СКЕЕТКУ, яка будується з розглянутих моделей компонентів, надає можливість аналізувати процеси, що протікають в системі, та оцінювати ефективність методів керування, що розроблюються.

### **Список використаної літератури**

1. Селиверстов В.И. Утилизация тепла в судовых дизельных установках. – Л.: Судостроение, 1973. 218 с.
2. Technology Characterization: Reciprocating Engines Prepared for: Environmental Protection Agency Climate Protection Partnership Division. Washington, DC, Prepared by: Energy Nexus Group 1401 Wilson Blvd, Suite 1101 Arlington, Virginia 22209, February 2002.
3. Рябенкий М.В., Короленко О.В., Вороненко С.В., Короленко Є.О. Головний двигун та суднова генераторна система в когенераційній установці судна. Електротехнічні та комп'ютерні мережі. Одеса, 2017. №26(102). С. 9-16.

## ДИСКРЕТНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСУ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ ЗАДАНИХ КООРДИНАТ ВУЗЛОВИХ ТОЧОК ОПОРНОГО КОНТУРУ

Метою даної роботи є дослідження організації ланцюга послідовних суперпозицій суміжних точок для моделювання дискретних каркасів поверхонь паралельного переносу із врахуванням величини рекурентної залежності, що є прообразом зовнішнього формоутворюючого навантаження у статико-геометричному методі дискретного геометричного моделювання [1].

Враховуючи результати роботи [2], для визначення аплікати довільного вузла за відомою аплікатою заданого контурного вузла у напрямі осі  $i$ , зможемо записати:

$$z_{i+k} = z_{i+n} + (k^2 - n^2)P, \quad (1)$$

де:

$k$  — номер шуканого вузла;  $n$  — номер заданого контурного вузла .

Для визначення аплікати довільного вузла за відомою аплікатою заданого контурного вузла у напрямі осі  $j$ , також зможемо записати:

$$z_{j+l} = z_{j+m} + (l^2 - m^2)P, \quad (2)$$

де:

$l$  — номер шуканого вузла;  $m$  — номер заданого контурного вузла .

Додаванням (1) до (2) одержимо формули для визначення аплікат внутрішніх вузлів, а також величини рекурентної залежності:

$$2z_{i+k,j+l} = z_{i+n,j+l} + z_{i+k,j+m} + (k^2 + l^2 - n^2 - m^2)P;$$

або:

$$z_{i+k,j+l} = 0,5 \cdot z_{i+n,j+l} + 0,5 \cdot z_{i+k,j+m} + (k^2 + l^2 - n^2 - m^2) \cdot 0,5 \cdot P; \quad (3)$$

$$P = \frac{z_{i+k,j+l} - 0,5 \cdot z_{i+n,j+l} - 0,5 \cdot z_{i+k,j+m}}{(k^2 + l^2 - n^2 - m^2) \cdot 0,5}. \quad (4)$$

Де:

$k$  — номер шуканого вузла,  $n$  — номер заданого контурного вузла,  $z_{i+n,j+l}$  — задана апліката контурного вузла за напрямом осі  $i$ ;

$l$  — номер шуканого вузла,  $m$  — номер заданого контурного вузла,  $z_{i+k,j+m}$  — задана апліката контурного вузла за напрямом осі  $j$ ;

$P$  — величина рекурентної залежності, що дорівнює 0,25 величини зовнішнього формоутворюючого навантаження статико-геометричного методу:  $P = 0,25 \cdot KP$ .

**Висновки.** Виведено у загальному вигляді формули (3), (4) визначення дискретних значень аплікат внутрішніх вузлових точок врівноваженої кривої поверхні за даними аплікатою контурних та центрального вузлів, або за даними аплікатою контурних вузлів та величиною рекурентної залежності, що тотожна величині зовнішнього формоутворюючого навантаження статико-геометричного методу моделювання геометричних образів.

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

2. Воронцов О.В. Визначення координат внутрішніх вузлів, як суперпозицій заданих координат центрального та двох контурних вузлів дискретно представлені кривої / О.В. Воронцов, Л.О. Тулупова, І.В. Воронцова // Вісник Херсонського національного технічного університету / Вип. . 3(66), ТОМ 2 – Херсон: ХНТУ, 2018. – С. 120 – 124.

## ВИКОРИСТАННЯ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГЕНЕТИЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Поширеність генетичних захворювань обумовлює необхідність розробки методів експрес-діагностики з використанням 3D- моделювання [1-3]. Це дозволить прискорити діагностичний процес і зменшити залежність від дорогих досліджень ДНК. Згідно статистики біля 8% населення має генетичні порушення, причому у 30-40 % це призводить до зміни в обличчі та черепі людини. Сьогодні з використанням тривимірних зображень обличчя та черепа людини можливо діагностувати понад 700 різних генетичних хвороб.

Розроблено програму для визначення метрологічних характеристик голови та обличчя людини, яку легко налаштувати на діагностику конкретної хвороби. Так, наприклад, синдром Дауна можна первинно діагностувати по таких вимірах: сплюснуте плоске лице; внутрішній кут очей розташовується нижче, ніж зовнішній; перенісся плоске і широке, вушні раковини маленькі, недорозвинені, розташовуються досить низько. Захворювання Брахицефалію можна первинно діагностувати по черепному індексу, який при патології має значення, більше 81. З використанням розробленої програми можна виконати первинне експрес-діагностування синдромів Сміта-Магеніса, Fragile, Грубера, Держинського, Апера, Сотоса, Дубовица та багато інших.

Слід зазначити, що аналіз сплюсненості ділянок обличчя важно реалізувати фотометричними способами, оскільки не виконується натурне вимірювання кривизни поверхні. Цей недолік легко усувається при використанні тривимірних моделей.

Доведено, що форму обличчя діти с високою мірою наслідують від батьків. З цього можна зробити висновок про необхідність формування архіву тривимірних моделей лица і голови людини для різних поколінь.

На основі наведеного необхідно реалізувати такі заходи: 1. Розробка поширеної та доступної системи отримання 3D-зображень обличчя людини. 2. Аналіз діагностичних особливостей людей з метою розробки типової 3D-моделі голови. Це усереднена модель для конкретного генетичного захворювання. 3. Розробка програмних засобів для виділення артефактних ділянок обличчя з метою звернення уваги лікаря. 4. Розробка бази даних тривимірних зображень з метою їх зберігання та аналізу перебігу змін в динаміці. 5. Оскільки встановлено спадкоємність генетичних захворювань від близьких родичів доцільно створювати 3D-метричні архіви для поколінь. 6. Розробка системи групового зчитування інформації для корельованих зображень. 7. Розробка системи пошуку у базі зображень з використанням мультифакторного аналізу. 8. Розробка плагінів для пакетів прикладних програм 3D-моделювання з метою достовірних вимірів криволінійних профілів, необхідних кутів анатомічних елементів і т.д. 9. Для виконання реконструктивних втручань важливо виконувати виміри при просторових трансформаціях.

1. Романюк О. Н., Чорний А. В. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. - Вінниця : УНІВЕСУМ, Вінниця, 2006. 190 с.
2. Вяткін С. І., Романюк О. Н., Нечипорук М. Л. Обробка медичних даних при об'ємній візуалізації. Матеріали міжнародного наукового симпозиуму Big Data Analytics «Моделювання та інформаційні технології, Київ, 2019, с. 49-52.
3. Романюк ОН, Отришко ВО, Нечипорук МЛ. Аналіз методів зафарбовування поверхонь тривимірних об'єктів. Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень»,Вінниця, 2019, с. 140-144.

И.М. ГВОЗДЕВА<sup>1</sup>, М.А. ЯКИМЕНКО<sup>1</sup>, В.В. ДЕМИРОВ<sup>1</sup>, В.Ф. МИРГОРОД<sup>2</sup>, Е.В. ДЕРЕНГ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный университет “Одесская морская академия”

<sup>2</sup> Военная академия (г. Одесса)

<sup>3</sup> Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины

## ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОСТРАНСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Проблема перевода судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) и их элементов (в том числе дизель-генераторных агрегатов) на эксплуатацию по техническому состоянию осуществляется на основе создания интегрированных систем управления с полной ответственностью, составной частью которых являются автоматизированные системы контроля и диагностики (АСКД). Важной научно-прикладной задачей является повышение достоверности диагностических выводов о техническом состоянии дизель-генераторных агрегатов (ДГА) в реальных условиях эксплуатации.

В настоящее время в АСКД применяются алгоритмы контроля параметров состояния судовых ДГА, которые, сопровождаются достаточно высоким уровнем ошибок первого рода (“ложных тревог”), что приводит к безосновательному выведению объектов из технологического процесса или снятию их с эксплуатации [1]. Использование в АСКД более совершенных алгоритмов диагностирования, учитывающих информативность параметров контроля технического состояния ДГА и наличие естественного тренда [2], позволит повысить достоверность диагностических выводов.

Целью работы является оценка элементов признакового пространства диагностических параметров технического состояния судового дизель-генераторного агрегата на основе построения нелинейной регрессионной модели.

В работе предлагается подход к исследованию признакового пространства параметров, определяющих техническое состояние судовых ДГА. В рамках предлагаемого подхода собраны и систематизированы статистические данные, характеризующие техническое состояние судовых ДГА в реальных условиях эксплуатации. На основе анализа полученных данных с учетом коэффициента информативности проведено ранжирование диагностических параметров состояния судовых ДГА.

В качестве одного из наиболее информативных параметров, характеризующих работу ДГА в зависимости от нагрузки, выбрана температура выходящих газов цилиндров дизельного двигателя. Разработана нелинейная регрессионная модель зависимости средней температуры выходящих газов цилиндров ДГА от его нагрузки и осуществлена ее компьютерная реализация с использованием современных программных средств.

**Выводы.** Сравнительный анализ информативности диагностических признаков технического состояния судовых ДГА позволил выделить наиболее значимые диагностические параметры и установить взаимосвязи между ними. Предложенная нелинейная регрессионная модель позволяет усовершенствовать алгоритмы диагностирования технического состояния судовых ДГА, повысить достоверность диагностических выводов АСКД и снизить вероятность “ложных тревог”.

1. Гвоздева И. М. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок / И. М. Гвоздева, В. В. Демиров // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 3. – С. 191–194.
2. Hvozdeva, I. The Method of Trend Analysis of Parameters Time Series Gas-turbine Engine State / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, Y. Derenh / 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'17, AIP Conference Proceedings; 2017, 1895, pp. 030002-1-030002-9, DOI: 10.1063/1.5007361

## ПІДГОТОВКА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ З СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ ОБРОБКИ МЕРЕЖЕЮ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

На сьогодні, глибинне навчання є одним з найбільш розповсюджених підходів комп'ютерного зору і з великим успіхом використовується для вирішення таких задач як класифікація зображення, знаходження об'єктів, 3D реконструкція об'єктів, тощо. В роботі запропоновано підхід до розробки набору для тренування і тестування мережі глибинного навчання. Дані використані для розробки набору є мультиспектральні фотознімки поверхні Землі з штучного супутника WorldView-3. Дані з даного супутника характеризуються надвисокою просторовою роздільною здатністю (у панхроматичному режимі) та наявністю значень відбиття ближнього інфрачервоного світла (у мультиспектральному режимі). Панхроматичний канал супутника надає змогу аналізувати знімок поверхні Землі на рівні об'єктів, а саме: будівель, крупної техніки, тощо. В свою чергу, мультиспектральний знімок дає можливість додаткового семантичного аналізу і вивчення додаткових якісних властивостей об'єктів Земної поверхні.

Розроблений підхід є комбінацією методів та алгоритмів, що включають в себе попередню обробку та підготовку даних та налаштування архітектури мережі глибинного навчання для вирішення задачі знаходження та виділення об'єктів поверхні Землі (будівель). Попередня обробка включає в себе декілька етапів:

- 1) Застосування модифікованого алгоритму pan-sharpening [1] до ортонормованих знімків WorldView-3
- 2) Застосування технік image-tiling та аугментації даних для адаптації знімку до обробки глибиною нейронною мережею згортки
- 3) Налаштування системи з двох нейронних мереж для виконання сегментації без вчителя та знаходження об'єктів забудови

Застосування pan-sharpening до супутникових зображень WorldView-3 дозволяє значно збільшити кількість якісних характеристик зображення та, у розробленому підході, є необхідним для формування достатнього набору даних для тренування запропонованої мережі машинного навчання.

Мережа, у свою чергу, реалізує сегментацію на рівні об'єктів базуючись на результатах навчання двох глибинних нейронних мереж за принципом спільного навчання (joint learning) [2]. Навчання реалізовано з рядом модифікацій які дозволяють покращити результати розпізнавання об'єктів забудови на знімках надвисокої роздільної здатності з супутникового апарату WorldView-3 завдяки навчанню на детермінованих даних з датасету на базі запропонованого підходу, а не на випадкових частинах оригінального знімку в оригінальному рішенні [3].

1. Hnatushenko V.V. Remote sensing image fusion using ICA and optimized wavelet transform, International Archives of the Photogrammetry / Hnatushenko V.V., Vasyliov V.V. // Remote Sensing & Spatial Information Sciences Volume XLI-B7. – 2016. XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, pp. 653-659.

2. Han J. Object detection in optical remote sensing images based on weakly supervised learning and high-level feature learning / Han J. et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2015. – Т. 53. – №. 6. – pp. 3325-3337.

3. Audebert N. Semantic segmentation of earth observation data using multimodal and multi-scale deep networks / Audebert N., Le Saux B., Lefèvre S. // Asian Conference on Computer Vision. – Springer, Cham, 2016. – pp. 180-196.

### **АНАЛІЗ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З ПЕРЕГОРОДКАМИ ЗА РІЗНІ УМОВИ ЗАКРІПЛЕННЯ**

У машинобудуванні широко використовуються конструкції, елементами яких є оболонки обертання з різними формами меридіана. Це корпуси енергетичних установок, насосів, компенсатори зсувних та осьових переміщень, колони випарних апаратів, нафтосховища і таке інше. Проблемаам побудови теорій, методів, алгоритмів розрахунку оболонкових конструкцій віддають свої сили багато колективів вчених в нашій країні та за її кордоном. Такі оболонки зазвичай є частково заповненими рідиною, працюють в умовах інтенсивних силових впливів. Для оцінки міцності та ресурсу конструкцій, складених з оболонок обертання, важливо визначити спектр частот їх коливань. Визначення найменших частот коливань дає можливість відстроювання від небажаних резонансних частот коливань при наявності сил збудження. Існують потужні сучасні комплекси динамічного та міцносного розрахунків. Але при моніторингу стану обладнання літаків, космічних апаратів, танкерів потрібна оперативна інформація щодо напружено-деформованого стану та спектральних характеристик. Таку інформацію можна отримати із застосуванням сучасних спеціалізованих обчислювальних комплексів, що орієнтовані на розрахунки конкретних елементів конструкцій. В цій роботі запропоновано методику розрахунку динамічних характеристик оболонок обертання, що мають розгалужений меридіан з урахуванням можливості встановлення різних перегородок. Ці оболонки можуть бути заповнені рідиною, мати різні умови закріплення. Методика заснована на використанні одновимірного методу скінченних елементів.

Аналіз останніх публікацій та доповідей на конференціях свідчить, що тематика досліджень в області дослідження міцності та коливань оболонок та оболонкових конструкцій з використанням числового аналізу досить велика. Це легко зрозуміти, якщо врахувати надзвичайне різноманіття сфер застосування оболонок та умов їх експлуатації. Огляди наукових праць за останні роки виявили необхідність проведення досліджень власних частот та форм коливань оболонок обертання. Аналіз робіт, присвячених розрахунку оболонок, у тому числі тих, що моделюють посудини і резервуари з небезпечними заповнювачами, дозволяє виділити в даний час як основні і найбільш ефективні методи чисельного інтегрування, метод скінченних різниць і методи скінченних і граничних елементів.

В роботі запропоновано ефективний підхід до аналізу напружено-деформованого стану та частот і форм коливань оболонок обертання з довільним розгалуженим меридіаном. Метод заснований на використанні одновимірних скінченних елементів, тобто дискретизації піддається лише меридіан оболонки. Це суттєво зменшує обчислювальні витрати. Тому запропонований метод може використовуватись як для оперативної оцінки міцносних та динамічних характеристик оболонкової конструкції, так і в складі обчислювальних комплексів для аналізу міцності конструкцій під впливом різних факторів. В результаті проведеного числового аналізу було встановлено, що найнижчі частоти вільних коливань досягаються для циліндричної оболонки, що закріплена шарнірно по одному краю. Якщо відома частота коливань сили збудження, то можна провести відстроювання від небезпечного режиму коливань за рахунок зміни умов закріплення або шляхом встановлення горизонтальної перегородки. У подальшому передбачається розвинути запропонований метод щодо аналізу вимушених та параметричних коливань.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННІ В ПРИКЛАДНІЙ ЗАДАЧІ

### Вступ

Нагадаємо, що точки зору IT, сегментація — це процес розділення зображення на декілька сегментів (сегмент — це множина пікселів, які часто називають суперпікселями).

Аналізуючи метод Ніблака, жорсткий поріг, гістограмні методи, метод Оцу, метод Єна, метод трикутника. Похибка обчислювалась за формулою (1). Отримані результати описані в [1].

$$MSE = \frac{1}{w \cdot h} \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (1)$$

де  $I(i, j)$  — значення яскравості пікселя у точці  $(i, j)$  досліджуваного зображення;

де  $K(i, j)$  — значення яскравості пікселя у точці  $(i, j)$  еталонного зображення;

$w$  — ширина зображень;

$h$  — висота зображень;

$MSE$  — значення похибки.

### Постановка проблеми

У роботі автор досліджує моделі і засоби синтезу методів сприйняття даних візуального спектру, що надходять в режимі реального часу. В роботі, автором розширено перелік досліджуваних методів сприйняття комп'ютером зовнішнього світу через розуміння відео даних та сфери їхнього застосування щодо попереднього дослідження, показаного в [1].

Метою роботи є покращення сприйняття візуального світу автономними інформаційно-аналітичними системами шляхом розробки методики адаптації машинних алгоритмів до особливостей зовнішнього середовища.

### Викладення основного матеріалу

Продовжуючи дослідження адаптивності інформаційно-аналітичної системи отримано порівняльні результати, що додатково включають методи к-середніх, SIS, розенфельда, Сезана, Рамеша, ітеративний поріг. Для забезпечення різноманітності умов досліджень було вибрано розподілену модель: різні учасники, адаптивні умови щодо одного набору образів та спільного методу кореляції.

Додатково було використано поділ на три сегменти, що потенційно дозволяє легший опис при накладанні більш жорстких вимог до порогу сегментації.

**Висновки:** В результаті проведених експериментів були отримані дані щодо ефективності кожного методу в умовах адаптації. Порівнюючи значення MSE, які отримані для кожного методу ми отримуємо ефективність кожного методу в заданих умовах. У порівнянні з дослідженням представленим автором у [10], окрім ускладнення поля уваги, було додано розбиття на три класи.

У роботі представлено дослідження елемента машино-машинного інтерфейсу на предмет можливості динамічної адаптації для покращення сприйняття зовнішнього середовища шляхом розробки методики адаптації робозору до візуального спектру. Досліджено і порівняно між собою різні порогові методи сегментації із різних категорій.

1. Грицик В.В., Дунас А.Я. Дослідження методів розпізнавання образів для систем комп'ютерного зору роботів майбутнього. Вісник ХНТУ: №3,Т.1. — 2017. — ст. 297-301.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОЛЯ ПРОМЕНЕВОГО ОБІГРІВУ

Значна роль на етапі проектування будівлі належить графічним засобам відображення енергетичного поля для забезпечення оптимальної ефективності обігріву приміщення [1]. Розрахунок систем обігріву з застосуванням інфрачервоних нагрівачів, особливо в вентильованих приміщеннях і приміщеннях не ізольованих від навколишнього середовища, пов'язаний з урахуванням багатьох факторів і процесів, що відбуваються одночасно [2]. Ефективність роботи систем обігріву з інфрачервоними нагрівачами [3] визначається різними їх властивостями, умовами і способами використання.

У приміщенні найбільш важливим є вертикальний розподіл повітря, де температура повітря  $t$  залежить від висоти розташування інфрачервоного нагрівача  $h$  (рис. 1).

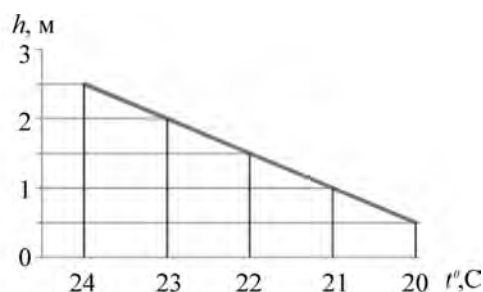


Рис. 1 – Графік залежності температури повітря від висоти розташування нагрівача

Просторова структура енергетичного поля променевого обігріву досліджувалася в горизонтальному і вертикальному перерізах, що дозволяє дати оцінку величини випромінювальної здатності в будь-якій точці поля, виділити області найбільшої концентрації променевої енергії, визначити зони найбільших і найменших градієнтів величини енергетичної освітленості тощо.

**Висновки.** Встановлено, що температура повітря дорівнює середній арифметичній величині температури повітря в приміщенні і середньої температури випромінювання предметів. Таким чином, при підвищенні температури випромінювання інфрачервоного нагрівача, завдяки прямому нагріву, можна знизити температуру повітря в приміщенні. Це стає важливим фактором економії витрат енергії на опалення приміщення із застосуванням інфрачервоних нагрівачів.

1. Гумен О.М., Мартин Є.В., Сподинок Н.А., Лясковська С.Є. Інформаційні графічні засоби подання простору температурного поля промислових будівель. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2017. Вип. 3 (62). Т.2. С. 269-273.

2. Сухов Г.С., Лепеш Г.В. Теоретические основы технологий дифференцированного электрообогрева производственных помещений. Расчёт обогрева объёма рабочего места. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2012. № 3 (21). С. 22-25.

3. Spodyniuk N., Gumen O., Omelchuk O. Thermal processes in industrial premises with using infrared heating systems. *Journal of civil engineering, environment and architecture*. 2017. No 64 (4/17). P. 105-115.

## ОДИН З ПІДХОДІВ АНАЛІЗУ ЧАСУ ПОЛЬОТУ ФОТОНІВ З МЕТОЮ УСУНЕННЯ ВПЛИВУ НЕДОСКОНАЛОСТІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ

Одним із сучасних підходів до діагностики різних видів захворювань у медичній практиці є використання пристроїв оптичної томографії високої щільності. Використання оптичних методів при проведенні вимірювань на голові дорослого людини часто стикається з труднощами інтерпретації. Світло, що випромінюється глибоко в досліджувану тканину, повинно проходити через тканини, що оточують мозок (шкіру, кістки черепа, оболонки мозку), перш ніж воно досягне своєї цілі. Тому на вимірюваний сигнал впливають не тільки оксигенація самої тканини мозку, але і зміни в оксигенації і кровопостачанні екстрацеребральних тканин[1-3].

Якість вимірювальної системи безпосередньо впливає на якість отриманих результатів досліджень, а отже і на якість аналізів, які здійснюються на основі цих даних. Частою причиною поганої якості даних вимірювань є велика дисперсія результатів вимірювань. Звичайно причиною цього є відсутність опору вимірювальної системи до змін, що відбуваються в її середовищі. Чим більше вплив умов навколишнього середовища на результат вимірювання, тим менш корисні дані, які зібрані таким чином. З метою перевірки результатів, отриманих оптичним методом, та усунення впливу недосконалостей вимірювальної системи, необхідно шукати нові методи та підходи.

У дослідженнях кровопостачання мозку часто використовують оптичні маркери і рефлектометричний моніторинг їх припливу. В оптичній томографії головного мозку в якості контрастної речовини використовують барвник - індоціаніновий зелений (ICG). Це барвник з високим коефіцієнтом поглинання в ближньому інфрачервоному діапазоні. Після введення болюсної дози ICG барвник метаболізується і видаляється з організму через печінку. Моніторинг за допомогою часово-роздільного оптичного методу динаміки припливу і очищення барвника ICG дозволяє ефективно оцінювати кровопостачання кори головного мозку.

В роботі розглянуто один з підходів до аналізу часу польоту фотонів з метою усунення впливу недосконалості системи вимірювання, що дає змогу коригувати виявлені артефакти в отриманому сигналі та здійснювати подальший аналіз отриманих результатів дослідження. Оптична вимірювальна система, що використовувалася в тестах, була випробувана *in-vivo* в обох режимах дослідження сигналу, як при дифузному відбитті так і при вимірюванні флуоресценції ICG, проведених на групі здорових людей і у пацієнтів з запаленням мозку.

**Висновки.** Новий метод добре коригує нульовий статистичний момент - загальне число фотонів для флуоресцентних каналів, особливо коли сигнали дуже неоднорідні через проблеми з апаратним забезпеченням.

1. Kasprzak M., et al., *Time-Resolved Optical Imager for Assessment of Cerebral Oxygenation*. J Biomed Opt. 2007. Vol. 12. P. 1-14.
2. Liebert A., et al., *Time-resolved multidistance near-infrared spectroscopy of the adult head: intracerebral and extracerebral absorption changes from moments of distribution of times of flight of photons*. Applied Optics. 2004. Vol. 43(15). P. 3037-3047.
3. Guchek P., Bejm K., Sawosz P., Liebert A. *Data acquisition and preprocessing software for high-density near-infrared spectroscopy device*. 20-th Polish Conference on Biocybernetics and Biomedical Engineering (Kraków, September 20-22, 2017). Kraków: AGH University of Science and Technology, 2017. P. 41.

## ТЕПЛОВА УМОВА СПРЯЖЕННЯ У ДВОШАРОВІЙ ОБЛАСТІ

## Анотація

Сучасні вимоги щодо якості продукції у прокатному виробництві вимагають підвищення надійності роботи інструменту, зокрема стійкості валків. Це можливо за рахунок використання двошарових валків, зовнішній шар яких виготовлений із зносостійких, а внутрішній із термостійких матеріалів. Підвищення стійкості двошарових валків можливе за рахунок оптимізації їх температурного режиму роботи та керування процесом теплообміну у валковому калібрі за допомогою математичної моделі та систем комп'ютерної математики. У математичних моделях теплообміну у багатошарових канонічних та неканонічних областях часто приходиться розв'язувати задачі з граничними умовами четвертого роду. Публікація відноситься до математичних моделей, що описують процеси теплообміну у прокатному виробництві, зокрема під час прокатки стрічки та профілів.

**Метою роботи** є побудова математичної моделі процесу теплообміну під час прокатки металу на двох валковому прокатному стані, оснащеному порожнистими двошаровими валками з різними теплофізичними параметрами шарів та з різними умовами теплообміну внутрішньої та зовнішньої поверхонь валків з оточуючим їх середовищем.

**Зміст роботи.** Математична модель системи двошаровий валок прокатного стану, що рухається навколо своєї осі з постійною швидкістю та стрічкою, що деформується, розглядається у вигляді крайової задачі з нелінійними умовами теплообміну поверхні валка з оточуючим його середовищем та передачею тепла від поверхні валка до його осі. Для визначення температурного розподілу у двошаровому валку необхідно розв'язувати крайову задачу з граничною умовою четвертого роду, яка полягає у рівності температур та рівності теплових потоків через границю шарів. Це викликає труднощі при реалізації алгоритму розв'язання задачі чисельними методами.

У роботі за допомогою умови теплового балансу області (частини двошарового валка), що включає границю розділу між двома шарами при щільному контакті шарів, шляхом інтегрування цієї умови та залучення теорем Остроградського-Гауса та узагальненої «про середнє значення», отримано умову спряження імпедансного типу, що поряд з нормальною похідною містить тангенціальні похідні.

$$\left( R + \frac{h}{2} \right) \lambda \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{R + \frac{h}{2}} - \left( R - \frac{h}{2} \right) \lambda \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{R - \frac{h}{2}} + \lambda \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} \left( \bar{u} \ln \frac{R + \frac{h}{2}}{R - \frac{h}{2}} + \bar{u}' h \right) - c \rho \left[ \dot{u} R h + \dot{u}' \left( R^2 h + \frac{h^3}{12} \right) \right] = 0$$

Отримана умова імпедансного типу є альтернативною умові спряження четвертого роду але має переваги перед умовою спряження четвертого роду при розв'язанні нелінійної крайової задачі чисельним методом.

**Висновки.** Умову імпедансного типу можна використовувати при розв'язанні крайових задач як для однорідного так і для неоднорідного рівнянь теплопровідності.

1. Ляшенко В.П., Кобильська О.Б., Дем'янченко О.П. Математичні моделі теплообміну з умовами імпедансного типу у багатошарових областях // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Вип. 6/2017 (107). Частина 1. – С. 37–43.

2. Флейшман Н.П. Математичні моделі теплового спряження середовищ із тонкими чужорідними прошарками або покриттями / Н.П. Флейшман // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. мех.мат. – 1993. – Вип. 39. – С. 30–34.

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТОРА ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАНКЕЛЕВИХ МАТРИЦЬ

Вихідні сигнали динамічного об'єкта  $\bar{w}(t)$  після обробки вимірювальною системою є багатомірними часовими рядами:  $\bar{w}(0), \bar{w}(1), \dots, \bar{w}(t)$ .

На їх підставі для структурного упорядкування інформації побудуємо розбиту на блоки (нескінченну в чотирьох напрямках) ганкелеву матрицю [1] для ряду  $\bar{w}(t): Z \rightarrow R^q$

$$\begin{pmatrix} \mathcal{H}_-(\bar{w}) \\ \mathcal{H}_+(\bar{w}) \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \bar{w}(-t-1) & \bar{w}(-t) & \dots & \bar{w}(0) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \bar{w}(t-2) & \bar{w}(t-1) & \dots & \bar{w}(t'-1) & \dots \\ \dots & \bar{w}(-1) & \bar{w}(1) & \dots & \bar{w}(t') & \dots \\ \dots & \bar{w}(0) & \bar{w}(1) & \dots & \bar{w}(t'+1) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \bar{w}(t-1) & \bar{w}(t) & \dots & \bar{w}(t+t') & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Доведено в роботах [1, 2], що  $\text{rank}(\mathcal{H}_-(\bar{w}); \mathcal{H}_+(\bar{w})) < \infty$  і він дорівнює розмірності мінімального представлення з простором станів  $\Sigma_S(\mathbf{A}', \mathbf{B}', \mathbf{C}', \mathbf{D}')$  найбільш сильної неспростованої (AR)-моделі  $\mathcal{B}(R_w^*)$  часового ряду  $\bar{w}$  (тут (AR) – авторегресійна модель). Для отриманого в результаті обробки спостережуваного часового ряду  $\bar{w}: Z \rightarrow R^q$  та побудованої для системи

$$\begin{aligned} \sigma \bar{x} &= \mathbf{A}' \bar{x} + \mathbf{B}' \bar{u}; \\ \bar{w} &= \mathbf{C}' \bar{x} + \mathbf{D}' \bar{u}. \end{aligned} \quad (2)$$

матриці  $\mathbf{M} \in R^{(n+q) \times (n+m)}$ , яка задає відображення маємо  $\mathbf{M}: \begin{pmatrix} \bar{x}(t_i) \\ \bar{u}(t_i) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \bar{x}(t_i+1) \\ \bar{w}(t_i) \end{pmatrix}$ , де  $\bar{x}(t)$  – вектор стану;  $\bar{u}(t)$  – вектор управління;  $\bar{w}(t)$  – спостережуваний часовий ряд.

Розбивши матрицю  $\mathbf{M}$  на блоки

$$\mathbf{M} := \begin{pmatrix} \mathbf{A}' & | & \mathbf{B}' \\ \mathbf{C}' & | & \mathbf{D}' \end{pmatrix}, \quad (3)$$

так, що  $\mathbf{A}' = R^{n \times n}$ ,  $\mathbf{B}' = R^{n \times m}$ ,  $\mathbf{C}' = R^{q \times n}$  і  $\mathbf{D}' = R^{q \times m}$ , отримаємо модель динамічного оператора  $\Sigma(\mathbf{A}', \mathbf{B}', \mathbf{C}', \mathbf{D}')$ , яка є найбільш сильною неспростованою моделлю з мінімальним простором станів і мінімальним числом входів  $m$  для часового ряду  $\bar{w}(t)$  [2].

**Висновки.** Пропонований метод моделювання оператора динамічної системи на основі властивостей лінійних операторів та упорядкування експериментальних даних за допомогою ганкелевих квадратичних форм і ганкелевих матриць, що дозволяє знайти розв'язки обернених задач динаміки на теоретико-множинному рівні. Розроблена оптимально точна модель (без урахування перешкод), а саме, найбільш сильна неспростована модель в класі лінійних систем.

1. Виллемс Ян К. От временного ряда к линейной системе. Теория систем. Математические методы и моделирование. Сборник статей. Москва: Мир, 1989. 384 с.
2. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. Москва: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.

## ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТВОЛІВ ДЛЯ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Протягом майже всієї історії людства триває процес розвитку технологій металообробки. Якість та складність виробів з металу, безсумнівно, були запорукою успіху як давніх так і сучасних цивілізацій, починаючи з мідної сокири аж до дюралевого літака. Серед іншого, особливе місце завжди займав процес виготовлення зброї. Винайдення сталі здійснило промислову революцію у всіх галузях і, зокрема, дозволило виробляти нові зразки вогнепальної зброї, які з одного боку мали високі бойові якості, а з іншого – пред'являли низку вимог до виробництва.

Ствол є основною деталлю вогнепальної зброї, що слугує камерою для перетворення потенційної енергії певної речовини або фізичного ефекту в кінетичну енергію снаряда (кулі). Ствол забезпечує строго орієнтоване у просторі положення вектору початкової швидкості снаряда і, в більшості видів сучасної зброї, надає снаряду обертальний рух, що забезпечує йому гіроскопічну стійкість під час польоту.

Оскільки на ствол в процесі експлуатації діють складні високошвидкісні термічні і силові навантаження, то до нього пред'являються певні вимоги з надійності, зокрема вимоги безвідмовності і довговічності (живучості). Безвідмовність забезпечується міцністю стінок ствола, здатністю витримувати тиск до 450 МПа і більше. Довговічність забезпечується зносостійкістю і жароміцністю каналу ствола. Міцність, безвідмовність, довговічність та інші вимоги, що пред'являються до стволів, можуть бути забезпечені технологією їх виготовлення [1].

Технології 3D-друку (адитивні технології) сьогодні це одна з найбільш динамічних галузей виробництва, яка надає можливість отримувати нові властивості виробів і економити час та матеріали при їх виготовленні. Характерною тенденцією останніх років є постійний ріст переліку деталей, що виготовляються за адитивними технологіями. Професійні 3D принтери активно застосовуються в сфері дрібносерійного виробництва. Найчастіше дану технологію використовують для виготовлення прототипів і концептуальних моделей майбутніх споживчих товарів або їх конструктивних деталей. Такі моделі використовуються як в експериментальних цілях, так і для презентацій нових товарів [2].

Пропонується використання 3D-друку для виготовлення прототипів і зразків нових технічних засобів для обробки стволів вогнепальної зброї. Розробку прототипів доцільно вести у програмі SolidWorks, що призначена для моделювання промислових об'єктів. Вона зазвичай використовується в області електричного проектування, проектування виробів в цілому або для промислового дизайну. При створенні ефективної 3D-моделі необхідно враховувати деякі обмеження, які викликані властивостями матеріалів і впливом на них зовнішніх факторів (тиску). У моделюванні SolidWorks використовується сплайн-моделювання, що забезпечує більшу точність.

**Висновки.** Результати дослідження можуть бути застосовані для пришвидшення впровадження нових розробок і технологій у процес обробки заготовок стволів, та створення радіально-обтискних машинах, призначених для виготовлення стволів з багатозмінним зовнішнім профілем.

1. Автоматична стрілецька зброя : вчора, сьогодні, завтра : монографія у 2 т. / В. І. Стеблюк, Д. Б. Шкарлуга, Ю. Г. Розов, Ю. В. Лагно; за ред. чл.-кор. НАНУ М. Ю. Ільченка. – К. : Вид-во Херсонського національного технічного університету, 2011. – Т.1. – Пістолети-кулемети. – 416 с., Т.2. – Автомати (штурмові гвинтівки). – 436 с.
2. Русанов С. А., Омельчук А. А., Федорчук Д. Д. Математичні моделі і програмні продукти розв'язку задач кінематики і аналізу стратегій обробки. Прикладні питання математичного моделювання. 2018. Вип. 2. С. 146-160.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ПРИ ЗМІНЕННІ ПРОГРАМИ РЕГУЛЮВАННЯ

Українські енергоблоки АЕС працюють на енергосистему з великою кількістю споживачів електроенергії. Споживання електроенергії досить стрибкоподібно, це пов'язано з різними потребами її використання, яке залежить від сезону, дня тижня, а також часу доби. Енергоблоки з ВВЕР - 1000 проектувалися для роботи, тільки в базовому режимі, тому питання маневрування енергоблоками, на сьогоднішній день, є гострим, а рішення такого завдання неоднозначно. Вибір програми регулювання залежить від багатьох факторів, але завжди зміна програми регулювання проводиться після зупинки енергоблоку. Однак, були проведені дослідження, які показали, що можливі ситуації, коли виникає необхідність перейти з однієї програми регулювання на іншу і це можна зробити без зупинки енергоблоку. Тому виникла необхідність синтезу та аналізу автоматизованої системи регулювання потужності енергоблоку АЕС, що дозволяє підтримувати характерний технологічний параметр, який вибирається в залежності від застосовуваної програми регулювання без зупинки енергоблоку.

У багатьох роботах, присвяченій проблемі покриття змінної частини графіків навантажень [1, 2], вказується, що підвищення частки атомних електростанцій (далі - АЕС) в загальній встановленій потужності вимагає підвищеної маневреності енергообладнання АЕС, тобто роботи енергоблоків АЕС в змінному режимі. Будь-яка циклічність навантаження обладнання підсилює ефект зносу, в першу чергу це відбивається на тепловиділяючих елементах. Відомо, що для регулювання потужності енергоблоку існує три основних програми регулювання та їх модифікації. Підтримка технологічних параметрів відповідно до кожної з програм по-різному впливає на знос обладнання енергоблоку. Проведені дослідження [3, 4, 5, 6] показують, що можливі ситуації, коли виникає необхідність перейти з однієї програми регулювання на іншу, і це можна зробити без зупинки енергоблоку. Тому виникла необхідність синтезу та аналізу автоматизованої системи регулювання потужності енергоблоку АЕС, що дозволяє підтримувати характерний технологічний параметр, який вибирається залежно від застосовуваної програми регулювання без зупинки енергоблоку.

Таким чином, стаття присвячена аналізу перехідних процесів, що відбуваються в АСР потужності енергоблоку АЕС при змінненні програм регулювання без зупинення енергоблоку.

У роботі розглянуто технологічний процес регулювання потужності енергоблоку з порівнянням процесів регулювання при переключенні між різними програмами. З'ясовано що з точки зору якості підтримання потужності переключення не є еквівалентними, а саме: перехід з програми регулювання  $p_{cp}=\text{const}$  на  $t_{cp}=\text{const}$  супроводжується відхиленням потужності на 5%. Зворотнє переключення супроводжується відхиленням потужності на 1.1%. Тому, при розробці алгоритму регулювання енергоблоку необхідно враховувати якість регулювання та обирати найкращий алгоритм переключення.

### Література.

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. *Теплоэнергетика*. 1974. № 6. С. 16-19.
2. Игнатенко Е. И., Пыткин Ю. Н. Маневренность реакторов типа ВВЭР. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 83 с.
3. Баскаков В.Е. Алгоритм эксплуатации энергоблока с ВВЭР в поддержании суточного баланса мощности энергосистемы. *Труды Одесского политехнического университета*. Одесса, 2007, Вып. 2(28). С. 56-59
4. Чмелев Е.И. Давидченко Д.В., Беглов К.В. Исследование каскадной автоматизированной системы регулирования мощности энергоблока атомной электростанции. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Т. 29. № 1. С. 137-142
5. Кокол Е.А. Оптимальное управление мощностью ВВЭР-1000 за счет целевого выбора программы регулирования. *Автоматика 2015:XXII Междунар. конф. по автоматическому управлению*. 10-11 сентября 2015 г. Одесса. – С. 119-120.
6. Одреховська Є. О. Оптимізація перемикання статичних програм регулювання потужності ЯЕУ з ВВЕР — 1000 в перехідних режимах експлуатації: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.13.07. Одеса, 2017. 20 с.

## РОЗРОБКА І ЗАСТОСУВАННЯ НАДБУДОВИ EXCEL ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Робота присвячена розробці надбудови табличного процесору MS Excel для проведення аналізу часових рядів. Актуальність розробки такого програмного забезпечення обумовлена, з одного боку, широким розповсюдженням пакету MS Excel і зручністю його використання, а з другого - відсутністю низки вбудованих функцій, які необхідні для вирішення такого класу задач. Надбудова забезпечує додаткові функціональні можливості обробки часових рядів у процесорі MS Excel і використовує функції, які перебувають у бібліотечному dll-файлі [1]. У функціях надбудови реалізовані такі можливості: перегляд даних часового ряду; експоненціальне згладжування часового ряду; нелінійне перетворення Бокса-Кокса (Box-Cox Transformation); згладжування цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою (KIX)]. Діаграма компонентів, яка доводить структуру надбудови Excel та системи розробки, наведена на рисунку 1.

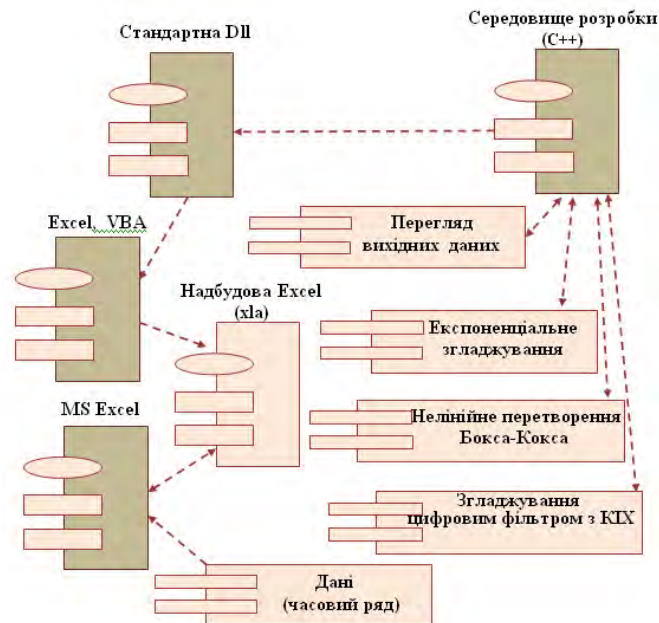


Рисунок 1. Діаграма компонентів для надбудови Excel

У надбудові проведено аналіз часового ряду, що відображає кількість громадян, які вперше звернулися до лікувально-профілактичних закладів України зі скаргами на органи травлення. Вихідні дані – щомісячна кількість пацієнтів, які звернулися за проміжком з січня 2006 року по грудень 2015 року. В результаті можна визначити: довготривалу тенденцію; циклічні зміни, які зазвичай пов'язані з коливаннями фізіологічної активності організму людини; сезонні коливання; нерегулярні коливання, пов'язані з непередбачуваними випадковими подіями.

**Висновки.** Нова надбудова призначена для роботи з часовими рядами. Надбудова дозволяє виконати згладжування часового ряду та провести спектральний аналіз даних. Передбачено виведення отриманих результатів в лист Ms Excel. Підтвердження функціональності надбудови було проведено шляхом порівняння результатів, які отримані при аналогічній обробці досліджуваного ряду в програмі ITSM 2000 [2].

1. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. СПб.: БХВ – Петербург, 2004. 512 с.
2. Peter J. Brockwell, Richard A. Davis. Introduction to Time Series and Forecasting: 2002. 449с.



### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУННЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТИЦЫ В ДВУХЪЯМНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

Работа посвящена изложению математической модели и результатов численных расчетов по туннелированию волновой функции в двухъямном потенциале. Предложен и использован биквадратичный потенциал двухъямного вида. На основе математической модели временной эволюции волновой функции построен численный алгоритм и программа решения уравнения Шредингера. Физическая задача основывается на включении в потенциал временной зависимости синусоидального вида, содержащую частоту и индекс модуляции. В результате численных экспериментов получены режимы модуляции, при которых имело место туннелирование. Проведена проверка отсутствия туннелирования в режиме, когда отключена синусоидальная модуляция. Для различных случаев частотной модуляции приведены результаты численного моделирования процесса туннелирования. Путем направленного изменения параметров модуляции возможно регулировать скоростью туннелирования волновой функции частицы. Показана возможность регулировки эффективности туннелирования путем выбора частоты модуляции.

На рисунке приведены основные данные моделирующих расчетов. Показана временная эволюция квадрата модуля волновой функции. Можно видеть эволюцию волнового пакета из левой ямы потенциала в правую яму.

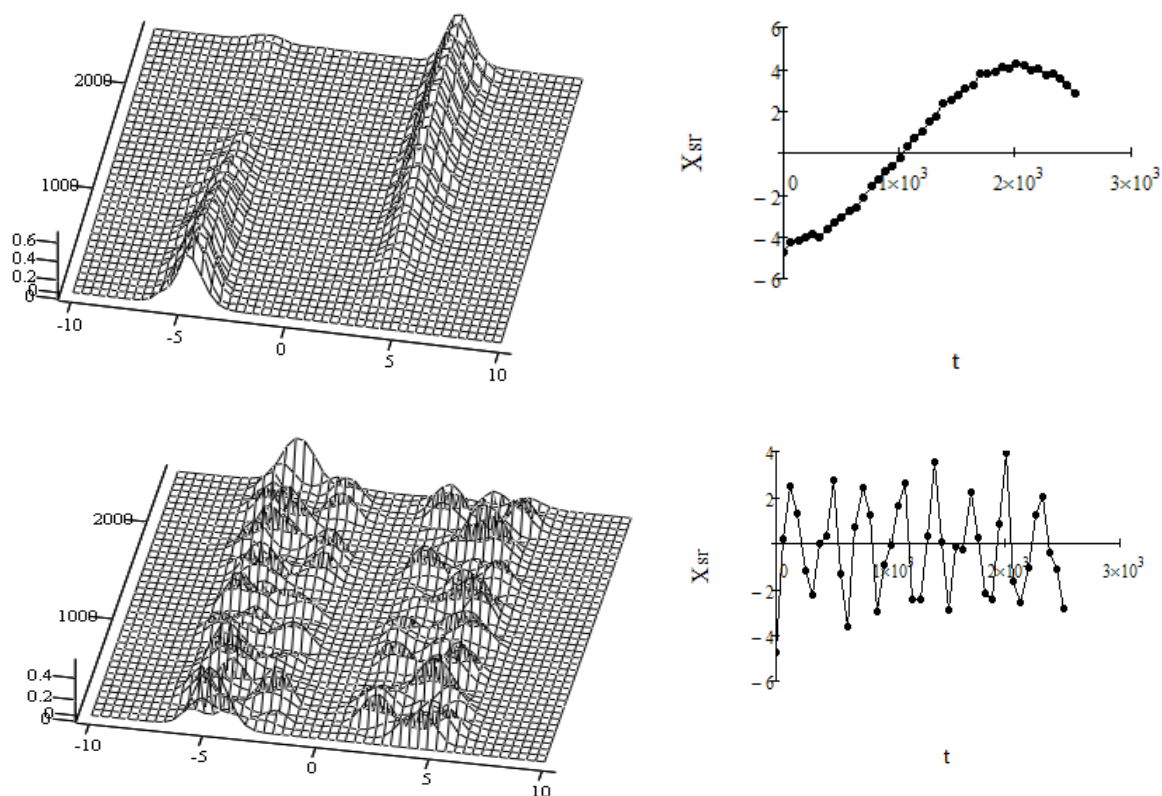


Рис. 1. Моделирующие зависимости по динамике частицы в двухъямном потенциале.

Сверху – индекс модуляции составляет 2.0, снизу 1.7.

Слева – динамика туннелирования волнового пакета с течением времени, справа – эволюция средневзвешенной координаты  $X_{st}$  волнового пакета

## КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Сучасний стан металургійного виробництва відображає глобальні процеси, які відбуваються у світовій економіці. На розвиток промислових об'єктів України негативний вплив становить високий відсоток енергетичних витрат, який в середньому становить 8-12% [1]. Висока енергоємність металургійних підприємств при постійному підвищенні цін на паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) ставить проблеми енергоресурсозбереження на перше місце.

Для металургійних заводів проблема енергозбереження є однією з напрямків для зниження затрат виробництва та підвищення конкурентоспроможності їх продукції на ринку [2]. Для вирішення цих завдань необхідно мати стратегію розвитку підприємства, яка нерозривно пов'язана з основними напрямками енерго- та ресурсозбереження.

В роботі описані проблеми енергозбереження та управління виробничими витратами на підприємствах металургійного комплексу. Обґрунтовано необхідність проведення політики енерго- та ресурсозбереження виробниками металопродукції, позначені напрямки енергозбереження на рівні підприємств для підвищення ефективності їх роботи.

Виявлено особливості управління енергозбереженням через організацію системи енергоменеджменту на підприємстві, заснованої на операційному управлінні процесами енергозабезпечення, енергоспоживання та реалізації енергозберігаючих заходів за напрямками їх здійснення [3].

Розроблено модель, яка містить систему цілей та збалансованих показників розвитку, на базі яких створюється головний цикл управління (прогнозу) програми. Програма інноваційного розвитку охоплює ряд взаємопов'язаних планів або їх портфелів, здійснення яких гарантує досягнення цілей. При цьому інноваційна платформа програми буде вибудовуватися на новітніх знаннях і технологіях, що надходять із зовнішнього середовища.

**Висновки.** Проаналізовано особливості управління енергозбереженням через організацію системи маркетингу на підприємстві, заснованої на операційному управлінні процесами енергозабезпечення, енергоспоживання та реалізації енергозберігаючих технологій згідно напрямками їх втілення. Реалізація обґрунтованих в роботі концептуальних положень дозволить промисловим підприємствам керувати процесами енергозбереження, оцінювати вплив інтегративних факторів розвитку на ефективність підприємства, підвищувати стійкість економічного зростання та розробляти стратегії свого розвитку на довгостроковий період.

1. Седых А.М., Юзов О.В. Анализ производственно-хозяйственной деятельности металлургических предприятий : Учебное пособие для вузов. 2-е изд. доп. и перераб. М.: МИСИС, 2005. - 360 с.

2. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения / Екатеринбург: ИД «Сократ», 2002. - 352 с.

3. Ачкасов И.А. Управление инновационными программами энергосбережения. Управление проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2007 - №3(23). С. 25-31.

## СИНХРОННО-ГРЕБІНЧАСТИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛАХ РОТОРНИХ МАШИН

Вимірювання і аналіз віброакустичної активності роторних машин дозволяє визначити технічні стан як всього агрегату, так і окремих його вузлів. З цієї причини обов'язковою складовою автоматизованих систем технічної діагностики роторних машин є аналіз віброакустичних сигналів [1,2]. Як правило, аналіз віброакустичної активності заснований на використанні перетворення Фур'є, але при роботі роторної машини на перехідних режимах такий підхід є некоректним через нестационарності аналізованого процесу. Одним з рішень є застосування методів синхронної обробки даних, в яких вузлом, що виділяють регулярні компоненти, є синхронно-гребінчастий фільтр (СГФ) [3], амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) якого перебудовується і має смуги пропускання сигналу на частотах кратних частоті обертання ротора (незалежно від зміни частоти обертання ротора). Метою роботи є побудова синхронно-гребінчастого фільтру, здатного виділяти регулярні компоненти з цілою і нецілою кратністю щодо частоти обертання ротора і визначення особливостей для застосування його в складі цифрових сигнальних процесорів.

В ході проведення налагоджувальних робіт по механічному погодженню нерухомих і обертових частин роторної машини, при незмінній частоті обертання ротора, в спектрі сигналу вібрації фіксувалися регуляторні компоненти (рисунок 1,а) які зменшувалися у міру успішного виконання механічного узгодження, або залишалися незмінними при наявності механічних пошкоджень що розвивалися. Одиничний фільтр зі смугами пропускання на частотах, які мають цілу кратність частоті обертання ротора і частотах, значення яких закінчуються на 1/2, 1/4 і 1/8, повинен мати структуру (рисунок 1, б):

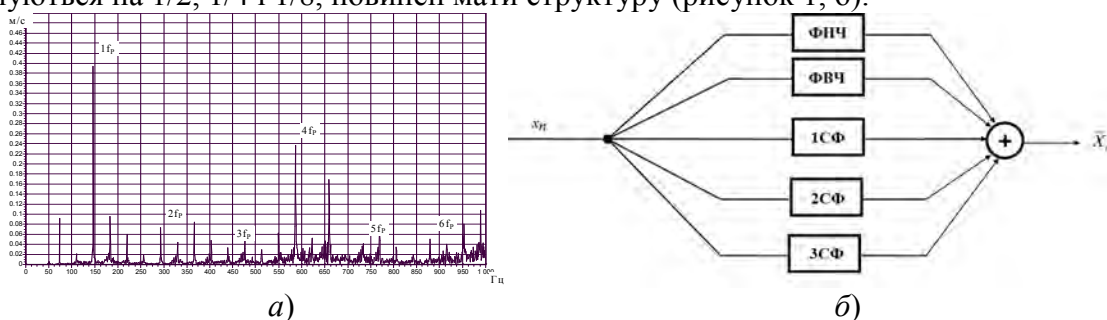


Рис. 1 - а) Спектр віброакустичної активності роторної машини при наявності регулярних компонент з кроком кратності 1/2 і 1/4, де  $f_r$  - частота обертання ротора, б) структура одиничного фільтра, що складається з паралельного з'єднання окремих фільтрів

**Висновки.** Запропонований метод побудови СГФ дозволяє виконувати виділення регулярних компонент з нецілою кратністю щодо частоти обертання ротора. Застосована паралельна структура з індивідуальних фільтрів спрощує формування загальної АЧХ. Визначено динамічний діапазон вихідного сигналу і вплив особливостей умов обчислень в складі DSP. Отримані в ході роботи результати мають практичну цінність для аналізу процесів, що відбуваються в обладнанні.

1. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. Изд 2-е. испр. М.: Машиностроение, 2000. 344 с.
2. Костюков В. Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: Изд-во Омуту, 2002. 108 с.
4. Емельянов С. В., Дмитриев Э. А. Измеритель параметров роторных машин. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, Одеса, 2000. N5-6. С. 48-49.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ РОЗМІРНИХ СПЕКТРІВ ВОСКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВІНТЕРИЗАЦІЇ

При виробництві рослинної олії важливу роль відіграє якісний та кількісний склад кінцевого, готового до споживання, продукту та його відповідність чинним в Україні ДСТУ. Асортимент сортів соняшnikової олії в Україні, досить широкий, але обладнання, яке використовується для виробництва олій істотно відрізняється. Так підприємства на різних етапах технологічної переробки використовують послідовні пресування, екстрагування олії із макухи, яка залишилася після пресу. Після пресової та екстракційної обробки отриманий продукт відправляють на подальшу рафінацію і очищення олії від супутніх органічних домішок. Але досягти абсолютної чистоти продукту не вдається. Отже, в технологічному процесі вінтеризації є важливим визначення концентрації зависей воскової природи, як під час самого технологічного процесу, так і виміри відносних концентрацій воскових частинок готового продукту на виході технологічного процесу.

Досліджувана концентрація компонентів воскової природи є функцією калібрувальної моделі обладнання. Для реалізації відносних вимірювань концентрації сполук воскової природи в соняшnikовій олії, було запропоновано метод визначення розмірних фракцій воскових частинок із використанням явища дифракції електромагнітних хвиль оптичного діапазону в паралельних променях (дифракція Фраунгофера) [1].

Технологія виведення воскових речовин виморожуванням полягає в повільному охолодженні олій, витримці їх при низькій температурі та наступному відділенні осаду фільтруванням [2]. Але процеси виморожування олій залишаються складними, незважаючи на численні розробки щодо їх вдосконалення. Це вимагає великих фільтруючих поверхонь для відділення вимороженої осаду, що призводить до значних втрат олії і пов'язані з трудомісткими роботами очищення фільтрів. До того ж, відділені при низькотемпературній кристалізації воскові осади містять значну кількість нейтрального жиру (64-65%) [3], що призводить до значних втрат олії з видаленням восковим осадом. Крім того, в процесі виморожування відбуваються деякі втрати фізіологічно цінних речовин, що знижує харчову цінність олій.

Метод контролю розмірних спектрів воскових включень соняшnikової олії заснований на дифракції лазерного випромінювання частинками малого розміру що відхиляють промінь світла на великий кут, тоді як частки великого розміру відхиляють його на малий кут. Метод лазерної дифракції, або відхилення випромінювання під малим кутом (*Low Angle Laser Light Scattering – LALLS*), який використовується для визначення розподілу частинок за розміром, заснований на аналізі профілю розсіювання світла, що виникає при освітленні частинки лазерним опроміненням. У методі лазерної дифракції (*Particle size analysis, PSD, Laser diffraction methods*) використовується апроксимація Фраунгофера, а також зворотне розсіяння світла [1]. Відхилення світла відбувається переважно за рахунок дифракції, тому теорію Фраунгофера для вимірювання розміру часток можна використовувати до мікронного діапазону. Велика перевага теорії Фраунгофера полягає в тому, що не потрібні знання оптичних властивостей досліджуваного матеріалу.

Форма багатоелементного фотодіодного детектору, застосованого для дослідження розмірних спектрів включень воскової природи в соняшниковій олії, має концентричну кільцеву структуру, оскільки форма воскових частинок вважається сферичною, що розраховується за теорією Мі. Кожен елемент має кінцеву розмірність, що охоплює кутовий діапазон  $\Delta\theta$  та  $\Delta\varphi$ . Значення  $\Delta\theta$  та  $\Delta\varphi$  залежить від радіального розташування  $i$ -го елементу фотодетектору. Повну інтенсивність розсіяння, виявлену при середніх кутах розсіювання  $\theta$  та  $\varphi$  від частинок в обсязі розсіювання на одиницю площі детектору, можна виразити інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду за формулою (1):

$$g(\theta, \varphi, D) = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} K(\theta, \varphi, D) f(D) dD \quad (1)$$

В даному виразі  $K(\theta, \varphi, D)$  називається функцією ядра, що є інтенсивністю одиничного розсіювання обсягу випромінювання від частки діаметру  $D$ , виявленої площею одиничного елементу детектору під кутами  $\theta$  та  $\varphi$ . В практичних дослідженнях вираз (1) можна представити у вигляді дискретного матричного формату (2) для визначення розподілу розмірів частинок за функцією  $f(D_j)$ :

$$g_i = \sum_{j=1}^m K_i(D_j) f_i(D_j) \Delta D_j \quad (2)$$

де  $g_i$  – вихід  $i$ -го елементу фотодіодного детектору;  $i$  – кількість елементів детектору;  $K_i(D_j)$  – функція ядра  $i$ -го розсіювання інтенсивності;  $D_j$  – типовий розмір частинок певної фракції;  $j$  – кількість рядів певного діаметру;  $f(D_j)$  – частота розподілу частинок за розміром при  $D_j$  на основі обсягу;  $\Delta D_j$  – інтервал між розподілами частинок за розмірами;  $m$  – кількість рядів частинок певного розміру.

Таким чином, застосування методу малокутового розсіювання світла у вимірювальному обладнанні, що містить в якості методичних основ теорію Фраунгофера та повну теорію Мі, дозволяє аналізувати розмірні спектри та розподіл частинок в досліджуваній системі коефіцієнт розсіювання основної фази якої невідомий. Метод малокутового світлорозсіювання (*LALLS*) заснований на аналізі профілю розсіювання світла що виникає при освітленні частинок лазерним пучком є фармакопейним (*USP24, EPb 6.0*). Даний метод показує достовірні результати при вимірюванні мілкодисперсних включень воскової та стерінової природи у неполярних розчинниках що пройшли попередні процеси відстоювання та центрифугування, внаслідок чого із олійної дисперсної фази були попередньо видалені крупнодисперсні зольні розмірні фракції.

### Список використаної літератури

1. Taranov V.V. Rozmirnyi spektr mikrohenykh struktur yak fizyko-khimichni stan ridynnoi systemy /Visnyk KhNTU №3 (66). Vyp 2. Kherson. 2018 r. S.93-96.
2. Antipov S.T., Yaschenko S.M., Ovsyannikov V.Yu. Kriogennoe vyimorazhivanie voskovykh veschestv iz rastitelnykh masel. Materialy XXXVII otchetnoy nauchnoy konferentsii za 1998 g. v 2 ch /Voronezh, gosud. tehnol. akad. Voronezh, 1999. ch.1. S. 140-141.
3. Levchuk I.V., Kishchenko V.A., Tymchenko V.K., Kunytsia K.V. Udoskonalennia metodu vyznachennia voskopodibnykh rehovyn v oliiakh za dopomohoiu vysokotemperaturnoi hazoridynnoi khromatohrafiї //Tekhnolohichniy audyt i rezervy vyrobnytstva. Kh.: Tekhnolohichniy tsentr, 2016. № 2/4 (28). S. 26-27.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ

При математическом моделировании напряжённо-деформированного состояния вязкоупругих тел с включениями или накладками можно использовать различные методы, как аналитические, так и численные (например, метод конечных элементов). Недостатками численных методов являются сложности с учетом сильной анизотропии материала. При решении задачи применяемым авторами асимптотическим методом нюансы выбора малого параметра дают обратный эффект. Чем сильнее анизотропия материала, тем точнее получаемые решения. При построении моделей сложных задач теории упругости и вязкоупругости приходится прибегать к упрощению разрешающих систем уравнений. Одним из эффективных подходов являются методы малых параметров [1]. В данной работе описан метод возмущений когда малый параметр представляет собой отношение жесткостных характеристик. Первоначальные идеи метода изложены в [2]. В данной работе метод обобщен на случай пространственных задач линейной теории вязкоупругости. Удалось не просто расщепить напряженно-деформированное состояние на три составляющие с различными свойствами, но и сохранить связь между этими состояниями, что повышает качество математической модели и приближает ее к реальной задаче. Проведен анализ дифференциальных уравнений пространственной теории вязкоупругости ортотропного тела. Напряженно-деформированное состояние такого тела расщепляется на три составляющие с различными свойствами, которые связаны через граничные условия по касательным напряжениям. Решение исходной задачи находится в виде суперпозиции составляющих.

Показана возможность формулировки граничных условий для отыскания основных функций, что сводит решение пространственной задачи теории вязкоупругости к последовательно решаемым краевым задачам теории потенциала.

Так как полученные решения представляют собой трансформанты Лапласа, то предложен метод возвращения к оригиналам с помощью двухточечной аппроксиманты Паде и предельных представлений искомых величин.

Для демонстрации эффективности работы данного метода приводится решение модельной задачи для вязкоупругого ортотропного тела с цилиндрической анизотропией. Ранее данный метод был применён для решения контактных задач о передаче нагрузки от упругих включений упругим пластинам с криволинейной анизотропией.

1. Manevich L.I. Asymptotic method in the theory of an elasticity of an orthotropic skew field /L.I. Manevich, A.V. Pavlenko, S.G. Koblik. – К. : Vusha shkola, 1982. – 152.
2. Кагадий Т. С. Метод возмущений в механике упругих (вязкоупругих) анизотропных и композиционных материалов / Т. С. Кагадий. – Днепропетровск : РИК НГА України, 1998. – 260 с.
3. Дж. Бейкер, мл. П.Грейвс-Моррис Аппроксимации Паде /Москва, 1986/ 496 С
4. Кузьменко В. И. Компьютерное моделирование поведения упругопластических оснований сложной структуры / В. И. Кузьменко, Ю Е. Власенко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2008. – №12. – С. 113-123.

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ ЛОПАТКИ КОМПРЕСОРА ПІД ДІЄЮ ПОВЕРХНЕВОГО РОЗПОДІЛЕНОГО ТИСКУ НА ОСНОВІ ГАЗОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ

Актуальним питанням при проектуванні турбомашин з метою попередження вібраційних поломок є аналіз рівня напружень основних конструкційних елементів турбомашини – лопаток, що представляють собою деформівні системи, здатні здійснювати механічні коливання. Під час роботи компресора на робочі лопатки діють статичні, динамічні і температурні навантаження. До статичних навантажень відносяться відцентрові сили і газові сили, що виникають при обтіканні профілю пера лопатки газовим потоком. Визначення розподілення вібраційної напруги під дією гармонік збурених газодинамічних сил проводиться для забезпечення динамічної міцності конструкційних елементів турбомашин [1]. Попереднім етапом розв'язку динамічної задачі є розрахунки на статичну міцність.

В роботі отримані результати статичного розрахунку лопатки компресора газотурбінного двигуна на основі газодинамічного моделювання потоку в міжлопатковому каналі. На базі чисельного моделювання в'язкої течії газу на основі рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсом (RANS–модель). В результаті було отримано розподіл полів тиску і швидкості в міжлопатковому каналі та виявлені несприятливі зони течії (рис. 1). На другому етапі було розроблено алгоритм, за допомогою якого встановлено взаємодію газодинамічного та механічного розрахункових комплексів. Отриманий розподілений тиск розглядається як крайові умови для скінченноелементної моделі лопатки. В результаті отримана інтенсивність напружень за Мізесом та виявлені локалізації максимальних напружень (рис. 2).

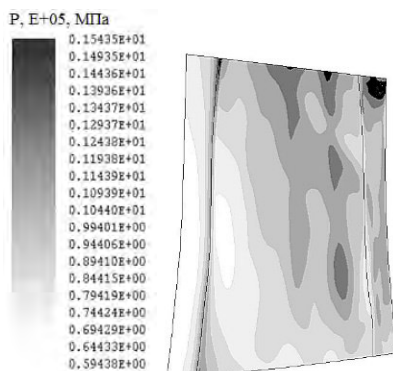


Рис. 1. Розподілений тиск на поверхні лопатки

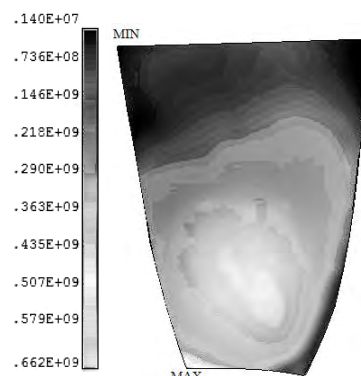


Рис. 2. Напруження за Мізесом

**Висновки.** В даній роботі був проведений статичний аналіз лопатки на основі тривимірного моделювання потоку. На першому етапі розрахунку було проведено чисельне моделювання потоку в міжлопатковому каналі компресора газодинамічного двигуна. Реалізована математична модель течії дозволяє визначити основні параметри течії (тиск, швидкість). Проведено розрахунок лопатки при дії постійного тиску з метою визначення напружено-деформованого стану. Визначено, що максимальні значення переміщень присутні на вхідній кромці кореня лопатки .

1. Карпик А.А., Яковлев В.А., Воробьев Ю.С. Анализ газодинамической структуры потока в решетках профилей осевого компрессора газотурбинного двигателя. *Проблемы машиностроения*. Харьков, 2015. Том №18, 4/2. С. 18–23.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С ХОДОВОГО МОСТИКА

Безопасность и экономическая эффективность судоходства в значительной мере определяется качеством управления судном. Основой принятия качественных решений является учет свойств объекта управления и оптимальность алгоритмов, используемых в системе управления. Для задачи обеспечения работы судоводителя как элемента команды навигационного мостика, необходимо не только учитывать динамику судна и возмущения связанные с волнением, условиями мореплавания и загрузки судна, но и с оперативностью - динамическими характеристиками команды навигационного мостика. Основным методом повышения характеристик принимаемых решений командой ходового мостика является обучение и тренинг с использованием современных моделирующих систем [1]. В этом свете актуальна задача разработки модели динамики системы судно – навигационный мостик.

В работе проведен анализ известных методов учета волновых возмущений судна [2,3], а также возможность использования такового в качестве критерия идентификации модели судна. Целью исследования была разработка и обоснование методов моделирования динамики системы судно – команда ходового мостика с учетом возмущений от качки, параметров загрузки и условий плавания.

В работе приведена формализованная математическая модель судна в пространстве состояний и матрицей возмущений  $Q$ :

$$I\dot{x} + A_0x + A_1x = Qg + Bu.$$

Однако, данная модель не раскрывает полностью процесса формирования управления  $u$  со стороны команды ходового мостика. Оно может быть описано формализованным видом восприятия, анализа информации и принятия решения. В конечном итоге получаем:

$$\left. \begin{aligned} I\dot{x} + A_0x + A_1x &= Qg + B\epsilon_n \\ u &= B_{01}u + B_{11}g \\ \epsilon_1 &= S(u, u_1^*) \\ u &= B_{02}u + B_{12}\epsilon_1 \\ \epsilon_2 &= S(u, u_2^*) \\ &\vdots \\ u &= B_{0n}u + B_{1n}\epsilon_{n-1} \\ \epsilon_n &= S(u, u_n^*) \end{aligned} \right\}.$$

Эта модель описывает реакцию команды мостика на возмущение  $g$  при заданных порогах реакции для команды мостика:  $u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*$ . При этом, матрицы  $B_{01}, B_{02}, \dots, B_{0n}$  и  $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1n}$  индивидуальны для каждого из членов команды мостика [4].

В работе приведена структурная схема динамики управления судном с ходового мостика, а также результаты моделирования в среде MATLAB-Simulink процесса управления судном при взаимодействии четырех членов экипажа на мостике.

**Выводы.** Результаты работы могут быть внедрены в существующее программное обеспечение тренажерных комплексов подготовки судоводителей, а также использоваться в процессе оценивания компетентности состава действующих команд ходовых мостиков.

### Список используемой литературы:

1. Устюжанин А.Д. Динамическая идентификация и оценивание характеристик человека-оператора в системах «человек–машина» / Устюжанин А.Д., Пупков К.А. – М.: РУДН, 2011. –180с.
2. Борисов Р.В. Качка корабля / В.Ю. Семенова, Р.В. Борисов, Учебное пособие Санкт-петербургский государственный морской технический университет Санкт-Петербург, 2006. - 20с.
3. Navi Trainer 4000. Mathematical models technical description Transas Marine Ltd. July, 2003. 100 p.
4. Каштальян П.В. Методы и средства тренажерной подготовки команды ходового мостика / Каштальян П.В., Рожков С.А., Тимофеев К.В. Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2018. – № 2 (19).



**ГОМОГЕНІЗАЦІЯ В'ЯЗКОПРУЖНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТУ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ ЗСУВІ**

У роботі визначено ефективний операторний модуль поздовжнього зсуву для в'язкопружного трансверсально-ізотропного односпрямованого волокнистого композиту. Складовими композиту є трансверсально-ізотропна в'язкопружна матриця та трансверсально-ізотропне в'язкопружне волокно. Їх площини ізотропії збігаються та перпендикулярні осі волокна. В'язкопружні властивості матриці описуються ядром релаксації абелевого типу. Гомогенізація здійснюється для комірки композиту, що знаходиться в умовах чистого поздовжнього зсуву.

Для в'язкопружного волокнистого композиту операторний модуль поздовжнього зсуву є інтегральним оператором, що має вигляд:

$$\bar{G}_{12}[y(t)] = G_{12} \left( y(t) - \int_0^t R(t-\tau) y(\tau) d\tau \right), \quad (1)$$

де  $R(t-\tau)$  – ядро релаксації,  $G_{12}$  – сталий миттєвий модуль зсуву,  $y(t)$  – функція, на яку діє інтегральний оператор  $\bar{G}_{12}$

Розглядається композит з гексагональним укладанням волокон. Елементарна гексагональна комірка апроксимується комбінацією двох коаксіальних нескінченних циліндрів - порожнистого, що моделює матрицю, і вставленого в нього суцільного циліндра, який моделює волокно.

Для отримання характеристик інтегрального оператора (1) розв'язуються дві крайові задачі: про спільний поздовжній зсув порожнистого та суцільного циліндрів, що моделюють відповідно матрицю і волокно, та про поздовжній зсув трансверсально-ізотропного в'язкопружного суцільного циліндра, що моделює композит. Для цього застосовується перетворення Лапласа. У якості умови узгодження для цих двох задач використаємо рівність осьових переміщень матриці і композиту на зовнішній поверхні комірки.

Такий підхід дозволив отримати формулу для миттєвого модуля зсуву:

$$G_{12} = \frac{G_{12}^* (G_{12}^\circ (1+f) + G_{12}^* (1-f))}{(1-f)G_{12}^\circ + (1+f)G_{12}^*}, \quad (4)$$

де  $G_{12}^\circ$  – модуль подовжнього зсуву волокна,  $G_{12}^*$  – миттєвий модуль подовжнього зсуву матриці,  $f$  – частка волокна у композиті.

Для ядра релаксації Абеля матриці композиту  $R^*(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi t}}$  ядро релаксації ефективного операторного модуля поздовжнього зсуву визначається рівністю:

$$R(t) = \frac{4f(1-f)}{1+f} \cdot \frac{(G_{12}^\circ)^2}{(1-f^2)((G_{12}^\circ)^2 + (G_{12}^*)^2) + 2(1+f^2)G_{12}^*G_{12}^\circ} \times \quad (5)$$

$$\times \left( \frac{1}{\sqrt{\pi t}} + \alpha e^{\alpha^2 t} (1 - \operatorname{erf}(\alpha \sqrt{t})) \right) + \frac{1-f}{1+f} \cdot \frac{(1-f)G_{12}^\circ + (1+f)G_{12}^*}{(1-f)G_{12}^* + (1+f)G_{12}^\circ} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}},$$

$$\text{де } \alpha = \frac{(1+f)G_{12}^*}{(1+f)G_{12}^* + (1-f)G_{12}^\circ}, \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Запропоновану методику визначення ефективних операторних модулів, що ґрунтується на застосуванні кінематичних умов узгодження вибраних переміщень точок матриці, волокна та однорідного композиту, можна застосувати також для визначення інших ефективних характеристик в'язкопружного композиту.

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ПРИКЛАДИ ЗАДАЧ РОЗБИТТЯ ОБЛАСТІ НА ПІДОБЛАСТІ ЗА ВИЗНАЧЕНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ

Задачі упаковки (компоновки, покриття, розбиття) просторових об'єктів належать до задач геометричного проектування і пов'язані з оптимізаційним відображенням геометричної інформації про геометричні об'єкти згідно функції мети та обмежень. Геометрична інформація про геометричний об'єкт складається з трьох компонент: просторових форм, як класу еквівалентності на сукупності точкових множин в  $R^3$ ; метричних параметрів форми, які задають розміри об'єктів, та параметрів розміщення, які визначають положення об'єкта у просторі в  $R^3$ . Конфігураційний простір об'єкта - це простір, узагальненими змінними якого є метричні параметри і параметри їх розміщення. Конфігураційний простір множини об'єктів - це прямий добуток конфігураційних просторів об'єктів множини. Відображення множини об'єктів в їх конфігураційний простір згідно заданому набору обмежень задає просторову конфігурацію геометричних об'єктів [1].

В статті отримало подальший розвиток поняття просторових конфігурацій геометричних об'єктів, виділені обмеження, які дозволили сформуванню класу просторових конфігурацій розбиття, зокрема розбиття області на підобласті, кожна з яких розбивається на підмножини за різними функціями мети та різними обмеженнями.

Наведено приклади прикладних задач розбиття, які описуються математичними моделями виділеного класу розбиття.

Задача розбиття тривимірної області (будівлі) на два типи підобластей, перший – це підобласті за функціональним призначенням (приміщення) з максимізацією їх об'ємів при обмеженнях норм проектування; другий – це підобласті, що визначають раціональну мережу коридорів та сходів, за заданим критерієм, наприклад, за критерієм часу руху потоків людей при обмеженнях як на параметри потоку, так і на метричні характеристики трас, що враховують норми будівництва [2].

Задача розбиття двовимірної області (посівних площ) на два типи підмножин, перший вид – це підобласті (ділянки для різних культур) з заданим співвідношенням їх площ з урахуванням агротехнічних, протипожежних вимог та з максимізацією їх площ, другий вид – це підобласті, що визначають траси до кожної з підобластей (дороги) з урахуванням обмежень та за заданим критерієм, наприклад за критерієм мінімізацію часу вивозу урожаю, який планується [3].

**Висновки.** Розгляд метричних параметрів об'єктів в якості незалежних змінних розширює можливості застосування методів локальної та глобальної оптимізації стосовно задач розбиття області на підобласті.

### Перелік використаної літератури

1. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В., Пичугина О.С. Евклидовы комбинаторные конфигурации. Харьков: Константа, 2017. 404 с.
2. Комяк В.В., Комяк В.М., Соболь А.Н. Разбиение и трассировка в задачах пожарной безопасности строительства. Харків: НУЦЗУ, 2016. 160 с.
3. Комяк В.М., Соболь А.Н., Долгодуш М.Н. Рациональное разбиение посевных площадей по заданным требованиям. Харьков: УЦЗ Украины, 2008. 91с.

## ЕВРИСТИЧНІ АЛГОРИТМИ В ЗАДАЧАХ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Ключовою задачею у сфері логістики є пошук оптимальних маршрутів транспортних засобів. У тих випадках, коли застосування точних методів у комп'ютерних науках, штучному інтелекті та математичній оптимізації є занадто повільним, тоді альтернативою може стати евристична техніка, яка дозволяє значно швидше вирішувати поставлені завдання та проблеми [1].

Для розв'язання задач маршрутизації існує достатньо велика кількість алгоритмів знаходження оптимального шляху [2-3]. Мета роботи складається у розробці та дослідженні алгоритмів пошуку розв'язання задач маршрутизації з різними обмеженнями: різнорідним автопарком, роздільними поставками, часовими вікнами для доставки вантажів. Необхідно розробити інформаційну систему з підтримки прийняття рішень у транспортній логістиці.

Пропонується будувати маршрут у два загальні етапи. На першому етапі виконується побудова початкового розв'язку, на другому – його поліпшення. Для реалізації першого етапу пропонується застосувати метод найближчого сусіда. На другому етапі поліпшення маршруту здійснюється за допомогою евристичних алгоритмів: 2-opt та 3-opt [3].

Для побудови маршруту з урахуванням часових вікон, спочатку знаходиться «тур» за допомогою жадібного алгоритму; потім його покращують алгоритмами 2-opt та 3-opt з урахуванням часових вікон для кожного пункту. Задача маршрутизації транспортних засобів з урахуванням часових вікон та обмеженою вантажомісткістю використовує  $n$  машин для об'їзду усіх пунктів маршруту (рис. 1).

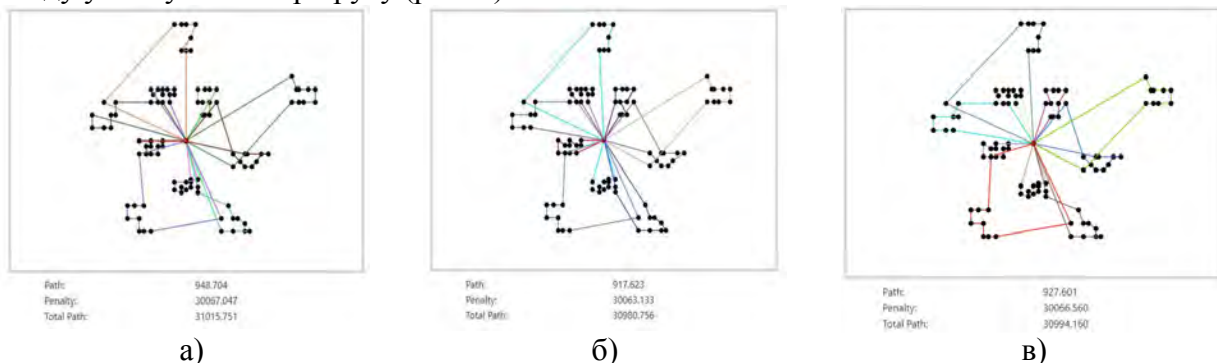


Рис. 1. Маршрут побудований: а) жадібним алгоритмом; б) жадібним алгоритмом та 2-opt алгоритмом з алгоритмом обміну; в) жадібним алгоритмом та 3-opt алгоритмом з алгоритмом обміну

**Висновки.** У роботі для вирішення поставленого завдання запропоновано використовувати підхід у два етапи: отримання приблизного розв'язку та його покращення. Результати проведених чисельних експериментів дають змогу стверджувати, що використання евристичних алгоритмів та їх комбінування при розв'язанні задачі маршрутизації є доцільним та ефективним в обчислювальному сенсі.

1. Зеленцов Д. Г., Короткая Л. И. Технологии вычислительного интеллекта в задачах моделирования динамических систем: монография. Днепр: Баланс-Клуб, 2018. – 178 с. DOI: 10.32434/mono-1-ZDG-KLI
2. Методи аналізу складності алгоритмів: [навчальний посібник] / І. Г. Губар, Л. В. Куценко, К. А. Кузнецов, Г. Й. Михальчук. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. 88 с.
3. Коротка Є. А., Михальчук Г. Й. Застосування та дослідження евристичних алгоритмів для розв'язання задачі комівояжера *Проблеми прикладної математики та комп'ютерних наук*: тези доповідей тематичної наукової конференції за підсумками науково-дослідної роботи Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара за 2017 рік – Д.: ДНУ, 2018. – С. 29.

## ГРАНИЧНІ ФОРМИ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ, ЗАДАНИХ НА МНОЖИНІ РЕАЛІЗАЦІЙ

Значна кількість застосувань пов'язана з аналізом та обробленням цифрових сигналів, представлених множинами реалізацій, отриманими за різних умов їхньої фіксації. Такий характер сигналів зумовлений як способом їх формування, так й наявністю завад (шумів), які виникають при формуванні та передачі сигналів, і тим самим визначають їх багатовимірний характер. Існуючі результати, пов'язані з тематичною інтерпретацією таких сигналів, обмежені аналізом лише окремих реалізацій без урахування їх усієї множини.

В роботі запропоновано метод визначення граничних стаціонарних форм цифрових сигналів, заданих множинами реалізацій, отриманих за різних умов їхнього формування. Метод базується на моделі формоутворення таких сигналів, яка узагальнює подання сигналів у вигляді марківських ергодичних ланцюгів. Визначення просторових розподілів інтенсивності граничних реалізацій цифрових сигналів здійснено на основі нормованих матриць переходів (статистичних операторів) між різними реалізаціями первинних сигналів. За базову реалізацію сигналу, що аналізується, прийняти така, що має найбільшу енергетичну інформаційну ентропію. Для забезпечення статистичної незалежності стовпців матриць переходів використано їхню QR-декомпозицію.

Визначення граничної реалізації аналізованого сигналу здійснюється перетворенням, зворотнім до використаного при нормалізації матриць переходів. Розглянуто варіант реалізації запропонованого методу за малого ступеню обумовленості вихідної матриці переходів. Для цього випадку вказано спосіб переозначення матриці переходів, за якого виконується умова її нормалізації. Власне побудова граничної реалізації цифрового сигналу зведена до розв'язання переозначеної системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом Мура-Пенроуза.

Запропонований метод є альтернативою екстраполяції даних, забезпечуючи робастність оцінок форм синтезованих сигналів.

Метод узагальнено на цифрові сигнали довільної вимірності на основі способу редукції вимірності багатовимірних даних, запропонованого у роботі [2]. Встановлено високий рівень збереження структурної схожості геометричних форм розподілів інтенсивностей вихідних та синтезованих реалізацій сигналів.

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані при тематичному аналізі багатовимірних сигналів довільної фізичної природи, екстраполяції експериментальних даних, прогнозування динаміки нестационарних сигналів та у розпізнаванні образів з контрольованим рівнем достовірності прийняття рішень.

1. Даджион Р., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов / пер. с англ. под ред. Л.П.Ярославского, Москва, 1988. 488 с.
2. Корчинский В.М. Многомерное векторное представление распределений яркости многоспектральных растровых изображений дистанционного зондирования Земли. *Вестник Херсонского национального технического университета*, 2014. № 3 (50). С. 90-93.

## ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

При створенні математичних моделей об'єктів дослідження оправдано прагнення експериментаторів отримувати їх при мінімальних вартісних (часових) витратах. Для вирішення цих задач доцільно використовувати методи планування експериментів. При цьому виникає проблема оптимізації планів експерименту за вартісними (часовими) витратами на його реалізацію.

В роботі на ряді реальних технологічних процесів підтверджена працездатність та ефективність методів оптимізації за вартісними (часовими) витратами планів багатофакторних експериментів, що використовують код Грея. При цьому будувалися оптимальні плани для дослідження таких технологічних процесів, як нанесення гальванічних покриттів однакової товщини на друковані плати та процесу глибокого плазмохімічного травлення МЕМС.

Оптимальний план для процесу нанесення гальванічних покриттів наведено в табл.1, а для процесу глибокого плазмохімічного травлення МЕМС – в табл. 2.

Таблиця 1

№№ п /п	Позначення факторів			
	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	+1	+1	-1	-1
4	-1	+1	-1	-1
5	-1	+1	+1	-1
6	+1	+1	+1	-1
7	+1	-1	+1	-1
8	-1	-1	+1	-1
9	-1	-1	+1	+1
10	+1	-1	+1	+1
11	+1	+1	+1	+1
12	-1	+1	+1	+1
13	-1	+1	-1	+1
14	+1	+1	-1	+1
15	+1	-1	-1	+1
16	-1	-1	-1	+1

Таблиця 2

№№ п /п	Позначення факторів		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	+1	+1	-1
4	-1	+1	-1
5	-1	+1	+1
6	+1	+1	+1
7	+1	-1	+1
8	-1	-1	+1

### Висновки.

1. Доказана працездатність та ефективність метода оптимізації планів багатофакторних експериментів, оснований на застосуванні кода Грея.

2. Показано, що виграші, у порівнянні з початковими планами, по вартості реалізації отриманих планів експерименту для дослідження перерахованих об'єктів знаходяться в межах від 1,28 до 3,26 разів, а в часі реалізації – в 1,36 рази при дослідженні шорсткості поверхні кремнію у процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС.

3. Запропоновані методи побудови оптимальних планів багатофакторних експериментів на основі кода Грея можна ефективно використовувати при дослідженні різноманітних об'єктів, що дозволяють реалізацію на них активних експериментів.

## ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ РІЧКОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ ХМТП

При розгляді складних природних явищ, під дією різноманітних природних чинників виникають нелінійні залежності. Механізми взаємодії цих явищ вимагають застосування нестандартних підходів для опису і формалізації процесів. Взаємозалежність процесів створює багатовимірний простір перетворень, у яких основні властивості визначаються не їх початковими параметрами, а тим рівнем, до якого вони дійшли в еволюції. У нашому випадку необхідно зрозуміти механізми еволюції цих явищ [1].

Для створення працюючої автоматизованої системи управління групами суден необхідно вирішити ряд складних технічних завдань. Це пов'язано з великою кількістю параметрів, які виплавають на ефективність процесу. Ситуація ускладнюється наявністю різноманітних за природою походження факторів, їх значеннями і характеристиками. Необхідність узгодження цих факторів вимагає їх детального вивчення та зведення до єдиної інформаційної структури. При створенні системи, на першому етапі, найбільшу складність має врахування взаємозв'язку гідрометеоумов при проходженні судном окремої ділянки [2].

При формуванні бази гідрометеорологічних даних були проаналізовані метеоумови, які надані обласним центром гідрометеорології. Вимога керованості пов'язана з необхідністю забезпечення під час проведення експерименту декількох рівнів варіювання кожного фактору, причому в окремому досліді обраний рівень варіювання повинен підтримуватися досить точно.

З метою здійснення постійного та безперервного моніторингу гідроситуації на акваторії Херсонського морського торговельного порту (ХМТП) був виконаний монтаж експериментальних вимірювальних приладів на декількох буюх системи МАМС, які розміщені в акваторії ХМТП, зокрема, № 105, №108, №117, №120. До комплексу моніторингу гідрометеоумов судноводіння входять прилади вимірювання температури повітря, вологості повітря, швидкості та напрямку вітру, рівня води, температури води на різних глибинах, вимірювач швидкості течії на різних глибинах, солоності води на різних глибинах, система моніторингу повороту та зсуву обладнання, система автономного живлення та дистанційної передачі інформації.

**Висновки.** Отримані параметри дозволять створити комплекс та обрати необхідне обладнання, яке передаватиме оперативну інформацію щодо зміни гідрометеоумов у потоковому режимі на центральний процесорний модуль, який, в свою чергу, оброблятиме отриману інформацію зі застосуванням статистичних алгоритмів. Результатом роботи буде оперативна та найточніша інформація щодо характеристик повітряної та водної середовища на даній ділянці. Порівняння та цінність конкретних інформаційних параметрів дозволить отримати дані для прийняття рішень. Також можна оцінювати метеоінформацію за важливістю для конкретної навігаційної ситуації.

Робота виконується за сприяння Державної установи «Держгідрографія» Міністерства інфраструктури України в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та втілення новітніх технологій автоматичного керування групами суден» (номер державної реєстрації 0119U100652).

1. Исаева В.В., Каретин Ю.А., Чернышев А.В., Шкуратов Д.Ю. Фракталы и хаос в биологическом морфогенезе. Владивосток: Институт биологии моря ДВО РАН, 2004. 128 с.
2. Красный М.Л., Храмушин В.Н., Шустин В.А., Воловский В.В., Громов А.Б., Золотухин Е.Г., Пищальник В.М. Пути создания системы мониторинга шельфа Сахалинской области. Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 1998, 208 с.
3. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Дегтярева Е.Е. Математическое моделирование транспорта донных отложений с учетом гидродинамических процессов. Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 6 (131). С. 57–62

## **ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ**

Оболочечные конструкции широко используются в технике как резервуары для хранения жидкости. Среди них – топливные баки и контейнеры различной формы, которые используются в различных областях, таких как аэрокосмическая, нефтегазовая промышленность, энергетическое машиностроение и транспорт. Зачастую такие резервуары работают при повышенных эксплуатационных нагрузках. Интерес к исследованиям оболочечных конструкций с отсеками, заполненными жидкостью, не уменьшается в течение последних 50 лет; научная литература в этой области обширна. В последнее десятилетие в этой области решено большое количество различных модельных тестовых задач. Плескание жидкости - это интересный физический феномен огромнейшего практического значения, имеющий приложения в широком спектре технологий и технических дисциплин. Это явление наблюдается в движущихся резервуарах, содержащих жидкость, таких как топливные баки ракет, баки, применяющиеся в морском и космическом транспорте, в хранилищах, плотинах, находящихся под сейсмическим воздействием, а также в реакторах и атомных судах. Когда топливный бак заполнен частично, большое количество топлива движется внутри бака с поступательным и вращательным ускорением, и генерирует плескания. Контроль плесканий топлива крайне необходим для обеспечения устойчивости космического корабля. Ряд катастроф в полетах произошел именно вследствие неустойчивости, вызванной плесканиями. Ради того, что бы уменьшить количество аварийных ситуаций, было предложено ставить в резервуары с жидкостью перегородки.

В данной статье предложен метод исследования вынужденных колебаний жидкости в жестком цилиндрическом резервуаре с двумя вертикальными перегородками. Предполагается, что жидкость в резервуаре идеальная, несжимаемая, а её течение, вызванное действием приложенной нагрузки, безвихревое. Давление жидкости на стенки резервуара определяется из интеграла Коши-Лагранжа.

Исследовано поведение жидкости в цилиндрических резервуарах без перегородок и с вертикальными перегородками. Установка вертикальных перегородок сдвигает спектр резонансных частот в сторону высокочастотных колебаний. Это позволит проводить отстройки от нежелательных частот возмущений на стадии проектирования и предотвратить потерю устойчивости. Исследованы явления параметрического резонанса при вертикальном возбуждении.

Если изучается вертикальное возбуждения, то это ведет к появлению дополнительного ускорения. При этом получаем систему несвязанных дифференциальных уравнений, каждое из которых является уравнением Матье. Это позволяет исследовать явления параметрического резонанса. Показано, что установление вертикальных перегородок сдвигает спектр резонансных частот в сторону высокочастотных колебаний.

Построены зависимости изменения уровня свободной поверхности по времени при условии действия горизонтальной силы возбуждения. Приведены фазовые портреты динамической системы с указанием резонансов. Метод позволяет проводить отстройку от нежелательных частот возмущений на стадии проектирования с целью предотвращения потери устойчивости.

## РАСЧЕТ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ МОЩНЫХ КЛЮЧЕЙ НА МДП-ТРАНЗИСТОРАХ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОГО УПРАВЛЕНИЯ

В предлагаемой статье, описана методика применения мощных полевых транзисторов в качестве исполнительных элементов (ключей) для использования совместно с выходными портами микроконтроллера в составе измерителя поля рассеивания асинхронного двигателя. Согласование мощных полевых транзисторов в статическом режиме, совершенно не вызывает сложностей, в связи с очень высоким сопротивлением затвора мощного ключа, но использование этих же транзисторов в динамическом режиме, или с нормированными параметрами по времени включения/выключения, вызывает известные сложности. В самом худшем варианте, неверно выбранные параметры согласующих элементов, могут привести к «необъяснимым» выходам из строя как отдельных линий I/O, так и целиком микроконтроллера.

При наличии жестких требований к временным параметрам формируемых ключами импульсов, возникают проблемы, связанные затворной емкостью ключевых транзисторов. Современные мощные МДП-транзисторы представляют собой матрицу, включенных параллельно тысяч и десятков тысяч элементарных транзисторов. Емкости затворных цепей элементарных МДП-структур складываются, создавая значительную емкость затвора для суммарного мощного транзистора. Для перезарядки этой емкости могут потребоваться значительные токи и тем большие, чем выше должна быть скорость переключения транзистора, либо, чем круче должны быть фронт и спад формируемого транзистором импульса [1]. Довольно часто, при попытке сформировать импульс с необходимыми параметрами, разработчик сталкивается либо с невозможностью получения требуемых импульсов, либо с «необъяснимым» выходом из строя маломощных каналов управления на выводах «вход/выход» (рис.1), либо, с выходом из строя всего микроконтроллера. Данная проблема хорошо известна профессиональным разработчикам и проектировщикам РЭА и описана в соответствующей литературе.

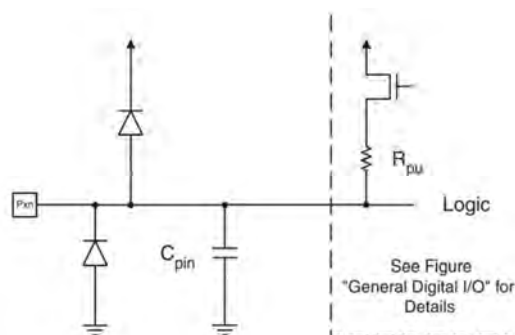


Рис. 1. Эквивалентная схема ввода/вывода микроконтроллера

В статье рассмотрен один из вариантов расчета входной цепи мощного МДП-транзистора, работающего в качестве ключевого выходного каскада для микропроцессора Atmega328 позволяющего обеспечить заданные временные параметры для управляемых цепей. Расчет предполагает использование широкодоступных сведений о параметрах выходных цепей микроконтроллеров и о параметрах входных цепей мощных МДП-транзисторов и не требует профессиональной квалификации разработчика РЭА.

**Выводы.** Используя предложенную методику расчета, возможно быстро оценить возможность непосредственного управления мощными ключевыми МДП-транзисторами от слабых выходов микроконтроллера, либо получить подтверждение обязательного использования промежуточного буферного каскада.

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: монография / пер. с англ. Б.Н. Бронина, А.И. Коротова, Ю.В. Чечеткина. Редакция литературы по информатике и новой технике: научное издание. Москва: Мир, 2003. С. 145–146.
2. 8-bit Microcontroller with 8/16/32K Bytes of ISP Flash and USB Controller. Atmel Corporation, 2010. URL: <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc7799.pdf>



## ІНТЕРПРЕТАЦІЯ, МОДЕЛЬ, МЕТОДИ ДОВЕДЕНЬ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ – ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕМАТИКИ

У даній роботі проаналізовано деякі поняття математики, що пов'язані з аксіоматичною побудовою наук та проблемою інтерпретації, моделювання, доведення в математичних теоріях. Вивчення властивостей аксіоматичної теорії відбувається через міжпредметні зв'язки за допомогою інтерпретації, моделі, різних методів доведень та досліджень. В якості моделей зазвичай використовуються об'єкти добре вивчених теорій. Побудова різноманітних моделей (інтерпретацій) математичної теорії та їх застосувань у навчальних математичних дисциплінах є одним із завдань цих досліджень щодо встановлення міжпредметних зв'язків, а також обґрунтування доцільності (з огляду на педагогіку) використання конкретної моделі в навчальному процесі. Також проаналізовано деякі твердження і поняття, що лежать в основі міжпредметних зв'язків при вивченні різних розділів вищої математики та прикладних наук. Розглянуто елементи найефективнішого засобу пізнання законів і закономірностей навколишнього світу - моделювання та деякі взаємозв'язки математичних моделей природознавства та економіки.

Сучасна математика стала більш абстрактною, що вимагає певних трансформацій відповідного навчального курсу, нових підходів до її застосування. Так, наприклад, щодо алгебри достатньо згадати появу теорій категорій, формацій, многовидів, булевих алгебр, абстрактної теорії алгебраїчних систем. Математичний аналіз збагатився новими ідеями і методами за рахунок функціонального аналізу, конструктивної теорії функцій, теорії диференціальних та інтегральних операторів та ін. З'явилися абстрактна теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, математична теорія катастроф і т. п. Аналіз основ евклідової геометрії привів до появи ряду неевклідових геометрій (гіперболічної, ріманової, проективної, простору сталої кривизни та ін.) [1, с. 5 – 350; 2]. Було показано, що математичні твердження в навчальному процесі є ефективними носіями міжпредметних зв'язків основних математичних дисциплін, а також основою створення математичних моделей у прикладних науках. Це сприяє поглибленню професійної підготовки майбутніх магістрів, вчителів математики, а також учителів та науковців інших (природничих, екологічних, економічних) спеціальностей. У перспективі подальших досліджень у цій сфері можуть бути трансформації навчальних курсів математичних, природничих, економічних дисциплін.

Розвиток цифрових технологій та впровадження їх у всі сфери життя суспільства визначає потребу у фахівцях різних галузей з високим рівнем володіння інженерно-математичними знаннями, розумінням фізичних, економічних та інформаційних процесів. Соціально значущим завданням стає посилення підготовки учнів та студентів у галузі природничо-математичної освіти для пошуку нових шляхів організації навчання. Одним із них є STEM-освіта – послідовність інтегрованих курсів або програм навчання, яка готує учнів до продовження освіти після школи або успішного працевлаштування, вимагає більш технічно складних навичок, зокрема із застосуванням математичних знань і наукових понять. Для цього в навчальних програмах має посилитись природничо-науковий компонент у поєднанні з інноваційними технологіями, що сприятиме розвитку здібностей до дослідницької, аналітичної роботи, експериментування та критичного мислення [3, с. 248].

### Список використаної літератури

1. Александров А.Д. Основания геометрии. Москва: «Наука», 1987. 388 с.
2. Кузьмич В.І. Побудова плоских образів у довільному метричному просторі. *Вісник Черкаського університету. Серія Педагогічні науки*. 2017. №11. С. 40-46.
3. Кушнір Н.О., Валько Н.В., Осипова Н.В., Кузьмич Л.В. Відкриті освітні ресурси для організації навчання у контексті STEM-освіти. *ISSN: 2414-0325. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2017. № 3 .С. 247-255.

## РЕТОПОЛОГІЯ ВИСОКОПОЛІГОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У МОБІЛЬНИХ ІГРАХ

Останній часом ми можемо спостерігати стрімкий розвиток ігрових рушіїв та приріст потужності, як персональних комп'ютерів так і мобільних пристроїв. Однак разом з цим 3д моделі також стають все важчими і стає неможливим використовувати високополігональні моделі у іграх. Щоб розібратися з цією проблемою потрібно проводити ретопологію. Ретопологія – це зміна топологічної сітки з максимальним збереженням форми об'єкта. Метою ретопології є виправлення попередньої (невірної) топології та/або зменшення кількості полігонів[1].

У даній роботі буде здійснено зменшення полігонажу моделі за допомогою оптимізації сітки вручну. Для наглядної демонстрації сутності ретопології створено концептуальну модель автомобіля (рис. 1, а), яка є високодеталізованою. До тих пір поки не буде застосовано ретопологію, така високополігональна модель не підходитиме для використання у сучасній ігровій індустрії. Проведену ретопологію концептуальної моделі автомобіля за допомогою стандартних інструментів програмного засобу "3d studio max", а саме "Poly draw"[2] та "Extrude"[3], виконано для подальшого текстурування та оформлення моделі в ігровому рушії "Unity". Полігонаж було зменшено приблизно у 338 разів до 11680 трикутників (рис. 1, б). У подальшому не складе труднощів створити текстуру, яка зможе відобразити дрібні деталі.

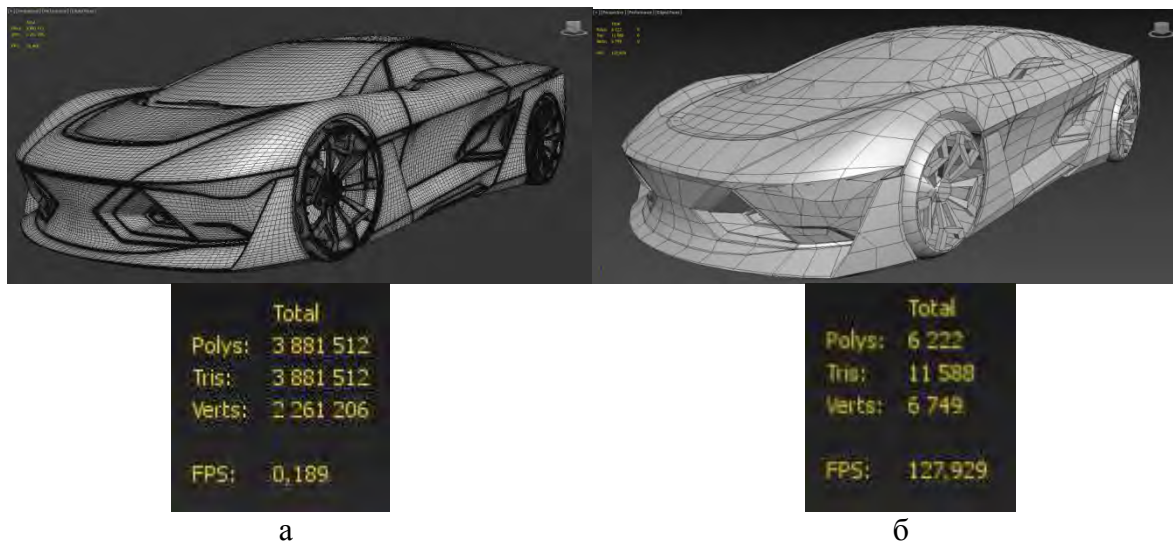


Рисунок 1 – Результат ретопології

### Висновки

В роботі проаналізовано сучасні вимоги до ігрових моделей та методи зменшення кількості полігонів. На основі отриманих знань було проведено ретопологію високополігональної моделі автомобіля згідно конкретних вимог.

1. 3D Моделирование для игр. Некоторые вопросы и заблуждения – [Електронний ресурс] – Режим доступу: – [https://pikabu.ru/story/3d\\_modelirovanie\\_dlya\\_igr\\_nekotoryie\\_voprosyi\\_i\\_zabluzhdeniya\\_4818207](https://pikabu.ru/story/3d_modelirovanie_dlya_igr_nekotoryie_voprosyi_i_zabluzhdeniya_4818207)
2. Верстак В.: 3ds Max 2009. Секреты мастерства. — СПб.: Питер, 2009. — 784 с.
3. Kelly L. Murdock.: Autodesk® 3ds Max® 2014 Bible. — John Wiley & Sons, Inc.: Indianapolis, 2014. — 1290 с.

О.М. ЛЕНЮК<sup>1</sup>, О.М. НІКІТІНА<sup>2</sup>, М.І. ШИНКАРИК<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
<sup>2</sup> Чернівецький ліцей №1 математичного та економічного профілів  
<sup>3</sup> Тернопільський національний економічний університет

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

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 (ГП), породжене на полярній осі  $r \geq R_0 > 0$  з однією точкою спряження гібридним диференціальним оператором (ГДО) Бесселя-Ейлера.

У даній роботі побудовано розв'язок задачі динаміки на двоскладовій полярній осі  $r \geq R_0 > 0$  з однією точкою спряження методом ГП Бесселя-Ейлера.

Задача динаміки на двоскладовій полярній осі 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 ГП Бесселя-Ейлера, ми одержуємо задачу Коші для звичайного диференціального рівняння другого порядку.

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

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).

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЗАДАЧІ КОМП'ЮТЕРНОЇХ ТОМОГРАФІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕВЕЛИКОЇ КІЛЬКОСТІ ТОМОГРАМ

Нехай функція  $f(x, y, z) \in C^{(s,p,0)}(\Omega)$ ,  $s, p = \overline{0, N}$ ,  $\Omega \subset R^3$  представляє собою щільність тривимірного тіла (чи коефіцієнт поглинання, послаблення тощо) та задані чотири площини  $x = x_k, y = y_\ell, k, \ell = 1, 2$ . Беремо площини, перпендикулярні двом координатним вісям, наприклад вісі  $Ox$  та  $Oy$ . Знайдемо загальний вигляд функцій, що описують внутрішню структуру тривимірного тіла, які точно будуть відновлюватися за допомогою оператора інтерфлотації, побудованого в [1], використовуючи чотири томограми, що лежать на заданих площинах  $x = x_k, y = y_\ell, k, \ell = 1, 2$ . І розглянемо два випадки:

1) Функція неперервна та має дві неперервні похідні, тобто  $f(x, y, z) \in C^{(1,1,0)}(\Omega), \Omega \subset R^3$ . Для точного відновлення похибка наближення повинна дорівнювати нулю. Із загального вигляду похибки [1] виходить, що повинна виконуватися рівність:

$$\int_{x_k}^x \int_{y_\ell}^y f^{(1,1,0)}(u, v, z) du dv = 0$$

Для виконання цієї рівності повинно  $f^{(1,1,0)}(x, y, z) = 0$ . Розв'яжемо це диференціальне рівняння:

$$f^{(0,1,0)}(x, y, z) = \int f^{(1,1,0)}(x, y, z) dx = \varphi(y, z);$$

$$f^{(0,0,0)}(x, y, z) = \int f^{(0,1,0)}(x, y, z) dy = \int \varphi(y, z) dy + \psi(x, z) = w(y, z) + \psi(x, z).$$

Тобто, загальний вигляд функції, яка точно відновлюється за допомогою оператора інтерфлотації, визначеного в теоремі 1, має вигляд:  $f(x, y, z) = w(y, z) + \psi(x, z)$ .

2) Функція неперервна та має чотири неперервні похідні, тобто  $f(x, y, z) \in C^{(2,2,0)}(\Omega), \Omega \subset R^3$ . Для точного відновлення похибка наближення повинна дорівнювати нулю. Із загального вигляду похибки [1] виходить, що повинна виконуватися рівність:

$$\int_{x_k}^x \int_{y_\ell}^y f^{(2,2,0)}(u, v, z)(x_k - u)(y_\ell - v) du dv = 0.$$

Для виконання цієї рівності повинно  $f^{(2,2,0)}(x, y, z) = 0$ . Розв'язуючи диференціальне рівняння

$$f^{(1,2,0)}(x, y, z) = \int f^{(2,2,0)}(x, y, z) dx = \varphi_1(y, z), \text{ отримаємо}$$

$$f(x, y, z) = x \int \left[ \int \varphi_1(y, z) dy \right] dy + \int \left[ \int \varphi_2(y, z) dy \right] dy + y\psi_1(x, z) + \psi_2(x, z).$$

**Висновок.** Таким чином, в даній роботі запропонований та досліджений метод відновлення внутрішньої структури тривимірного тіла за допомогою всього чотирьох томограм, паралельних осі і взаємно перпендикулярних між собою. Встановлено клас функцій, які описують внутрішню структуру тіла і які точно можуть бути відновлені за допомогою розробленого методу.

1. Литвин О.М., Першина Ю.І. Метод відновлення внутрішньої структури тривимірного тіла з використанням томограм та мішаної апроксимації. *Таврійський вісник інформатики та математики*. Симферополь. 2008. №2. С. 18 – 24.

## ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ВЫХОДЕ МАГНЕТРОННОЙ ПУШКИ В ГРАДИЕНТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Представлены результаты численных расчетов и экспериментальных исследований по формированию электронного пучка магнетронной пушкой с вторичноэмиссионным катодом. С целью получения прецизионных характеристик изучено формирование пучка с энергией 55 кэВ в радиальном направлении при его транспортировке в магнитном поле соленоида. Исследована зависимость итогового радиального распределения на металлической мишени от амплитуды и градиента магнитного поля вдоль оси системы. Изучена возможность управления поперечными размерами пучка. Получено, что поток электронов испытывает радиальное сжатие, величина которого определяется видом градиентного магнитного поля. Построено программное средство, использование которого дало возможность промоделировать основные зависимости движения электронного пучка в заданном соленоидальном магнитном поле. На основе модели движения электронного потока рассмотрены характеристики результирующего электронного пучка. Показана возможность регулировки диаметра пучка путем вариации магнитного поля. Приводятся результаты численного моделирования по движению трубчатого электронного потока. Показано, что полученные экспериментальные данные согласуются с результатами моделирования.

На рисунке показаны основные экспериментальные результаты и соответствующие им данные моделирующих расчетов.

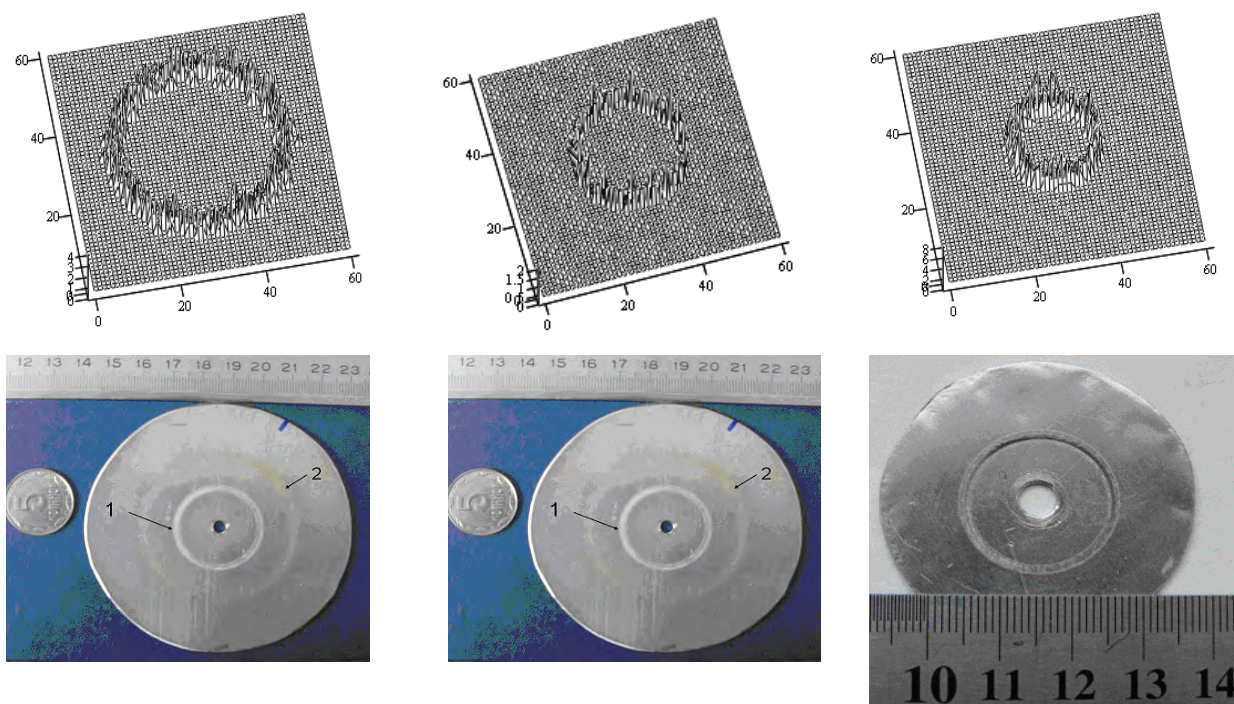


Рис. 1. Моделирующие зависимости и экспериментальные данные динамики пучка  
Сверху – результаты численного моделирования поперечного распределения  
плотности частиц на мишени (размер изображения  $80 \times 80 \text{ mm}^2$ ),  
снизу – опытные данные (отпечатки пучка на металлических мишенях).  
Слева – магнитное поле с отрицательным градиентом (кривая 2),  
посередине – квазипостоянное магнитное поле (кривая 1),  
справа – случай магнитного поля с положительным градиентом

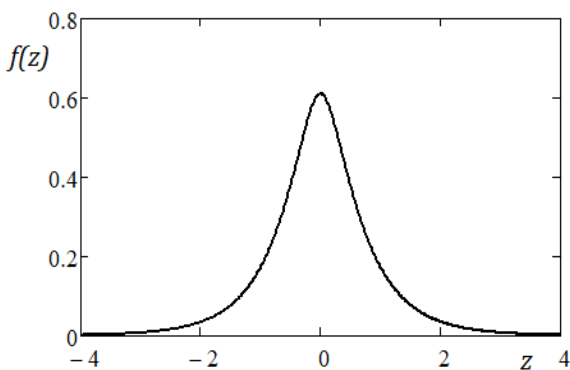
## ПРИМЕНЕНИЕ РЕВЕРСНЫХ ФУНКЦИЙ В ЗАДАЧЕ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНОГО ФУНКЦИОНАЛА-СВЕРТКИ ОТ НОРМАЛЬНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрен процесс, обладающий свойствами стационарности, нормальности и марковости. Для заданного временного интервала изучены энергетический функционал и функционал сверточного типа. Предложен и использован подход, основанный на применении реверсных функций, что дало возможность получения аналитического выражения для производящей функции распределения случайных значений функционала-свертки. Проведен анализ статистических свойств функционала-свертки. Найденная характеристическая функция  $Q_z(\lambda)$  функционала-свертки  $Z$  от нормального марковского процесса  $x(t)$  содержит всю статистическую информацию о случайной величине  $Z$ .

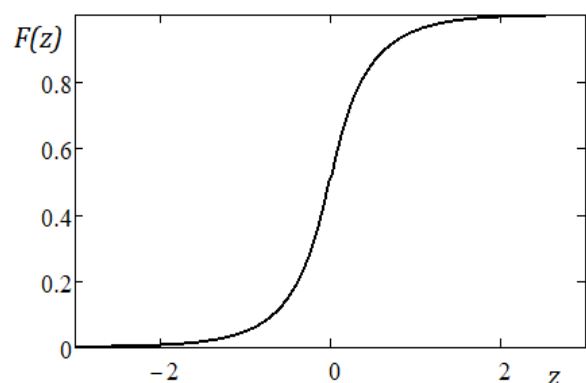
Плотность  $f(z)$  и интегральный закон распределения  $F(z)$  получены численно путем обратного преобразования Лапласа от функции  $Q_z(\lambda)$  для выбранных значениях времени наблюдения  $T$ , декремента случайного процесса  $\nu$  и его интенсивности  $\sigma_x^2$ . Из расчетов следует, что увеличение параметра  $T\sigma_x^2$  приводит к расширению значений функционала-свертки в периферийные области больших отклонений. Уменьшение параметра  $\nu T$  приводит к локализации значений функционала-свертки во флуктуационной области  $z \approx 0$ . Из аналогичных расчетов следует, что уменьшение параметра  $\chi = \nu T$ , равного отношению интервала наблюдения  $T$  к длине корреляции  $l_{\text{corr}} = \nu^{-1}$ , приводит к локализации значений функционала-свертки во флуктуационную область  $z \approx 0$ .

Плотность  $f(z)$  симметрична относительно линии  $z = 0$ . Вместе с тем она удовлетворяет общим требованиям, предъявляемым к плотностям распределений вероятностей интегральных квадратичных функционалов, а именно,  $f(z)$  имеет единственный максимум, две точки перегиба и экспоненциальную асимптотику на перифериях.

На рисунках приведены зависимости плотности  $f(z)$  для заданных значений параметров расчета и зависимости функции распределения  $F(z)$ .



**Рис. 1.** Плотность распределения вероятностей  $f(z)$ ; параметры:  $\sigma_x^2=1$ ,  $T=1$ ,  $\nu=1$



**Рис. 2.** Функция распределения вероятностей  $F(z)$ ; параметры:  $\sigma_x^2=1$ ,  $T=1$ ,  $\nu=1$

В работе рассмотрен случайный процесс Орнштейна-Уленбека, обладающий свойствами стационарности, нормальности и марковости. Для заданного временного интервала изучен функционал сверточного типа.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КУЛЬОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ МЛИНІВ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ВИХІДНОЇ РУДИ НА ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИКАХ

Кульові млини отримали широке розповсюдження в перших стадіях подрібнення руди на збагачувальних фабриках, де вони працюють в замкнених циклах з односпіральним класифікатором. Однак вони перевитрачають електричну енергію і матеріали у вигляді куль і футеровки, однією з причин цього є понижена енергоозброєність молольного середовища.

Метою даної роботи є підвищення енергоозброєності типового кульового завантаження шляхом його ущільнення з забезпеченням зростання продуктивності млина і зменшенням перевитрати електроенергії та матеріалів.

В роботі використано методи групування і аналізу попередніх досліджень, методи енергоозброєності кульового завантаження млина, імпульсу ударного стиснення, оцінювання технологічних і структурних параметрів і властивостей матеріалу, раціонального кульового завантаження, кулесортуючих футеровок, раціонального завантаження кульового млина молольним середовищем, зміни насипної маси куль, ударних і вхідних енергій куль, впливу на площу поверхні кульового завантаження, розпушення руди, визначення продуктивності кульового млина, дослідження розшарування кульового завантаження, ідеалізації.

Продуктивність кульових млинів наближено пропорціональна щільності подрібнювального середовища, в якості якого використовують кулі. Різномірне кульове середовище, виконане за певними правилами, забезпечує більшу продуктивність порівняно з однорозмірними, однак пустоти в ньому займають 38%, що значно зменшує його щільність, і як наслідок, продуктивність. Запропоновані альтернативні кулям молольні засоби за різними причинами не можуть бути використаними. Однорозмірне кульове завантаження має більшу щільність, оскільки пустоти в ньому складають всього 26%. Щільність і енергоозброєність кульового завантаження, крім того, зростають зі зменшенням діаметра куль. Якщо кулі в млині розсортувати за крупністю і розташувати їх за окремими зонами, то їх показник небагато зросте і вони будуть більш ефективно подрібнювати руду, що і запропоновано в даній роботі. Перевірка показала високу ефективність запропонованого кульового завантаження.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоноване нове кульове завантаження для млинів першої стадії подрібнення, яке в окремих зонах вздовж барабана самостійно формується з куль наближено однакового розміру і має вищу енергоозброєність до 19,36% порівняно з традиційним кульовим завантаженням.

Практична значимість полягає в тому, що запропоновано конкретний підхід удосконалення кульового завантаження млина, який базується на використанні простих у виготовленні, менш вартісних і більш технологічних молольних тіл – куль, що суттєво покращить характеристики кульового млина.

Характеристики кульового млина можливо значно покращити використанням сталевих куль п'ятої групи твердості, які нині виробляють в Україні, оскільки їх густина значно більша чавунних молольних тіл, а стійкість сама висока. Впровадження такого кульового завантаження практично не потребує ніяких змін як в організації, так і технології рудопідготовки в першій стадії подрібнення руди на збагачувальних фабриках.

## APPROXIMATION MODELS OF FUNCTIONAL SYSTEMS WITH NANOCOMPOSITE COMPONENTS

Nanocomposite metal-dielectric structures have a number of unique optical effects, which makes them widely applied in optoelectronics, solar energy, information systems for transmitting, storing and protecting information [1]. In practice, such materials are layered structures that consist of nanosized metal films, antireflection dielectric layers and transition barrier layers [2].

An analysis of modern scientific and technical literature shows that in the modeling and designing of nanocomposite metal-dielectric structures, for the use as devices of various functional purposes, the microstructure and morphology of their transition nanosized layers are not taken into account.

Therefore, the purpose of this work is to carry out a numerical simulation of the optical response of nanocomposite metal-dielectric structures to electromagnetic effects, taking into account the microstructure and morphology of their nanoscale layers; development on the basis of the obtained results the approximation models which will enable to increase the accuracy of modeling and designing devices of different functional purposes.

As a research object was chosen a cut-off filter based on the composite metal-dielectric structure (fig.), which consists of a nanosized silver film, antireflection dielectric layers of aluminum  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and transitional layers type like  $\text{Cr}/\text{Al}_2\text{O}_3$  deposited on the glass substrate.

For modeling the spectral characteristics of electromagnetic response of cut-off transparent optical filters uses an algorithm based on the transfer-matrix method.

Approximation models of the cut-off optical filter are proposed on the basis of the obtained values of the spectral characteristics of coefficients of reflection  $R$  and transmission  $T$ . The model has the form:

$$\begin{cases} R = -0,51 + 6,46\lambda - 15,67\lambda^2 + 11,81\lambda^3 + 1,74\lambda^4 - 3,24\lambda^5 - \\ - 0,92 d_2/d_1 + 3,57(d_2/d_1)^2 - 0,67(d_2/d_1)^3 + 0,51(d_2/d_1)^4 + 0,01(d_2/d_1)^5; \\ T = -0,08 + 2,43\lambda - 1,99\lambda^2 + 2,45\lambda^3 - 4,67\lambda^4 + 2,36\lambda^5 + \\ + 0,01 d_2/d_1 - 2,93(d_2/d_1)^2 + 4,49(d_2/d_1)^3 - 0,31(d_2/d_1)^4 - 0,07(d_2/d_1)^5. \end{cases} \quad \text{if } \begin{cases} 0,2\mu\text{m} \leq \lambda \leq 1,1\mu\text{m} \\ 0,05 \leq \frac{d_2}{d_1} \leq 0,5 \end{cases}$$

In this case, the error of the approximation model does not exceed 20%.

**Conclusions.** By numerical modeling of the optical response of cut-off filters based on nanocomposite metal-dielectric structures on the electromagnetic effects in the spectral range of wavelengths  $\lambda = 0,2 \div 1,1 \mu\text{m}$  using the transfer-matrix method with taking into account the microstructure and the morphology of their layers, an interconnection between the spectral characteristics of the filters and their structural and electromagnetic parameters of the metal-dielectric components is established, and appropriate approximation models are proposed.

1. Borisova A. et al. Broadband dielectric and conductivity spectra of dielectric-metal nanocomposites for microwave applications. *Electronics and Nanotechnology* : proceedings of the IEEE 33rd International scientific conference, 16–19 April 2013. Kyiv : IEEE, 2013. P. 21–25.
2. Machulianskyi O., Babych B., Machulianskyi V. Optical filters on the basis of composite nanodimensional structures. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Radiophysics and Electronics*. 2017. Vol. 25, №. 1. P. 34–37.



И.В. МЕЛЬНИК  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,  
факультет электроники, кафедра электронных приборов и устройств  
А.В. ПОЧИНОК  
Университет государственной фискальной службы Украины,  
Учебно-научный институт информационных технологий,  
кафедра информационных систем и технологий

## **ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ГРАНИЧНОЙ ТРАЕКТОРИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ПРИФОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЛИНЕЙНЫМИ И КВАДРАТИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРИФМЕТИКО-ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ**

При технологическом применении электронных пучков в современных электронно-лучевых технологиях важными являются оценки радиуса электронного пучка в области фокуса и его зависимости от положения плоскости среза. Этим определяется удельная мощность формируемого пучка и, соответственно, его технологические возможности [1]. Такие оценки особенно важны для электронных пучков с относительно большим углом сходимости при осуществлении технологических операций в относительно низком вакууме в среде ионизированного газа. В частности, именно такие пучки формируются источниками электронов на основе высоковольтного тлеющего разряда [2]. С учетом того, что физические процессы, связанные со взаимодействием электронных пучков с ионизированным газом, недостаточно хорошо изучены, наиболее эффективным методом оценки радиуса электронного пучка в таких физических условиях является интерполяция экспериментальных данных.

В работе на основе базовых положений теории интерполяции [3] исследованы методы кусочно-линейной и квадратичной интерполяции граничной траектории электронного пучка по трём отсчетным точкам. Показано, что в областях сходимости и расходимости пучка можно эффективно и с достаточно большой степенью точности использовать кусочно-линейную интерполяцию [3], а в прифокальной области заменять её на параболическую с использованием сшивки полученных решений по первой производной. На основе проведенных исследований сформулирован метод комбинированной интерполяции граничной траектории электронного пучка. Для оценки положения фокуса электронного пучка  $h_{\Phi}$  получено простое аналитическое соотношение:

$$k = \frac{r_1 - r_2}{h_1 - h_2}; h_{\Phi} = \frac{1}{2} \cdot \left( h_3 + h_2 + \frac{r_3 - r_2}{k} \right),$$

где  $(h_1, r_1)$ ,  $(h_2, r_2)$  и  $(h_3, r_3)$  – координаты отсчетных точек соответственно по высоте и по радиусу.

Все полученные интерполяционные соотношения, описывающие зависимость радиуса электронного пучка от положения плоскости среза, записаны с использованием арифметико-логических выражений.

Полученные результаты могут быть использованы в цифровых программируемых системах контроля параметров электронных пучков, работающих на электронно-лучевом технологическом оборудовании в режиме реального времени.

### **Список использованной литературы**

1. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. Москва: Машиностроение, 1978. 239 с.
2. Новиков А.А. Источники электронов высоковольтного тлеющего разряда с анодной плазмой. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.
3. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: учеб. пособие для вузов. Москва: Наука, 1989. 432 с.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО ПЛАСТИНЧАСТОГО ЕЛЕМЕНТА ЗА ОДНОРІДНОЇ ДІЇ НЕСТАЦІОНАРНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

В авіаційних та корабельних системах протиобледеніння в якості актуаторів і сенсорів механічних коливань елементів конструкцій для ліквідації нашарувань на них льоду використовують електропровідні пластинчасті елементи. Ці елементи працюють за дії нестационарних електромагнітних полів (НЕМП), які створюють їх відповідний температурно-силовий режим функціонування.

Для прогнозування надійної роботи таких елементів необхідна розробка математичної моделі, яка би враховувала крім природніх поверхневих теплових і силових факторів впливу на роботоздатність та надійність таких актуаторів і сенсорів, також додаткові об'ємні теплові і силові фактори - джоулеве тепло  $Q$  та пондеромоторні сили  $\vec{F}$ , зумовлені дією НЕМП.

Відомі окремі роботи про методику визначення та дослідження температурно-силового режиму роботи пластинчастих елементів за поверхневих теплового нагріву і силового навантаження [1, 2]. Проте дослідження температурно-силового режиму роботи таких елементів за дії НЕМП вивчено недостатньо.

Запропоновано математичну модель визначення параметрів електромагнітного поля - джоулевого тепла  $Q$  та пондеромоторних сил  $\vec{F}$  у розглядуваному елементі, зумовлених дією НЕМП, а також температури, що виникає в ньому внаслідок джоулевих тепловиділень.

Розвинуто методику визначення дотичної до основ пластинчастого елемента компоненти вектора напруженості магнітного поля та питомих густин джоулевого тепла  $Q$  і пондеромоторних сил  $\vec{F}$ , а також температури  $T$ . Дана методика використовує кубічну апроксимацію по товщинній координаті елемента визначальних функцій - компоненти вектора напруженості магнітного поля та температури. Це дало змогу звести сформульовані відносно визначальних функцій початково-крайові задачі до відповідних задач Коші на інтегральні за товщиною координатою характеристики цих функцій. З використанням інтегрального перетворення Лапласа за часовою змінною отримано загальні розв'язки задач Коші за однорідної дії НЕМП. Отримано вирази інтегральних характеристик визначальних функцій у вигляді згорток функцій, що описують однорідні розв'язки відповідних задач і задані на основах елемента електромагнітні та теплові граничні умови.

На основі даної методики записано розв'язки задач Коші та відповідні вирази визначальних функцій за дії амплітудно модульованого радіоімпульса (АМРІ).

Числово проаналізовано зміну в часі джоулевих тепловиділень  $Q$ , пондеромоторних сил  $\vec{F}$  і температури  $T$  залежно від частоти несучих електромагнітних коливань, тривалості модульованого імпульсу та фізико-механічних характеристик матеріалу елемента.

Запропонована методика та отримані на її основі якісні та кількісні закономірності температурно-силового режиму функціонування електропровідного пластинчастого елемента за дії АМРІ можуть бути теоретичною основою для розрахунку надійності роботи пластинчастих сенсорів та актуаторів механічних коливань, які використовують дію АМРІ і застосовуються в авіаційних та корабельних системах протиобледеніння.

1. Мотовиловец И.А., Козлов В.И. Термоупругость. – Киев: Наукова думка, 1987. – 264 с – Механика связанных полей в элементах конструкций: в 5 т. Т. 1.
2. Грибанов В.Ф., Паничкин Н.Г. Связанные и динамические задачи термоупругости. М., Машиностроение; 1984.–126с.

## BEHAVIOR OF A HARD SPHERICAL SEGMENT IN ELASTIC MEDIUM UNDER THE EFFECT OF TORSION WAVE

The paper considers the interaction of non-deformable objects with the surrounding elastic medium [1, 2]. This problem, in one way or another, leads to the development of mathematical methods for solving problems of the interaction of non-stationary (stationary) waves arising in elastic media with various objects submerged in them. They are particularly considered as thin-walled shell type structures, coupled with the surrounding space.

The problem of the possibility of applying the discontinuous solution method to the arising dynamic problems of diffraction of elastic waves on spherical inclusions was posed [1, 2]. In this regard, the approach to the study of the mentioned wave processes, based on the application of this method, as well as the method of generalized integral transformations was developed. For this, using the integral Fourier and Legendre transformations, a discontinuous solution of the wave equation and then three-dimensional equations of motion of the elastic medium for the specified defect in a spherical coordinate system were constructed.

Subsequently, the need for the derivation and proof of the convergence of the left spectral relation with the nonintegrable singularity for the Jacobi polynomials arose. Having applied it to the obtained equations, and then, using the orthogonality relation for Jacobi polynomials in a spherical coordinate system, as well as using the constructed discontinuous solution, we managed to reduce the problem of elastic waves on a defect to the problem of solving integral equations.

Assuming that from the side of the medium, a torsion wave being created by a certain crutol, which is chosen in a special way, acts on the defect, we arrive at the need to solve only one equation from a system of 3 equations, which, due to symmetry, takes a rather simple form for problems of this type. An effective numerical method is developed for the approximate solution of integral equations for the problem of torsion wave diffraction on a fixed (moving) spherical thin inclusion. Using the reduction method, it was possible to reduce the number of iterations to min.

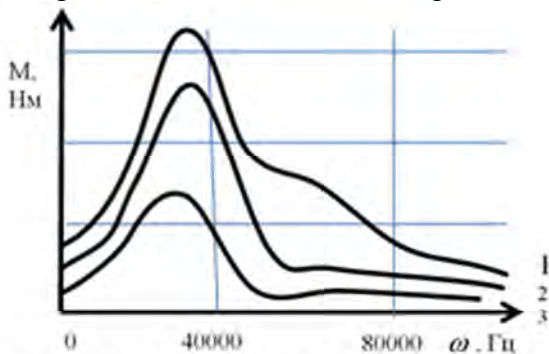


Figure 1. The family of curves in the form of the dependence of the reactive moment of torsion M on the frequency f.

When calculating the reactive moment of torsion, the input parameters took the following values: the inclusion is made of steel, its thickness is  $h=5 \cdot 10^{-4}$ , the radius is  $R = 0.02\text{m}$ , the material of the surrounding elastic medium is lime spar with a displacement speed of  $c=1113\text{m/s}$ ,  $\rho_0=7900 \text{ kg/M}^3$ , Lamé parameter  $\mu=3.58 \cdot 10^9 \text{ MPa}$  and the amplitude of the incident wave  $A=0,01 \text{ rad}$ . In Figure 1, a family of curves is constructed in the form of the dependence of the reactive moment of torsion M on the frequency  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  for different sizes of spherical defect  $\omega \approx 23^\circ$  curve 1,  $\omega \approx 25^\circ$  curve 2,  $\omega \approx 27^\circ$  curve 3.

**The conclusions.** An effective approximate solution of the problem of the diffraction of torsion waves on an absolutely rigid fixed inclusion was constructed, and a formula was obtained and the values of the reactive torsion were calculated.

1. Popov G.Ya., Nazarenko O.A. The investigation of a discontinuous solution method for analyzing the diffraction of acoustic waves on an absolutely rigid barrier. Acoustics and ultrasound technology. Kiev, 1992. pp.27-31.
2. Nazarenko O.A. The investigation of a spherical spherical segment in spring environment under the action of a torsion wave. Mathematics in a modern technical university: Materials VII Internationally Practical Scientific Conference, Kyiv: NTUU, KPI, 2019. pp.105-109.

## РАЗВЁРТКА СФЕРЫ КАК МОДЕЛИ СНЕЖНОЙ ХИЖИНЫ «ИГЛУ»

Снежная хижина «иглу» – это зимнее жилище эскимосов, проживающих на Крайнем Севере Канады, и представляет собой полусферический купол, сложенный из снежных блоков. Снежная хижина «иглу» является непревзойдённым образцом жилища, приспособленного к суровым природным условиям Крайнего Севера и, несмотря на то, что её происхождению мы обязаны людям каменного века, их изобретение до сих пор помогает современным исследователям осваивать земли, лежащие за Полярным кругом. Это обусловлено тем, что ни одна из современных палаток не способна служить полярникам достаточно надежной защитой от стужи и ветра, которые обрушиваются на них в самый холодный период арктической зимы.

Наиболее распространённым является спиральный способ построения снежной хижины «иглу». Этот способ состоит в том, что снежные кирпичи укладываются в винтовую поверхность с прямоугольным поперечным сечением и осевой линией в виде винтовой линии, принадлежащей сфере.

Представим снежную хижину «иглу» в виде сферы, аппроксимирующей её наружную поверхность, а снежные блоки, которые используются при спиральном способе её постройки, как элементы развёртки криволинейной винтовой поверхности, аппроксимирующей сферу. Будем называть сферической винтовой линией пространственную кривую, образованную равномерным движением точки вдоль меридиана сферы, в то время как меридиан совершает равномерное вращательное движение вокруг оси сферы. Пусть меридиональная плоскость вращается вокруг вертикальной оси симметрии на угол  $360^\circ$ , а полный поворот точки меридиана соответствует углу  $22,5^\circ$ , то есть  $1/8$  угла вращения радиуса сферы от южного до северного полюса. Отсюда следует, что как на южной, так и на северной полусфере укладывается ровно 4 витка винтовой линии.

Построим на поверхности сферы две винтовые линии. Выделим отсек поверхности сферы, заключённый между двумя винтовыми линиями, и получим криволинейную винтовую поверхность, аппроксимирующую сферу. Эту винтовую поверхность можно представить как поверхность, образованную вращением дуги окружности вокруг её вертикальной оси симметрии и одновременным вращением вокруг оси, перпендикулярной её плоскости.

Выполним аппроксимацию сферы семейством цилиндрических поверхностей, для которых направляющими служат меридиональные сечения сферы. Предположим, что при замене отсека сферы, ограниченного меридиональными сечениями, на отсек цилиндрической поверхности винтовая линия на сфере преобразуется в винтовую линию на цилиндрической поверхности. Построим условную развёртку сферы как совокупность развёрток цилиндрических поверхностей, аппроксимирующих её. После этого построим условную развёртку криволинейной винтовой поверхности как совокупность развёрток её отсеков, построенных на условной развёртке сферы.

Заметим, что условная развёртка сферы как условная развёртка криволинейной винтовой поверхности, аппроксимирующей её, представляет собой фигуру, образованную двумя спиралями, и напоминает кожуру апельсина, очищенного таким образом, чтобы режущая кромка ножа оставляла за собой воображаемую винтовую линию.

Таким образом, конструкция снежной хижины «иглу» и технология её построения, разработанные древними обитателями Крайнего Севера, подсказали нам способ построения условной развёртки сферы с помощью аппроксимации сферы криволинейной винтовой поверхностью и последующего её развёртывания на плоскость.

Предлагаемый нами способ построения условной развёртки сферы отличается от известных нам способов тем, что вместо развёртки сферы в виде совокупности приближённых развёрток семейства цилиндрических или конических поверхностей, аппроксимирующих её, мы получаем развёртку сферы в виде условной развёртки одной криволинейной винтовой поверхности. Кроме того, предлагаемый нами способ построения условной развёртки сферы имеет ещё и практическое значение, потому что является математической основой для определения размеров «кирпичей», которые используются при спиральном способе строительства снежной хижины «иглу». Предполагаем, что наша следующая работа будет посвящена определению формы и вычислению размеров блоков, из которых возводится снежная хижина «иглу».

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЛІНІЙ НА ЦИКЛІЧНІЙ ГВИНТОВІЙ ПОВЕРХНІ

На даний час в техніці широко поширені вітрові турбіни з вертикальною віссю. За рахунок закрутки лопатей обертання гелікоїдного ротора є більш рівномірним, що значно знижує динамічні навантаження на опорні вузли і, тим самим, збільшує їх термін служби. Але в процесі вітрового навантаження виникають тріщини на поверхні лопатей, розвиток яких може з часом привести до їх частково руйнування або всієї конструкції, тому визначення їх можливого положення і усунення є важливою частиною проектування і виготовлення. Відомо, що траєкторії появи та розвитку тріщин на поверхні співпадають з геодезичними лініями.

Довгий час геодезична лінія існувала тільки теоретично в диференціальній геометрії як лінія внутрішньої геометрії поверхні. Але на даний час сім'ї геодезичних ліній знаходять практичне застосування у техніці і виробництві. Наприклад, у формуванні поверхонь з викладки із склотканини або зміцнення балонів із композитних матеріалів армованими нитками, в розрахунку траєкторії мобільного робота. На поверхнях обертання геодезичні лінії визначаються за допомогою диференціальних рівнянь, а на гвинтовій циклічній шляхом мінімізації кривої [1, с. 142].

Для циклічної гвинтової поверхні, рівняння якої має вигляд:

$$\begin{cases} X = x(t) \cos \psi - y(t) \sin \psi; \\ Y = x(t) \sin \psi + y(t) \cos \psi; \\ Z = z(t) + p\psi. \end{cases}$$

методами варіаційного числення визначено рівняння геодезичної лінії:

$$\psi(t) = \int_{t_0}^t \frac{-(-x'y + xy' + pz')\sqrt{x^2 + y^2 + p^2 - C^2} \pm C\sqrt{(xx' + yy')^2 + (xz' - py')^2 + (px' - yz')^2}}{(x^2 + y^2 + p^2)\sqrt{x^2 + y^2 + p^2 - C^2}} dt + \psi(t_0).$$

**Висновки.** В роботі шляхом мінімізації відстані між двома точками знайдено рівняння геодезичних ліній циклічної гвинтової поверхні у вигляді інтегралу, а в одному з випадків – в явному вигляді. Для підтвердження отриманих результатів в графічному редакторі AutoCAD було побудовано кілька геодезичних ліній, що виходять з однієї точки (рис. 1).

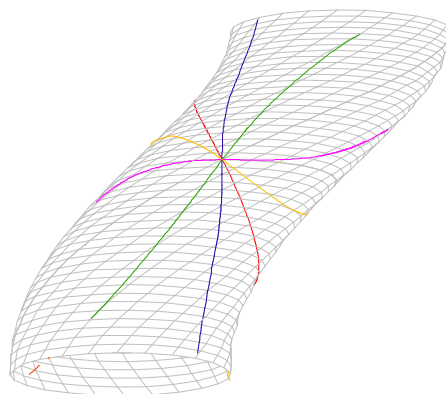


Рис. 1. Геодезичні лінії на циклічній гвинтовій поверхні в графічному редакторі AutoCAD

1. Ковальова Г.В., Нікітенко О.А., Керницький І.С. Геометричне моделювання геодезичних ліній на циклічній гвинтовій поверхні. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 3(66). С. 142 – 146.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІКИ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ ЯК ОБ'ЄКТА СТАБІЛІЗАЦІЇ

Дослідження можливості підвищення ефективності холодильного устаткування з одним терморегулювальним клапаном повинно ґрунтуватися на синтезі та аналізі якості оптимальної системи стабілізації температури повітря у холодильній камері. В свою чергу рівень якості, який може бути досягнуто у оптимальній системі стабілізації, визначається динамічними властивостями об'єкта керування, збуреннями та шумами вимірювання, які виникають в реальних умовах функціонування, динамікою датчиків та виконавчих пристроїв системи, а також методом синтезу оптимального регулятора.

Досягти найвищої якості можливо, лише при наявності відповідної моделі динаміки об'єкта керування разом з виконавчим органом та датчиками. Практика створення оптимальних систем стабілізації показала наявність протиріч у вимогах до цієї моделі. З одного боку, модель повинна найбільш повно та точно характеризувати поведінку об'єкта керування у реальних умовах його функціонування, а з іншого модель повинна бути найбільш простою для подальших розрахунків.

Досягнення компромісу між зазначеними вимогами можливо за рахунок структурної ідентифікації динаміки об'єкта керування та збурень, які діють на нього, за експериментальними даними, отриманими під час пасивного експерименту в реальних умовах функціонування.

Мета дослідження полягає у розробці нового методу ідентифікації моделей динаміки холодильної камери за температурою повітря та збурень.

Оцінювання структури та параметрів моделей динаміки холодильної камери за температурою повітря та збурень виконано у частотній області на класі стійких та реалізованих фізично варійованих передаточних функцій з використанням ідей викладених в [ 1-3 ]. Вихідні дані для виконання ідентифікації отримано в результаті застосування положень прикладної теорії випадкових функцій до експериментальних даних, визначених в результаті спостереження за роботою холодильного обладнання фірми Danfoss в реальних умовах експлуатації в супермаркеті.

В результаті виконання етапів структурної ідентифікації моделей динаміки об'єкта керування та збурень, що діють під час стабілізації температури повітря у холодильній камері супермаркету доведено, що найменший порядок системи лінеаризованих диференціальних рівнянь холодильної камери, оснащеної одним терморегулювальним вентиляем, сигналом керування якої є зміна часу відчиненого положення клапану, а вектор вихідних сигналів складається зі зміни температури повітря у камері та зміни температури випарника, дорівнює два. Збурення, які діють на вході лінеаризованого об'єкту керування, належать до двовимірних стаціонарних випадкових процесів, утворених формульним фільтром з матрицею передаточних функцій другого порядку. Визначено, що між зміною сигналу керування та реакцією об'єкта існує чисте запізнення близько 184 секунд.

Верифікація ідентифікованої моделі динаміки показала, що зазначена модель є результатом досягнення компромісу між складністю та простотою і точністю.

### Список використаної літератури.

1. Синтез оптимальных систем с обратной связью/ В. Б. Ларин, К. И. Науменко, В.Ц. Сунцев. Київ: Наук. думка, 1973.151 с.
2. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монография / под ред. Л.Н. Блохина. Киев: Книжное изд-во НАУ, 2006. 400 с.
3. Блохин Л.М., Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління: підручник. Київ: НАУ, 2003. 208 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПЛОТНЫХ УПАКОВОК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Изображения высокой и сверхвысокой четкости, количество элементов в которых исчисляется миллионами, находят широкое применение и в фотографии, и в мультимедийных приложениях, и в кинопроизводстве. Цифровые изображения по своей природе могут быть представлены как плотная упаковка или мозаика, покрывающая всю плоскость прямоугольной области, в пределах которой и отображается изображение. Натурное изображение в процессе съемки разбивается на элементы изображения, пиксели, которые при упрощенном варианте предусматриваются все одинакового размера прямоугольной формы. Каждый элемент изображения характеризуется яркостью и тремя положительными значениями, описывающих цвет, обычно задаются красный, зеленый и синий составляющие цвета для электронных изображений. Математическая модель электронного изображения представляет собой четыре матрицы одинаковых размеров, или правильнее было бы описать изображения тензором. Тогда каждый элемент изображения получает свою прописку, а именно, номер строки, номер столбца и номер матрицы. С алгебраической точки зрения мы получаем компактную и понятную форму записи. Но, с точки зрения передачи информации о цифровые изображения, особенно подвижных, как в телевидении высокого разрешения, мир столкнулся с проблемой «больших данных», терабитных потоков, с которыми не справляются телекоммуникационные сети передачи данных. Оптимальность определяется по максимальному значению отношения сигнала к помехе на границах изображения  $EPSNR$ , и по значению коэффициента сжатия.

Вопрос эффективной плотной упаковки пикселей изображения имеет смысл рассматривать с точки зрения и распознавания изображений. В области распознавания изображений существуют такие параметры как признаки, контура, особые точки, смежные и соседние элементы. В таком случае изображение описывается уже другими математическими моделями, в которых используются разнообразия, эквидистантность и не эквидистантность сетки. В этих случаях уже нельзя говорить о прогрессивной развертке по строкам пикселей для создания изображения, а образуют элементы, которые могут быть описаны ячейками Вороного. В данной работе остановимся на представлении изображений объектно ориентированными методами на основе ячеек Вороного и триангуляции Делоне. Метод перспективен, особенно для описания объемных изображений. На приемной стороне при синтезе изображения необходима информация не только о координатах треугольников, но и об их топологической связи друг с другом. Изображения при синтезе представляет собой пример плотной упаковки. Интересным примером плотной упаковки изображения может служить фрактальное кодирование и декодирование цветных изображений [1]. В процессе кодирования информация о блоках потомков передается только в виде их адреса, что позволяет значительно сжать цифровой поток. Чем больше расстояние между векторами параметров, тем выше степень сжатия может быть получена, кроме границ объекта.

**Выводы.** Результаты работы могут быть использованы для формулирования критериев выбора элементов паркета, заполняющих объекты. Предложена программная модель формирования фрактального кодирования изображений, заполнение выделенного градиентным методом объекта треугольной сеткой. Получены результаты моделирования специального вида полихроматических таблиц на базе заполнения контейнера кругами со случайно выбранными радиусами, мелкоструктурных текстур, и как алгоритмическая основа для поиска путей обеспечения заданных показателей качества в телевизионном производстве.

1. Welstead S. Fractal and Wavelet Image Compression Techniques, SPIE, 1999. 254 p.



## РУХ ЧАСТИНКИ ПО КРИВІЙ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА ПІД ДІЄЮ СИЛИ ВЛАСНОЇ ВАГИ

Якщо початкова швидкість  $V$  в точці  $A$  відсутня, або ж її напрям збігається із напрямом дотичної до кривої, то частинка рухатиметься по плоскій кривій перерізу циліндра (рис. 1,а). При русі точки по кривій обов'язково виникає прискорення  $w$ , навіть якщо швидкість  $V$  є сталою. Воно складається з двох складових: одна складова характеризує швидкість зміни вектора швидкості за величиною, проєкціюється на орт  $\vec{\tau}$  дотичної і носить назву тангенціального прискорення. Його величина визначається диференціюванням швидкості  $V$  за часом  $t$ :  $w_{\tau}=dV/dt$ . Інша складова - нормальне або доцентрове прискорення характеризує швидкість зміни вектора швидкості за напрямком і проєкціюється на орт  $\vec{n}$  головної нормалі. Його величина визначається добутком кривини  $k$  на квадрат швидкості  $V$ :  $w_n=V^2k$ . При русі частинки по кривій положення супровідного тригранника характеризується змінним кутом  $\alpha$ , який складає орт дотичної  $\vec{\tau}$  із віссю  $OX$  нерухомої системи координат (рис. 1,б).

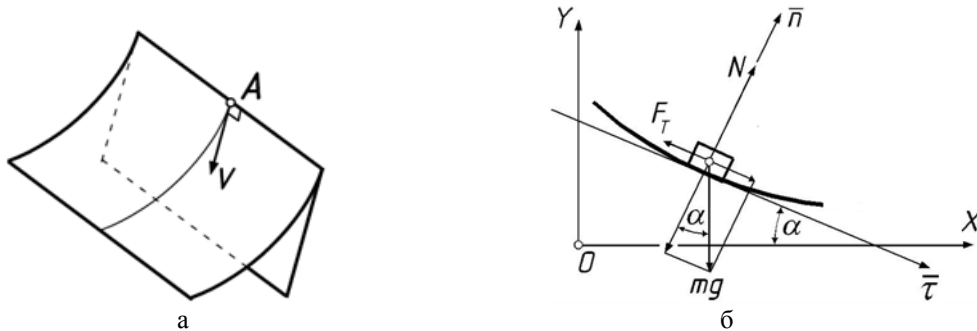


Рис. 1. До руху частинки по кривій поперечного перерізу горизонтального циліндра:  
 а) зображення траєкторії руху частинки на поверхні циліндра;  
 б) супровідний тригранник траєкторії (бінормаль  $\vec{b}$  проєкціюється в точку) із розкладеними на його орти діючими силами

Диференціальні рівняння руху частинки в проєкціях на орти супровідного тригранника згідно другого закону Ньютона запишуться:

$$m \frac{dV}{dt} = F_{\tau}; \quad mV^2k = F_n, \quad (1)$$

де  $m$  – маса частинки;

$F_{\tau}$  і  $F_n$  – проєкції прикладених до частинки сил.

Якщо задати умову  $V=const$ , то рівняння (1) можна звести до одного диференціального рівняння:

$$\frac{ds}{d\alpha} = \frac{fV^2}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (2)$$

де  $ds/d\alpha$  – радіус кривини кривої поперечного перерізу циліндра;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$g=9,81 \text{ м/с}^2$  – величина прискорення вільного падіння.

Диференціальне рівняння (2) має аналітичний розв'язок. Вітки отриманої кривої прямують в нескінченність і нахилені під кутом тертя до горизонтальної прямої.

**Висновки.** Відомо, що по похилій площині частинка рухається зі сталою швидкістю по лінії найбільшого нахилу в тому випадку коли площина нахилена під кутом тертя до горизонтальної площини. Для такого руху є аналог, коли траєкторією руху є крива – лінія поперечного перерізу горизонтального циліндра.

## **AUTOMATED SYSTEM OF ACADEMIC PROCESS MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

The education system solves important problems of cultural and socio-economic development of society, because any educational institution prepares a person to be active in the political, cultural and economic life of society. Therefore, the main factor in the successful functioning of an educational institution is the competent organization of the educational process. Modern information technologies provide wide opportunities in the organization and management of the educational process. Currently, the automation of the educational process is an integral part of the activities of any educational institution that wants to have the right to be called progressive.

The educational (or learning, or academic) process – a focused interaction of the teacher and students, during which the tasks of education, development and train of students; organization of education in the relationship of all components [1]. The goal of this process in a higher educational institution is to prepare a specialist with the necessary qualifications, which is determined by both the state educational standard and market requirements. To achieve this goal it is necessary, first of all, to study the problem of control the educational process and determine its specificity.

The aim of the study is to create an automated system for planning the educational process in Ukrainian institutions of higher education, taking into account the current requirements for the organization of the educational process, as well as the professional competence of the teacher.

When planning an educational process, an important task is the preparation of a number of documents that characterize the educational process: curriculum (academic plan), working curriculum, academic load volume per an academic year, academic load distribution among teachers of the department, a consolidated document for the academic load distribution approval. If the first document is prepared by the corresponding existing departments in institutions of higher education, then the preparation of all other documents, as a rule, is transferred to the dean's offices, which assign this work directly to the departments. This increases the amount of work done by the department staff, so it became necessary to automate this process.

In practice, most often the automation of educational planning in Ukrainian institutions of higher education is performed in software packages for automating office tasks, for example, Word or Excel. However, it is worth considering that these packages are not free of charge, and the automation process is reduced to manually filling in tables and entering text, which introduces human factors and possible errors, and the process of optimizing the academic load on the teacher is not automated at all, and some subjective criteria and methods are used .

The problem of developing an automated educational management system at a higher education institution has appeared.

The developed automated system of the educational process management in institutions of higher education using the DSS allows to prepare curriculum and working curriculum, calculate the academic load volume and to make decisions on its distribution among teachers of the department. The advantage of the proposed system is that it is implemented on free software, as well as greatly eases the process of planning the academic load, eliminates possible errors caused by the human factor, provides the opportunity to take into account the competence of teachers, stimulates them for professional activity. This system can be supplemented by modules for solving other tasks, such as drawing up a schedule, taking into account the load of the auditorium fund, personnel accounting of teachers, etc.

### **References**

1. Коджаспирова Г.М. Педагогика: учебник для академического бакалавриата. Москва: Издательство Юрайт, 2015. 719 с.

## АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Современные электромеханические промышленные комплексы, как правило, состоят из большого числа взаимодействующих элементов. Относительные перемещения этих элементов порождают вибрации, которые могут критически сказаться на работе прецизионных мехатронных систем. Это может привести к предельным режимам работы оборудования, а в ряде случаев и выходу его из строя. Эффективным средством предупреждения аварий, выявления критических режимов работы, диагностики неисправностей оборудования электромеханических систем (ЭМС) являются методы функциональной диагностики [1]. Шумы аппаратов и машин характеризуют как общие свойства систем, так и свойства их частей. Опыт применения акустических методов показывает, что в состоянии нормального функционирования энергия шума в основном концентрируется в области низких частот, а энергия, соответствующая дефектам, располагается на более высоких частотах. Это обстоятельство используют для своевременного обнаружения зарождающихся нарушений.

Целью исследований является формирование процедуры анализа акустических сигналов, порождаемых работающим оборудованием электромеханических комплексов, на основе использования современных методов цифровой обработки временных рядов в реальном времени.

Для решения поставленной задачи в статье выполнен анализ акустического шума, полученного в результате эксперимента при работе электромеханического оборудования (рис.1) на основе использования современных методов цифровой обработки временных рядов в реальном времени. На зафиксированном сигнале можно выделить ряд характерных зон: 1 – начальный участок, соответствующий разгону двигателя до номинальной скорости; 2 – участок, соответствующий нормальному режиму работы двигателя; 3 – участок с дополнительными возмущениями, характеризующими наличие нарушений в работе двигателя.

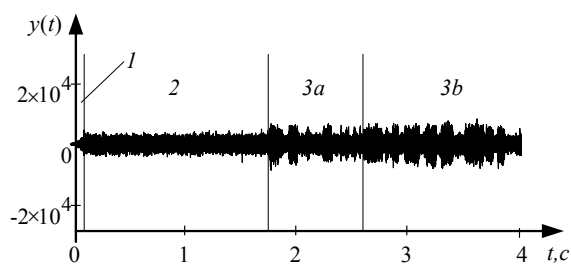


Рис.1 – Акустический сигнал, полученный в результате эксперимента

На первом этапе обработки сигналы пропущены через фильтр низких частот и полосовой фильтр. На втором – исследованы спектры амплитуд сигналов до и после фильтрации, а также динамика сигналов в фазовом пространстве. Для сигналов до и после обработки рассчитаны авторегрессионные модели скользящего среднего.

**Выводы.** После формирования двух каналов из исходного сигнала, в которых сосредоточена вся полезная информация, можно для выделения информационных признаков использовать стандартные методы цифровой обработки сигналов. Это позволит реализовать системы поддержки принятия решений реального времени с автоматическим определением неисправностей узлов машинного оборудования, степени их опасности и формированием перечня компенсирующих мероприятий.

1. Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. Москва: Наука, 1984. 120 с.

## МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА: РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Магнитолевитирующие поезда (МЛП) – один из радикальных интенсификаторов пассажирских и грузовых потоков. Скорости движения таких поездов экстремальны для наземного транспорта. Поэтому высокое качество этого движения должно гарантированно обеспечиваться во всех возможных эксплуатационных режимах. Решение проблемы такого обеспечения требует проведения значительного объёма исследований динамики МЛП, возможно большую часть которых следует компьютеризировать. Корректность же компьютерного моделирования, в свою очередь, требует, в частности, высокого уровня как качества используемых моделей динамики поездов, так и рациональности способа реализации таких моделей. Традиционный способ их реализации – интегрировании уравнений движения – ведёт к предсказательно-констатирующему, чисто когнитивному, не креативному характеру результата исследования, принципиально не позволяющему гарантировать достижение требуемого качества движения. Возникающая коллизия может быть преодолена заменой парадигмы реализации модели движения МЛП на обладающую креативными, эвристическими свойствами, достигаемыми при решении обратной задачи динамики исследуемой системы [1].

В работе разработана парадигма рациональной реализации математической модели динамики МЛП, свободной от несовершенств, неизбежных при использовании традиционного способа такой реализации. Парадигма ориентирована на обеспечение возможности достижения априорно задаваемого уровня качества результирующего движения системы, а также его приспособляемости к окружающей обстановке

Построены модели функционирования наиболее значимых для движения поезда в целом его подсистем – механической и электромагнитной. Детализация постановки задачи реализации этих моделей с использованием парадигмы обратной задачи динамики в каждом конкретном случае зависит, в частности, от особенностей условий её решения, а также качеств, которые желательно придать реальному движению поезда. В работе приведена обобщённая схема решения этой задачи. Предполагается один из наиболее гибких и приемлемых для МЛП способ натурной реализации его желаемого движения – терминальное управление им [2].

**Выводы.** Результаты анализа рассмотренной схемы решения обратной задачи динамики МЛП свидетельствуют о том, что, основанная на этом решении, разработанная парадигма реализации модели движения, свободна от несовершенств, неизбежных при использовании традиционного способа такой реализации. Она значительно более ресурсно-экономична по сравнению с традиционной, а осуществление её результатов позволяет гарантировать требуемое качество движения поезда. В то же время такая реализация модели, в отличие от традиционной, имеет креативный, эвристический характер. Использование её результатов позволяет придать исследуемой системе весьма важное свойство грубости, а сама эта реализация становится возможной непосредственно в процессе управления движением МЛП – на бортовых компьютерах. Кроме того, если в основу замыкания синтезируемого управления будет положен принцип отработки обобщённых ускорений системы, то она автоматически обретает свойство адаптивности движения к обстановке. Благодаря всему этому, разработанная парадигма позволяет существенно облегчать процесс и усовершенствовать результат синтеза желательной управляемой динамики рассматриваемого поезда.

1. Галиуллин А. С. Аналитическая динамика: монография. М.: Высшая школа, 1989. 264 с.
2. Bellman R. Adaptive Control Processes. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1961. 276 p.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПО БЕССЕТОЧНОЙ СХЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ОБЩИХ РЕШЕНИЙ

В последние годы наблюдается растущая популярность использования бессеточных подходов при решении задач математической физики. Одна из наиболее успешно зарекомендовавших себя бессеточных схем основана на комбинации метода двойного замещения с использованием радиальных базисных функций (РБФ) и метода фундаментальных решений.

Выбор такой бессеточной схемы обусловлен, прежде всего тем, что метод фундаментальных решений является легко программно реализуем, имеет спектральную сходимость [1] и позволяет достичь высокого порядка точности.

Однако, несмотря на все эти достоинства, метод фундаментальных решений обладает одним существенным недостатком. Данный недостаток заключается в построении фиктивной границы за пределами физической границы области решений краевой задачи, к узлам которой «привязываются» фундаментальные решения. Это делается для того, чтобы обойти сингулярность фундаментальных решений. Произвольное размещение фиктивной границы существенно снижает практическую применимость метода фундаментальных решений, особенно на сложных многосвязных областях.

В качестве альтернативы W.Chen [2] предложил использовать общее решение, которое является несингулярной радиальной функцией, удовлетворяющей соответствующему управляющему дифференциальному уравнению. В настоящее время, общее решение широко применяется на практике для решения задач, описываемых дифференциальным уравнением Гельмгольца. Однако, систематические численные и теоретические исследования по вопросам сходимости, стабильности и точности решения задач бессеточными методами, использующими общие решения, все ещё отсутствуют.

Нашей задачей являлось проведение численного сравнительного анализа решений двумерных задач теплопроводности по бессеточной схеме, полученных с использованием фундаментальных и общих решений модифицированного уравнения Гельмгольца.

Численный анализ решения краевых задач с использованием фундаментальных и общих решений продемонстрирован на примере двух тестовых задач. Были получены численные решения краевых задач с использованием фундаментального и общего решений для различного числа интерполяционных узлов. Были посчитаны среднеквадратичные ошибки решения рассмотренных задач, а также построены сравнительные графики зависимости среднеквадратичной ошибки от числа интерполяционных узлов.

1. *Barnett A. H.*, Stability and convergence of the Method of Fundamental Solutions for Helmholtz problems on analytic domains / A. H. Barnett, T. Betcke // *Journal of Computational Physics*. – 2018. – Vol. 227, Issue 14. – P. 7003-7026.

2. *Chen W.* New insights in boundary-only and domain-type RBF methods / W. Chen, M. Tanaka // *International Journal Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*. – 2000. – Vol. 1. – P. 145-152.

## ПОБУДОВА СКЛАДЕНИХ ВОКСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЙ НАД НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ

Сучасні інформаційні системи, в функції яких входить формування і аналіз візуальних образів просторових об'єктів вимагають простих моделей, маніпуляція якими здійснювалася б із застосуванням простих арифметичних операцій в реальному часі. Одними з найбільш поширених, завдяки своїй простоті і достатній точності подання, є воксельні моделі. Проблемою є те, що основними операціями, реалізованими для таких моделей, є лише формування з існуючого масиву даних і візуалізація.

В роботі пропонується підхід до побудови комплексних воксельних моделей просторових об'єктів шляхом композиції, на основі їх інтерпретації як нечітких множин, що дає можливість залучення відповідних операцій об'єднання, перетину і віднімання.

Розглянемо просторовий об'єкт  $\Omega$  поданий індикаторною функцією  $\Phi(x, y, z)$ , яка приймає значення 1 у точках простору, що належать об'єкту, і 0 в інших. Інтерпретація воксельної моделі  $V_\Omega$  такого об'єкту [1] як нечіткої множини [2] можлива на основі того факту, що нормована оптична щільність  $\rho_\Omega(v)$  матеріалу воксела  $v$  визначає його належність до моделі ( $v \in V_\Omega$ ) так само, як функція належності визначає належність елемента до нечіткої множини. Воксельна модель  $V_\Omega$  об'єкту  $\Omega$  складається з вокселів, для яких  $\rho(v) > 0$ .

Значення оптичної щільності воксела  $\rho_\Omega(v)$  об'єкту  $\Omega$  за його індикаторною функцією  $\Phi(x, y, z)$  може бути обчислене на основі використання тестових точок [3].

Тоді, так само як для нечітких множин [2], для воксельних моделей  $V_A$  і  $V_B$  об'єктів  $A$  і  $B$  маємо визначення операцій віднімання  $A/B$ , об'єднання  $A \cup B$ , перетину  $A \cap B$  і симетричної різниці множин  $A \oplus B$ :

$$\begin{aligned}\rho_{A/B}(v) &= \max\{\rho_A(v) - \rho_B(v), 0\}, \\ \rho_{A \cup B}(v) &= \max\{\rho_A(v), \rho_B(v)\}, \\ \rho_{A \cap B}(v) &= \min\{\rho_A(v), \rho_B(v)\}, \\ \rho_{A \oplus B}(v) &= \max\{\max\{\rho_A(v) - \rho_B(v), 0\}, \max\{\rho_B(v) - \rho_A(v), 0\}\}.\end{aligned}$$

### Висновки

Запропонована інтерпретація воксельних моделей з класичними і напівпрозорими вокселями як нечітких множин дозволяє залучити до процесу їх побудови операції над нечіткими множинами, що дає можливість спростити процедуру отримання складених моделей. Розроблене програмне забезпечення, яке реалізує розглянуту процедуру генерації моделей і дає можливість зберігати їх у форматах, придатних для візуалізації в пакеті Blender [4]. В подальшому планується вдосконалення формату подання воксельних моделей з класичними і напівпрозорими вокселями.

1. Реута О. В. Воксельна модель тривимірного об'єкту в задачах реконструкції його форми. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2008. Вип. 80. С. 500 – 504.
2. Zadeh L. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965. №8. Р. 338 – 353.
3. Реута О. В. Використання напівпрозорих вокселів в дискретних моделях просторових об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2012. Вип. 4, т. 52. С. 107 – 111.
4. Voxel models manipulation and visualization based on Fuzzy set operations (Golang, Python, Blender). URL: <http://github.com/oreuta/fuzzy-voxels> (Last accessed 03.05.2019).

## ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ «ФЛОРАТЕСТ» ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

*Романов О.О., д.т.н, проф., відділ перетворювачів інформації*

*Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*

*Царук О.В., аспірант (123 – Комп'ютерна інженерія)*

*Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*

*Броварець О.О., к.т.н., доц.,*

*Завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін*

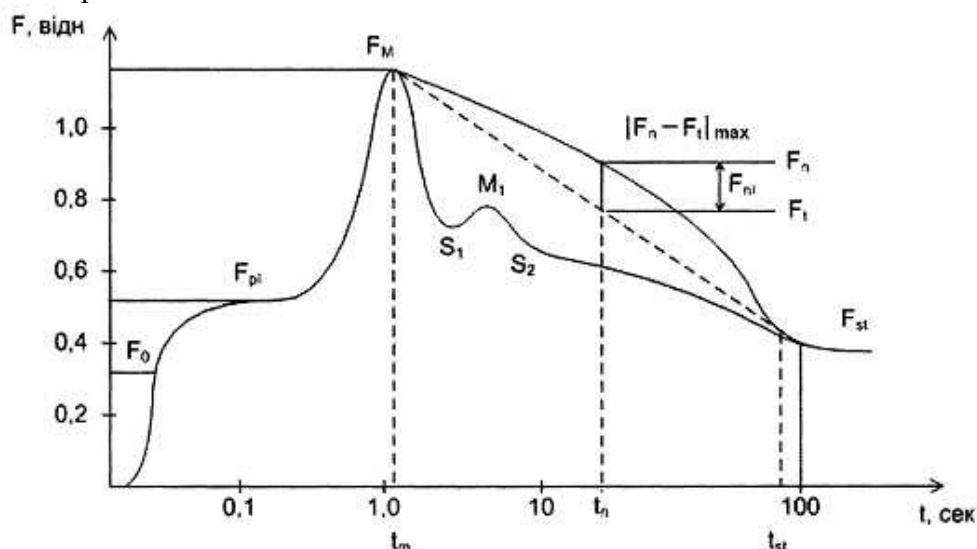
*Київського кооперативного інститут бізнесу і права*

Один із головних підходів при застосуванні цифрових технологій землеробства полягає у оптимізації урожайності сільськогосподарських культур забезпечення екологічної складової якості сільськогосподарської продукції.

В рамках наукового дослідження нами пропонується вивчити та дослідити методу індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ), як найбільш оперативного та експресивний для вивчення та аналізу стану рослинності для промислових умов землеробства.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що запропонований спосіб включає опромінення листка рослини після темної фази світлом з довжиною хвилі 400, 650 нм, прийому, вимірювані і реєстрації сигналів флуоресценції з довжиною хвилі 670,770 нм, із значень яких будують криву індукції флуоресценції з виділенням початкового  $F_0$  і максимальної  $F_m$  значень флуоресценції, а також визначають ширину кривої індукції флуоресценції на рівні 0,75 ( $F_m - F_0$ ) для дослідної  $t_d$  і контрольної  $t_k$  рослин.

Відмінними ознаками запропонованого способу є те, що в ньому визначають ширину кривої індукції флуоресценції на рівні 0,75 ( $F_m - F_0$ ) для дослідної  $t_d$  і контрольної  $t_k$  рослин, а одержані значення порівнюють, і призначені  $t_d^2 t_k$  дослідну рослину вважають ураженою карбонатним хлорозом.



**Рис. 1. Зображено загальний вигляд кривої індукції флуоресценції хлорофілу (індукційна крива, крива Каутського).**

На рис. 1 зображено загальний вигляд кривої індукції флуоресценції хлорофілу (індукційна крива, крива Каутського) де значення флуоресценції представлені у відносних одиницях:

$F_0$  - початкове значення флуоресценції після початку опромінення;

$F_m$  - максимальне значення флуоресценції;

$F_m - F_0$  - варіабельна флуоресценція.

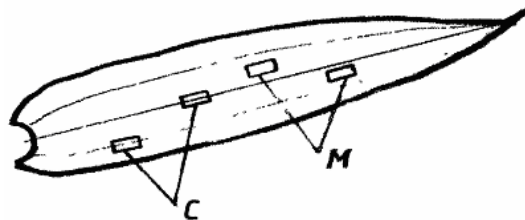
$t_1$  - час досягнення 0,75 варіабельної флуоресценції з боку наростання кривої індукції флуоресценції хлорофілу;

$t_2$  - час досягнення 0,75 варіабельної флуоресценції з боку падіння кривої індукції флуоресценції хлорофілу для контрольної рослини.

$t_3$  - час досягнення 0,75 варіабельної флуоресценції з боку падіння кривої індукції флуоресценції хлорофілу для дослідної рослини.

$t_K, t_d$  - ширина кривої індукції флуоресценції хлорофілу відповідно контрольної і дослідної рослини.

На рис. 2 схематично зображено листок рослини з точками вимірювань наведеної флуоресценції, де точки С і М відповідно області судин і між судинами.



**Рис. 2. Зображено загальний вигляд кривої індукції флуоресценції хлорофілу (індукційна крива, крива Каутського).**

В рамках дисертаційної роботи нами пропонується вивчити та дослідити методу індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ), як найбільш оперативного та експресивний для вивчення та аналізу стану рослинності для промислових умов землеробства (рис. 3).



**Рис. 3. "Флоратест" - прилад для функціональної діагностики стану рослин в польових умовах.**

Поєднання цього методу із цифровими інформаційними та технологічним прогнозуванням, дасть змогу управління плановою врожайністю.

Тому основною метою роботи полягає у вивченні та дослідженні найбільш інтенсивного та експресивного методу індукції флуоресценції хлорофілу для оцінки стану сільськогосподарських культур в умовах промислового землеробства та поєднання цього методу з інноваційними технологіями цифрового землеробства, спрямованими на прогнозування і з рештою на кінцеву мету, на управління врожайністю.

У результаті огляду встановлено необхідність та доцільність розробки та використання пристрою для локального оперативного моніторингу «Флоратест» та ідентифікації агробіологічного стану сільськогосподарських культур методом проведення індукції флуоресценції нативного хлорофілу.



# ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИОКРЕМЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗОН НЕОДНОРІДНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

*Романов О.О., д.т.н, проф., відділ перетворювачів інформації*

*Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*

*Чурилович І.С., аспірант (123 – Комп'ютерна інженерія)*

*Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*

*Броварець О.О., к.т.н., доц.,*

*Завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін*

*Київського кооперативного інститут бізнесу і права*

Сучасні технології агропромислового виробництва вимагають використання експрес методів для оперативного аналізу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. На сьогодні існує три рівні дослідження за агробіологічним станом сільськогосподарських угідь: супутниковий, аеро та наземний моніторинг. Найбільш ефективним є моніторинг із використанням супутників, так званий дистанційний моніторинг, а дані отриманні з використанням такого моніторингу – дані дистанційного (моніторингу) зйомки Землі (ДЗЗ). З одного боку ефективність таких даних обумовлена оперативністю їх отримання, а з іншого – масштабністю, що досить важливо в умовах отримання оперативних даних про агробіологічний стану ґрунтового середовища. Тому для ефективного використання даних дистанційної зйомки Землі (ДЗЗ) виникає необхідність розробки алгоритму інформаційної системи виокремлення та ідентифікації зон неоднорідності агробіологічного стану сільськогосподарських угідь на космічних знімках з використанням валідації даних супутникового та наземного моніторингу.

З проведеного огляду літературних джерел складена класифікація способів і засобів моніторингу з використанням систем технічного зору (рис. 1). Встановлено, що велику ефективність моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь має дистанційний моніторинг з використанням даних дистанційного зондування Землі отриманих від супутників.

Використання існуючих транспортних засобів (у тому числі і СГМ), як засобів доставки систем технічного зору, є недоцільним технічно (оскільки вони не забезпечують вимоги щодо вібрації, маневрово-технологічних характеристик, ущільнення ґрунту тощо) та економічно. Існуючі СГМ, як засоби доставки робочого обладнання (системи технічного зору) для моніторингу, доцільно використовувати у випадку суміщення операцій моніторингу з виконанням відповідної технологічної операції при забезпеченні умов ефективного функціонування системи технічного зору моніторингу стану сільськогосподарських угідь шляхом використання відповідних елементів кріплення. Тому в сучасних ринкових умовах застосування методів та засобів дистанційного моніторингу Землі з системою технічного зору [15 - 27] для моніторингу стану сільськогосподарських угідь в точному землеробстві є ефективним економічно та доцільним з технічної точки зору.

Системи технічного зору, які працюють синхронно з високопродуктивною обчислюваною технікою, дозволяють на сучасному етапі будувати цифрові моделі зовнішнього середовища в реальному часі [21].

Однією із головних задач, яку необхідно вирішувати при керуванні агробіологічним станом сільськогосподарських угідь на основі даних отриманих шляхом супутникового моніторингу є задача ідентифікації зон неоднорідності та розробки методики їх локалізації для подальшої роботи з ними.

Інформація про координати таких зон та методика ідентифікації таких зон дуже важлива для керування агробіологічними параметри ґрунтового середовища. Проте існуючі методики опису та ідентифікації таких зон не забезпечують вимог до якості та ефективності моніторингу, що створює передумови для її розробки.

**Висновки.** У результаті дослідження існуючих способів моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь встановлено високу необхідність та доцільність супутникового моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Досліджено необхідність та доцільність розробки алгоритму і використання інформаційної системи виокремлення та ідентифікації зон неоднорідності агробіологічного стану сільськогосподарських угідь на космічних знімках з використанням валідації даних супутникового та наземного моніторингу.

## ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ АНАЛІЗУ БАГАТОВИМІРНИХ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЙ

Значна кількість застосувань пов'язана з інтерпретацією багатовимірних цифрових сигналів (багатоспектральні цифрові зображення дистанційного зондування, цифрові радіотехнічні сигнали тощо) [1]. Основною інформаційною характеристикою таких сигналів, суттєвою для їх тематичного аналізу, є розрізнявальна здатність [2]. Існуючі результати, пов'язані з аналізом та тематичною інтерпретацією таких сигналів, обмежені їх поданням на плоских та тривимірних цілочислових решітках.

В роботі запропоновано метод подання розподілів інтенсивностей багатовимірних цифрових сигналів на цілочислових ортогональних решітках довільної кількості вимірів. На цій основі розвинений метод суміщення окремих реалізацій таких сигналів, поданих різними шарами решіток. Метод забезпечує збільшення роздільної здатності розподілів інтенсивностей первинних сигналів з контрольованим рівнем інформативності та збереження схожості геометричних форм розподілів інтенсивності вихідних сигналів у синтезованих сигналах. Мета статті – розробка методу збільшення інформаційної значущості (розрізнявальної здатності) багатовимірних цифрових сигналів, заданих на ортогональних цілочислових решітках, шляхом суміщення інформаційних характеристик їх реалізацій, поданих шарами решіток.

В основу розробленої інформаційної технології покладено запропоноване у роботі [3] подання багатовимірних цифрових сигналів, заданих на прямокутних ортогональних цілочислових решітках  $n \times m \times k$  матрицями  $\mathbf{M}_{nm \times k}$  з ортогоналізованими стовпцями, кожний з яких відповідає проекції окремої  $k$ -реалізації сигналу на двовимірну решітку  $n \times m$ . Формування альтернативного матричного подання багатовимірного цифрового сигналу здійснюється шляхом заміни стовпця матриці  $\mathbf{M}_{nm \times k}$ , що відповідає найбільш інформативній реалізації сигналу (визначеній за критерієм максимізації квадратичної ентропії) лінійною комбінацією решти стовпців, з наступним оберненим сингулярним перетворенням перетвореної матриці та відновленням цифрових рівнів синтезованого сигналу.

Наведено приклади реалізації запропонованого методу стосовно багатоспектральних растрових зображень дистанційного зондування. Доведено забезпечення високого рівня структурної схожості розподілів інтенсивностей первинних та синтезованих цифрових сигналів.

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані автоматизованому обробленню багатовимірних цифрових сигналів різної фізичної природи та розпізнавання образів як основа для збільшення інформаційної значущості таких сигналів з позицій їх тематичного аналізу та інтерпретації.

1. Mahler R. Optimal/robust distributed data fusion: a unified approach. *Proceedings of SPIE*. 2000. Vol. 4052: Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition, №. 4. P. 128-138.
2. Даджион Р., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов / пер. с англ. под ред. Л.П.Ярославского, Москва, 1988. 488 с.
3. Корчинский В.М. Многомерное векторное представление распределений яркости многоспектральных растровых изображений дистанционного зондирования Земли. *Вестник Херсонского национального технического университета*, 2014. № 3 (50). С. 90-93.

## АНАЛІЗ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВОГО ОСКЛІННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Робота присвячена дослідженню відгуку багатошарового скла на швидкісний удар осесиметричним твердим тілом. Оскління літального апарата має багатошарову структуру, силові шари якого виготовляються із силікатного та органічного скла, полікарбонату, які з'єднуються між собою клейовими шарами [1]. Така структура дозволяє забезпечити меншу вагу конструкції при виконанні усіх вимог, що висуваються до міцності оскління. Метою роботи є створення розрахункової методики для оцінки міцності багатошарового авіаційного скла при взаємодії із ударником, що імітує кулю. Аналізуються відмінності у пробиванні крихкого і пластичного матеріалу. При ударі по тонкостінній гомогенній конструкції, яка виготовлена із крихкого матеріалу, у результаті взаємодії прямих і відбитих хвиль деформацій спостерігається вибивання так званого конусу Герца (рис. 1). При пробиванні багатошарового скла ударник вибиває такі конуси із скла й штовхає їх перед собою. У результаті тиск на наступний шар до моменту руйнування конуса діє по більшій площадці, а швидкість ударника зменшується через залучення в рух додаткової ваги від вибитого конуса. Оцінка кулестійкості багатошарового скла проводиться на основі аналізу глибини проникнення кулі в пакет та процесу поширення хвиль деформацій у склі. Для оцінки глибини проникнення ударника у скло використовується емпірична залежність для обчислення напружень на поверхні контакту ударника із перешкодою [2], а для аналізу розповсюдження хвиль – тривимірні рівняння із врахуванням затухання за моделлю Кельвіна-Фойхта [3]. Емпірична залежність відображає відоме визначення величини опору середовища як суми міцнісної та інерційної складових

$$\sigma_n = H_d + k\rho V^2,$$

де  $\sigma_n$  – сила опору прониканню,  $H_d$  – динамічна твердість матеріалу,  $k$  – коефіцієнт форми головної частини ударника,  $\rho$  – густина перешкоди,  $V$  – поточна швидкість.

Ця залежність доповнюється механізмом, що описує процес послідовного вибивання конусів Герца і їх залучення у рух.

Розглянуто удар твердим тілом масою 3,4 г при швидкості зіткнення 900 м/с по чотирьом композиціям скла та наведено дані, щодо глибини проникнення ударника у скло.

**Висновки.** Розглянуто задачу аналізу кулестійкості оскління літальних апаратів. Оцінка кулестійкості проводиться на основі аналізу глибини проникання кулі в пакет та процесу поширення хвиль деформацій у склі. Проведено тестовий розрахунок декількох композицій оскління, який довів працездатність розробленого методу.

Запропонована методика може бути застосована до розрахунку кулестійкості оскління військових та спеціальних транспортних засобів.

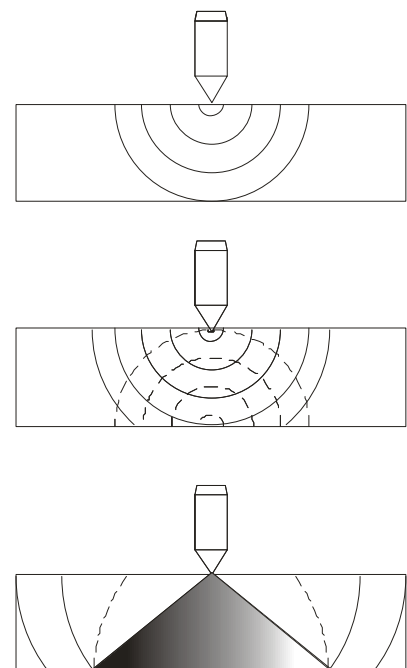


Рис. 1 Спрощена схема вибивання конусу Герца

1. Аналіз напружено-деформованого стану багатошарового оскління кабін пілотів літальних апаратів під впливом статичних і динамічних навантажень / Ю.М. Родічев, Н.В. Сметанкіна, О.М. Шупіков, С.В. Угрімов. *Проблеми міцності*. 2018. № 6. С. 49–56.
2. Сагомоян А. Я. Проникание. М.: Изд-во московского ун-та, 1974. 300 с.
3. Василенко Н. В. Теория колебаний. Киев: Вища шк., 1992. 430 с

## ОБМЕЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИДУ В ЗАДАЧАХ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ЗАДАНИХ ОБЛАСТЕЙ

Актуальність роботи виникає у зв'язку з відсутністю на теперішній час моделей та методів покриття заданих областей з урахуванням обмежень спеціального виду, які визначають форму та розміри об'єктів покриття, а також потребують належності елементів заданих областей площі взаємного перетину необхідної кількості об'єктів покриття та урахування обмежень знизу та зверху на кількість об'єктів покриття. Наприклад, у сфері цивільного захисту до даного класу можуть бути зведеними задачі оптимального покриття адміністративно-територіальних одиниць, об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) та потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) районами виїзду оперативно-рятувальних підрозділів (державних, місцевих, добровільних) [1–3], причому зазначені ОПН та ПНО мають належати районам виїзду кількох підрозділів у залежності від номеру виклику (обмеження спеціального виду).

Розглянемо ж детальніше, що ж відноситься до обмежень спеціального виду для покриття заданих областей оперативно-рятувальними підрозділами.

До обмежень спеціального виду в галузі цивільного захисту, а саме покриття оперативно-рятувальними підрозділами заданої області, можуть бути віднесені наступні:

- ✓ час реагування оперативно-рятувальних підрозділів на небезпечні події (в т.ч. пожежі);
- ✓ обмежені ресурси на створення підрозділів;
- ✓ необхідність реалізації заданого номеру виклику ОРП;
- ✓ ризик для людини загинути внаслідок небезпечної події (пожежі) або надзвичайної ситуації має не перевищувати значення, яке має бути обґрунтованим виходячи з існуючих соціально-економічних умов

**Висновки.** Формалізація обмежень спеціального виду в задачах покриття заданих областей неопуклими багатокутниками. Це дозволить врахувати вплив даних обмежень на форму, розміри та кількість об'єктів покриття, а також на модель та метод покриття заданих областей для розв'язання важливих практичних задач у сфері цивільного захисту

1. Коссе А.Г. Метод раціонального розміщення пожежних депо при проектуванні і оновленні районів міста: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 21.06.02. Харків, 2001. 23 с.
2. Собина В.О. Раціональне покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками: дис. ... канд. тех. наук :05.01.01. Мелітополь, 2012, 22 с.
3. Соболев О.М., Кравців С.Я. Модель покриття заданих областей з урахуванням обмежень спеціального виду : зб. наук. праць» Сучасні проблеми моделювання» :Мелітополь, МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2019, Вип. 14, С 171–178.

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ

Мікроклімат робочого місця є дуже важливим фактором ефективної праці людини, показники температури, освітленості, відносної вологості повітря, кількості вуглецевого газу, атмосферного тиску впливають на працездатність людини. В Україні діють державні санітарні норми, які регулюють значення цих показників [1-3], перевищення яких погано впливає на самопочуття та імунітет людини, що в кінцевому підсумку приводить до економічних збитків. І якщо у виробничому секторі наявні великі корпоративні рішення, які дозволяють відслідковувати та контролювати мікроклімат приміщень, у побутовому секторі таких систем не існує. Актуальна також ця проблема і для шкільних кабінетів і більшості людей, які працюють віддалено в так званих «домашніх офісах». Є рішення, які контролюють декілька показників (Boneco X200, датчики серії LOVENOME ACADEMY, універсальний датчик мікроклімату Broadlink E-Air A1), але одночасно збирати, аналізувати всі дані не може жодне з них.

Апаратна частина інформаційної системи розроблена на платформі Ардуіно і складається з чотирьох сенсорів: DHT22 (вимірює температуру та вологість повітря, який має збільшену точність, та мінімальну похибку), MH-Z19 (вимірює кількість вуглецевого газу, не є промисловим, проте точність не гірша від промислових варіантів), BH1750 (вимірює яскравість освітлення), цифрового барометра BMP180 малих розмірів та мікроконтролера для їх опитування. Компоненти BH1750 та BMP180 під'єднані до одних пінів Ардуіно. Справа в тому, що ці модулі використовують шину I2C для спілкування з мікроконтролером. Це дозволяє під'єднати багато компонентів при невеликій кількості вхідних пінів Arduino nano.

Програмна частина складається зі скрипту опитування СОМ-порту, на якому знаходиться мікроконтролер Arduino. Дані збираються та кожні 5 хвилин відправляються на сервер Things Speak. Така періодичність відправки даних виключає ситуації, коли прилад або затримався із отриманням даних від сенсору (для модуля DHT22 за документацією час опитування 2 секунди, модуль MH-Z19 може повертати результат із затримкою до 8 секунд). В програму опитування СОМ порту був доданий таймер, який збирає дані протягом 5 хвилин та потім висилає на сервер середнє арифметичне по кожному показнику. Таким чином на сервері ми отримуємо дані за 5 хвилин стабільно, без затримок. Якщо відправка даних на сервер не була успішною – програма робить одне додаткове коло із опитуванням мікроконтролера та висилає все на сервер. На сторінці користувача сервісу Things Speak, можливо створити свій «канал», де будуть зберігатися всі дані з приладу та можливо створення інфографіки за кожним показником. До даних з серверу має доступ Телеграм-бот, який повідомляє користувача про підвищення показників вище припустимих значень, та має меню команд для «спілкування» з приладом.

**Висновки.** Розроблена інформаційна система може використовуватися як система моніторингу мікроклімата не тільки робочого місця, але й віддалених приміщень, при відповідній доробці її функціонал може бути розширений і для контролю мікроклімата, а також вона може бути інтегрована у систему розумного дому.

1. Мікроклімат робочого місця ДСанПІН 3.3.2.007-98 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>.
2. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.
3. Державні санітарні правила і норми влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів та організації навчально-виховного процесу ДСанПіН 5.5.2.008-01. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0063588-01>

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ MAGLEV

Однією з важливих проблем створення наземних швидкісних транспортних засобів типу Maglev є оптимізація аеродинамічних сил та моментів для забезпечення необхідних параметрів стійкості та керованості [1,2]. Для її розв'язування необхідна використовувати фізичне або математичне моделювання

Сучасні експериментальні підходи ґрунтуються на використанні аеродинамічних труб, які знайшли широке впровадження при розв'язуванні аеродинамічних задач в авіації.

Проте, застосування експериментальних методів моделювання руху наземних транспортних засобів пов'язане з певними труднощами. При вивченні ряду явищ мають місце процеси, для яких утруднене моделювання у лабораторних і натурних умовах. Для подібності між натурою і модельним експериментом уже недостатньо задовольнити лише класичним критеріям подібності — рівності чисел Маха і Рейнольдса для моделі і натурі.

Для усунення похибок, що виникають при фізичних експериментах в аеродинамічних трубах необхідно використовувати математичне моделювання з застосуванням повних та осереднених рівнянь Нав'є-Стокса. Для моделювання течій навколо транспортних засобів Maglev найбільш поширеними є підходи ґрунтовані на моделях в'язкої рідини. В сучасних методах обчислювальної аеродинаміки застосування моделей в'язкої рідини ґрунтується на використанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса. (Reynolds-Averaged Navier-Stokes - RANS) [2].

Найбільш достовірним вважається пряме числове моделювання (DNS). При використанні методу DNS розрізняються усі масштаби турбулентності. Це дозволяє розрахувати амплітудно-частотні та середні характеристики потоку шляхом осереднення за достатньо довгим інтервалом часу. Використання DNS вимагає застосування потужних обчислювальних ресурсів. Моделювання великих вихорів (LES) займає проміжне становище поміж прямим числовим моделюванням та осередненими рівняннями Нав'є-Стокса.

В LES поле течії розділяється на рух великих та дрібних вихорів. Великі вихори розраховуються. Дрібномасштабна турбулентність вважається ізотропною і має універсальний характер.

В порівнянні з DNS, метод LES потребує набагато менших ресурсів електронно-обчислювальних машин. Основною проблемою для LES залишається визначення похідних для розрізнення найдрібніших масштабів.

На сьогодні найбільш поширеним підходом для моделювання турбулентних течій залишається напівемпірична теорія турбулентності. Для зовнішніх течій ефективно зарекомендував себе метод відокремлених вихорів (Detached Eddy Simulation - DES). Метод DES представляє собою гібрид рівнянь Рейнольдса та методу великих вихорів. В пристінній області, де кроку сітки недостатньо для розрізнення великих вихорів використовується метод RANS. У відривних зонах з характерними для них великомасштабними вихоровими структурами застосовується LES.

**Висновки.** Аналіз математичних методів показує, що DES є перспективним підходом для моделювання аеродинаміки транспортних засобів Maglev.

1. Приходько А.А. Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики транспортных систем вблизи земли. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 154с.
2. Сохацкий А. В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонентів перспективних швидкісних транспортних апаратів: дис. доктора технічних наук: 05.07.01. Дніпропетровськ. 2010. 364с.

## ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КРИВИЗНОЙ И КРУЧЕНИЕМ СФЕРИЧЕСКОЙ И КОНИЧЕСКОЙ КРИВЫХ

В случае, когда кривая лежит на поверхности, ее кривизна  $k$  и кручение  $\chi$  связаны некоторым соотношением. В работе приведена связь между кривизной и кручением произвольной сферической кривой, и средствами дифференциальной геометрии получена связь между кривизной и кручением конической кривой.

### *Случай сферической кривой.*

**Предложение.** Необходимое и достаточное условие принадлежности кривой сфере имеет вид

$$\frac{\chi}{k} = \left( \frac{k'}{\chi k^2} \right)'$$

### *Случай конической кривой.*

Рассмотрим круговой конус с центром в начале координат. Пусть начало координат принадлежит конической кривой. Радиус-вектор произвольной точки этой кривой имеет вид

$$\vec{r}(s) = \frac{\bar{m}_1}{1!} s + \frac{k\bar{m}_2}{2!} s^2 + \frac{k'\bar{m}_2 + k(-k\bar{m}_1 + \chi m_3)}{3!} s^3 + \dots = \left( s - \frac{k^2}{6} s^3 \right) \bar{m}_1 + \left( \frac{k}{2} s^2 + \frac{k'}{6} s^3 \right) \bar{m}_2 + \frac{k\chi}{6} s^3 \bar{m}_3.$$

Кривая на круговом конусе может быть задана уравнением  $\frac{(\vec{r}(s), \vec{e})}{|\vec{r}(s)|} = \cos \varphi$ , где  $\varphi$  -

угол между образующей и осью конуса,  $\vec{e}$  - единичный направляющий вектор оси конуса. Задача решается путем дифференцирования этого уравнения и применения формул Френе. Кривизна и кручение являются коэффициентами в деривационных формулах Серре-Френе. Искомая зависимость между кривизной и кручением конической кривой имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \sqrt{f} & B & C \\ (\sqrt{f})' & \tilde{B} & \tilde{C} \\ (\sqrt{f})'' & \tilde{\tilde{B}} & \tilde{\tilde{C}} \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A & \sqrt{f} & C \\ \tilde{A} & (\sqrt{f})' & \tilde{C} \\ \tilde{\tilde{A}} & (\sqrt{f})'' & \tilde{\tilde{C}} \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A & B & \sqrt{f} \\ \tilde{A} & \tilde{B} & (\sqrt{f})' \\ \tilde{\tilde{A}} & \tilde{\tilde{B}} & (\sqrt{f})'' \end{vmatrix}^2 = \frac{\begin{vmatrix} A & B & C \\ \tilde{A} & \tilde{B} & \tilde{C} \\ \tilde{\tilde{A}} & \tilde{\tilde{B}} & \tilde{\tilde{C}} \end{vmatrix}^2}{\cos^2 \varphi},$$

где  $A, B, C, \tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \tilde{\tilde{A}}, \tilde{\tilde{B}}, \tilde{\tilde{C}}$  - коэффициенты, зависящие от  $k$  и  $\chi$ , а  $f = A^2 + B^2 + C^2$  - функция от параметра  $s$ .

**Выводы.** В статье решена задача получения связи между кривизной и кручением произвольной кривой, лежащей на конусе, средствами дифференциальной геометрии.

1. Аминов Ю.А. Дифференциальная геометрия и топология кривых. М.: Наука, 1987. 160с.
2. Иванов А.О., Тужилин А.А. Лекции по классической дифференциальной геометрии. Учебные материалы. Кафедра дифференциальной геометрии и приложений МГУ. М., 2004. 233 с.
3. Кованцов Н.И. Дифференциальная геометрия. К., 1973. 375 с.
4. Кованцов Н.И., Зражевская Г.М., Кочаровский В.Г., Михайловский В.И. Дифференциальная геометрия, топология, тензорный анализ. Сб. задач. К., 1989. 398с.
5. Мищенко А.С., Фоменко А.Т. Курс дифференциальной геометрии и топологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 439с.
6. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. М.: Наука, 1974. 276с.
7. Позняк Э.Г., Шикин Е.В. Дифференциальная геометрия. Первое знакомство. М.: Изд-во МГУ, 1990. 383с.

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ЖЕСТКИХ РЕЗЕРВАУАРАХ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Одной из наиболее важных и актуальных задач при изучении колебаний жидкости в резервуарах является проблема устойчивости движения, особенно при действии вертикальной возбуждающей силы. В этих условиях ускорении силы тяжести становится переменным, и возникает эффект параметрических колебаний.

Изучены параметрические колебания оболочек вращения, частично заполненных жидкостью и подверженных действию вертикальной возмущающей силы. Предполагается, что жидкость в оболочке идеальная, несжимаемая, а ее движение, вызванное приложенной нагрузкой, является безвихревым. Предположение о потенциальности потока не нарушает общности, так как предполагается, что движение жидкости начинается из состояния покоя, и по теореме Кельвина остается потенциальным во все последующие моменты движения. В этих условиях существует потенциал скоростей жидкости, удовлетворяющий уравнений Лапласа. На смоченной поверхности оболочки вращения должны быть выполнены условия непротекания, а на свободной поверхности требуется выполнение кинематического и динамического краевых условий. Динамическая составляющая давления жидкости на стенки резервуара определяется по формуле, представляющей собой линеаризованный интеграл Коши-Лагранжа.

Сформулирована и решена спектральная краевая задача о свободных колебаниях жидкости в оболочке вращения. Спектральная задача определения частот и форм произвольной оболочки вращения сведена к решению проблемы собственных значений, сформулированной для дискретного аналога системы одномерных сингулярных интегральных уравнений. Численное решение сингулярных интегральных уравнений осуществлено методом граничных элементов. Предложен метод вычисления одномерных сингулярных интегралов, основанный на применении метода Гаусса для вычисления эллиптических интегралов с помощью среднего арифметико-геометрического значения. Потенциал скоростей и функция, описывающая уровень подъема свободной поверхности, представлены в виде двойных рядов по тригонометрическим функциям и собственным формам колебаний жидкости в рассматриваемой оболочке. Задача о вынужденных колебаниях жидкости в оболочке под действием вертикальной возмущающей силы сведена к решению системы дифференциальных уравнений Матье. Оценка устойчивости движения осуществляется с использованием диаграммы Айнса-Сретта. Если частота вынуждающей силы приблизительно вдвое больше нижней частоты, происходят параметрические колебания с возрастающей амплитудой, т.е. теряется устойчивость движения.

Предложен метод, позволяющий оценить устойчивость параметрических колебаний оболочки вращения, частично заполненной жидкостью, и находящейся под действием периодической вертикальной вынуждающей силы. Для оценки устойчивости движения необходимо знать спектр собственных частот оболочки, амплитуду и частоту вынуждающей силы. Решение системы сингулярных интегральных уравнений получено с использованием метода граничных элементов. Задача о колебаниях жидкости в оболочке под действием вертикальной возмущающей силы сведена к решению системы дифференциальных уравнений Матье.



## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИТІСНЕННЯ НАФТИ ТЕПЛОНОСІЄМ З УРАХУВАННЯМ КАПІЛЯРНОГО ЕФЕКТУ

За останні десятиріччя відбувається погіршення процесу нафтовидобутку. Головним чином це пов'язане із структурою порід-колекторів, більша половина з яких становить важковидобувні, енергетично-виснажені та високообводнені поклади. Їх висока неоднорідність призводить, зокрема, до нерівномірного вилучення нафти, зниження коефіцієнта нафтовіддачі тощо [2].

Один із перспективних методів інтенсифікації процесу витіснення та підвищення фільтраційно-ємнісних характеристик привибійної зони свердловин є – гідравлічний розрив пласта. Однак, в залежності від розміщення тріщин утворених внаслідок гідророзриву, змінюється напрям і швидкість фільтраційних потоків, а також встановлюється зв'язок із іншими зонами підвищеної проникності. В свою чергу, це вимагає побудови якісних методів прогнозування та кількісної оцінки процесів розробки продуктивних нафтових родовищ. Тому, на основі методів квазіконформного відображення [1], у роботі запропоновано математичну модель та розроблено підхід до розв'язання відповідної нелінійної крайової задачі неізотермічної багатофазної фільтрації в неоднорідних нафтових пластах за умов урахування капілярного ефекту. Для опису процесу перерозподілу тепла між фазами та скелетом, прийнято однотемпературну модель, згідно з якою є миттєвою передача тепла від флюїду до скелету і в зворотному напрямку  $(\frac{\partial C(s)T}{\partial t} + \text{div}[(c_o\rho_o\vec{v}_o + c_w\rho_w\vec{v}_w)T]) = 0$ , де

$C(s) = \sigma\rho_o c_o(1-s) + \sigma\rho_w c_w s + (1-\sigma)\rho_e c_e$  – об'ємна теплоємність пористого середовища,  $c_o$ ,  $c_w$ ,  $c_e$ ,  $\rho_o$ ,  $\rho_w$ ,  $\rho_e$  – питомі теплоємності і густини для нафти, води і скелету пласта, відповідно) [3]. Побудовано відповідний числовий алгоритм для розрахунку гідродинамічної сітки, відшукування полів температури та насиченості, координат критичних точок, фільтраційних витрат, часу повного заводнення тощо.

Моделюванням і експериментально показано, що фронт витіснення у випадку не врахування капілярного ефекту просувається швидше ніж при його врахуванні. Це, в свою чергу, призводить до збільшення реального часу прориву води в експлуатаційну свердловину, тим самим не дозволяє вчасно провести відповідні водоізоляційні роботи. Проте, не врахування капілярного ефекту не значним чином впливає на розподіл насиченості за фронтом витіснення і дозволяє використовувати відповідну модель на початкових етапах процесу витіснення в нафтових пластах.

**Висновки.** Розвинуто методи комплексного аналізу математичного моделювання ізотермічної багатофазної фільтрації на випадок витіснення нафти з неоднорідного горизонтального пласта теплоносієм, за умов урахування капілярного ефекту. При цьому, на основі ідей методів квазіконформних відображень та поетапної фіксації характеристик середовища і процесу, розроблено числовий алгоритм розв'язування відповідних крайових задач на побудову гідродинамічної сітки, відшукування полів температури та насиченості, координат критичних точок, фільтраційних витрат, часу повного заводнення тощо.

1. Бомба А. Я., Сінчук А. М., Ярошак С. В. Моделювання фільтраційних процесів у нафтогазових пластах числовими методами квазіконформних відображень: [монографія]. Рівне: ТзОВ «Ассоль», 2016. 238с.
2. Кочкодан В. Б. Перспективи використання технологій інтелектуальних нафтогазових родовищ в Україні. Одеса: Причорноморські економічні студії, 2017. Вип. 16. С. 186-190.
3. Чекалюк Э. Б. Термодинамика нефтяного пласта. М.: Недра, 1965. 238 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА

На сегодняшний день одной из проблем вычислительной аэродинамики является моделирование турбулентности и учет ламинарно-турбулентного перехода, а также обратного процесса – реламинизации. Большое количество течений встречающихся на практике являются переходными. В этих течениях присутствует как ламинарная форма движения жидкости или газа, так и турбулентная. К таким относятся течения в газовых турбинах, в теплообменниках ядерных реакторов, на крыльях летательных аппаратов.

Зачастую при рассмотрении такого рода задач ламинарной зоной пренебрегают и рассматривают всю область течения как турбулентную. От того является ли течение ламинарным или турбулентным зависит распределение трения, тепловых потоков и давления по поверхности обтекаемого тела. Пренебрежение зоной ламинарно-турбулентного перехода может привести к существенным погрешностям в определении интегральных характеристик.

Полуэмпирические модели турбулентности, разработанные для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, не в состоянии смоделировать переход. Это привело к созданию нового направления в вычислительной аэродинамике, главной целью которого является моделирование ламинарно-турбулентного перехода.

Из всего многообразия моделей ламинарно-турбулентного перехода была выбрана наиболее успешная дифференциальная модель  $\gamma-Re_\theta$  Menter (2006), базирующаяся на уравнении для коэффициента перемежаемости и уравнении для критического числа Рейнольдса потери импульса. Изначально данная модель разрабатывалась для применения совместно с моделью турбулентности  $k-\omega$  SST Menter (1993). В настоящей работе модель  $\gamma-Re_\theta$  ламинарно-турбулентного перехода была адаптирована для использования совместно с дифференциальной моделью турбулентности Spalart-Allmaras (SA).

Преимущество использования модели перехода было продемонстрировано на задачах об обтекании кругового цилиндра в широком диапазоне чисел Рейнольдса и аэродинамического профиля NASA 4412. Проведено сравнение результатов расчетов обтекания цилиндра с использованием модели  $\gamma-Re_\theta$  ламинарно-турбулентного перехода и без нее. Показано, что при низких числах Рейнольдса, когда обтекание цилиндра носит ламинарный характер, а след турбулентный использование модели турбулентности SA приводит к развитию турбулентного пограничного слоя на цилиндре и как следствие к изменению положения точки отрыва. Неправильное положение точки отрыва оказывает влияние на распределение давления в донной части цилиндра и, как следствие, на интегральные аэродинамические характеристики.

При турбулентном обтекании аэродинамического профиля NASA 4412 при числе Рейнольдса  $1.64 \cdot 10^6$  и угле атаки  $12^\circ$  на подветренной части передней кромки формируется ламинарный отрыв. В точке присоединения потока происходит резкая турбулизация пограничного слоя, и дальнейшее обтекание носит присоединенный характер за исключением небольшой отрывной зоны вблизи задней кромки. К тому же обтекание наветренной стороны профиля носит полностью ламинарный характер. Применение модели турбулентности SA без учета ламинарно-турбулентного перехода не дает возможности адекватно описать эти процессы. В результате весь пограничный слой на профиле является турбулентным и без ламинарного отрыва вблизи передней кромки. Применение дифференциальной модели  $\gamma-Re_\theta$  позволяет учесть эти сложные явления и адекватно описать ламинарно-турбулентный переход на поверхности профиля.

Полученные результаты численного моделирования обтекания кругового цилиндра и аэродинамического профиля NASA 4412 в широком диапазоне чисел Рейнольдса хорошо согласуются с экспериментальными данными.

## КОМБІНАТОРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

**Вступ.** Описано метод моделювання прикладних задач з використанням теорії комбінаторної оптимізації. Показано, що запропонований підхід максимально ураховує їхню комбінаторну природу.

**Зміст роботи.** В статті наведено деякі види оптимізації та підходи до побудови математичних моделей прикладних задач. Існують неперервна, дискретна та комбінаторна оптимізації. Комбінаторна оптимізація полягає в тому, що аргумент цільової функції визначено на дискретній множині комбінаторного характеру, а цільова функція уводиться на комбінаторній множині, елементами якої є комбінаторні конфігурації різних типів (перестановки, розбиття елементів заданої множини на підмножини, різні типи вибірок тощо). Для знаходження оптимального розв'язку цій проблемі властивий перебір варіантів.

В залежності від задач виділяють динамічні, або статичні, лінійні, нелінійні моделі. В математичному моделюванні в залежності від прикладних задач виділяють інші різновиди моделювання, зокрема індуктивне та семантичне. Для моделювання задач комбінаторної оптимізації часто використовують лінійне цілочислове програмування. Але цей підхід не відображає їхню комбінаторну природу та не дозволяє адекватно будувати математичні моделі задач комбінаторної оптимізації. До того ж тут за аргумент цільової функції приймають вхідні дані (критерії). Виходячи з цієї моделі вважають, що цільова функція в комбінаторній оптимізації залежить від багатьох змінних. Тобто, ці змінні є елементами комбінаторної конфігурації, які являють собою символи і перемножуються на задані числа, що по суті неможливо.

За способом обчислення цільової функції виділимо задачі, в яких для певного варіанту розв'язку її значення обчислюється одночасно. Такі задачі назвемо статичними. Задачі, в яких в процесі їхнього розв'язання генерується поточна інформація, за якою оцінюється результат, а пошук оптимального розв'язку проводиться поетапно з обчисленням часткових сум цільової функції, назвемо динамічними.

Для моделювання прикладних задач в рамках теорії комбінаторної оптимізації необхідно [1]: а) за способом обчислення цільової функції визначити вид задачі (статична або динамічна); б) визначити базові множини, якими задається певна задача; в) за вхідними даними визначити її тип; г) визначити аргумент цільової функції (комбінаторну конфігурацію); д) змодельовати цільову функцію.

В задачах цього класу цільова функція залежить як від однієї змінної, так і від багатьох. Аргументом цільової функції в них комбінаторні конфігурації різних типів. Описаний підхід може бути використаний для зведення різних прикладних задач до задач комбінаторної оптимізації.

**Висновки.** Розроблений метод моделювання прикладних задач з використанням комбінаторної оптимізації дозволяє виявити їхні характерні властивості, сформулювати для них адекватну математичну постановку, завдяки якій нескладно розробляти нові або використовувати відомі алгоритми для їхнього ефективного розв'язання.

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

## СУРОГАТНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НЕСПІВВІСНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІЗ РІВНОМІРНОЮ ЧУТЛИВІСТЮ

Будь-які типи котушок збудження накладних вихрострумів перетворювачів (НВСП) мають суттєвий недолік - розподіл густини вихрових струмів (ГВС) на поверхні об'єкту (ОК) неоднорідний. Цей факт негативно впливає на чутливість методу. Практично даний недолік можливо усунути використанням нестандартної конструкції у вигляді сукупності збуджуючих котушок. Отримання рівномірного розподілу ГВС на поверхні ОК забезпечується використанням певної структури збудження НВСП, що приводить до майже однорідної чутливості в зоні контролю.

**Мета роботи:** оптимальний сурогатний параметричний синтез рухомих накладних кругових неспіввісних вихрострумів перетворювачів, що мають рівномірну чутливість в зоні контролю, та визначення найбільш придатного формулювання функції цілі для його ефективного забезпечення.

В роботі розглянуто приклади синтезу при наступних формулюваннях функцій цілі: у вигляді квадратичного, мінімаксного, середньоступеневої апроксимації мінімаксного критерію. Для реалізації задачі оптимального синтезу побудовано метамодель за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє зменшити обчислювальну ресурсоємність математичної моделі. Метамодель побудована за допомогою комітету нейронних мереж та композитних мереж, що дає покращення середньої величини модельної похибки багатовимірної поверхні відгуку у порівнянні до одиночних мереж. Попередньо визначалася найкраща структура системи збудження, тобто виконано лінійний синтез при різній кількості котушок із їх рівномірним та нерівномірним просторовим розташуванням. У результаті порівняльного аналізу отримано структуру збудження, що має котушки із рівномірним розташуванням, яка забезпечує найменше значення нев'язки у порівнянні з іншими структурами. Для розв'язку оптимізаційної задачі застосовані метаевристичні алгоритми пошуку глобального екстремуму, а саме, гібридний алгоритм на основі генетичного алгоритму з локальним пошуком симплексним методом Нелдера-Міда; алгоритм рою частинок PSO-RND зі стратегією випадкової топології зв'язків.

**Висновки.** В роботі чисельними експериментами отримано розв'язки задач оптимального синтезу з використанням різних цільових функцій. Порівняльний аналіз результатів синтезу у вигляді розподілу ГВС та значення приведеної похибки в зоні контролю при використанні різних критеріїв, показує майже однаковий рівень похибок, тобто не можна віддати перевагу ні одному із них.

1. Гальченко В. Я., Трембовецкая Р. В. MathCAD: математические методы и инструментальные средства оптимизации. Черкассы: ЧП Гордиенко Е.И., 2018. 516 с.
2. Gal'chenko V. Ya., Vorob'ev M. A. Structural Synthesis of Attachable Eddy-Current Probes with a Given Distribution of the Probing Field in the Test Zone. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2005. Vol. 41. №. 1. P. 29–33.
3. Gal'chenko V. Ya., Yakimov A. N., Ostapushchenko D. L. Pareto-optimal parametric synthesis of axisymmetric magnetic systems with allowance for nonlinear properties of the ferromagnet. *Technical Physics*. 2012. Vol. 57, Iss. 7. P. 893–899.

## TO QUESTIONS OF CREATION UNIVERSAL AUTOMATON THEORY AND EFFECTIVE CALCULATIONS

Problems of creation universal theory of computing automata are discussed [1 – 6]. This problem is connected with problem of creation the theory of effective calculations. Short historical analysis of these problems is represented. In particularly, Turing machines, von Neumann semi-reproducing and cellular automata are analyzed. For resolution of these problems polymetric concept was used. Realization of this concept in automata theory is theory of functional-logical automata [4 – 6]. Basic notions of this theory and its applications are analyzed.

Automata theories are one of the basic theories of modern computer science. Therefore the system analysis of this problem has large value for the determination of the new perspective directions of development the computer science and other sciences, which may be influenced on the resolution of basic problems of theory of computer science.

Automata theories are studied of abstract machines and automata [1], as well as the computational problems that can be solved using them. It is a theory in theoretical computer science and discrete mathematics (a subject of study in both mathematics and computer science). Short historical analysis of basic automata theories and computing machines is represented. Among them are Thuring machine [2], von Neumann self-reproducing automata and cellular automata [3].

Necessity of creation more general theory of automata is formulated. Basic conditions to this theory are formulated. It must be open system with variable hierarchy. Polymetric analysis is corresponded to these conditions. Parameters of openness and variable hierarchy are parameter of connectedness and types and ranks of proper generalizing transformations or type of proper hybrid systems

We show that variant of creation universal automata theory may be theory functional-logical automata [6], which is based on polymetric analysis (theory of variable measure and system theory) [4, 5]. The functional-logical (polymetric) automaton is called the information lattice, which is constructed using a hybrid system approach, which provides super-modular operations and which can perform certain operations without human intervention. Information lattice is the “computing” part of polymetric analysis, which is included functional numbers, generalizing mathematical transformations and generalizing constructive element.

We show that functional-logical automata may be represented as functional expanded von Neumann self-reproducing automata or more deep formalized cellulatr automata.

**Conclusions.** Necessary of creation the universal theory of computing automata and conditions of this theory are formulated. Basic concepts of polymetric analysis and functional-logical automata are represented.

1. Elements of Automata Theory. Ed. K. Shannon, J. MaCartey. – Princeton: University Press, 1956. – 404 p.
2. Von Neumann J. The theory of self-reproducing automata. – Champaign: Illinois University Press, 1966. –388 p.
3. Turing A. M. Computing Machinery and Intelligence. // Mind, vol. 49. 1950. – P. 433-460.
4. Trokhimchuck P. P. Mathematical foundations of knowledge. Polymetrical doctrine. – Lutsk: Vezha-Print, 2014. – 624 p. (In Ukrainian)
5. Trokhimchuck P. P. Polymetrical Analysis. History, Concepts, Applications. – Saarbrukken: Lambert Academic Publishing, 2018. – 280 p.
6. Trokhimchuck P. P. The theory of functional logical automata as new step in the development of optical calculations// Proc. SPIE, v.3238, 1997. – P. 20-28.

## МЕТОД ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ У ЗАДАЧАХ ІЗ КОМБІНОВАНИМИ ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ

Метод точкових джерел (або метод фундаментальних розв'язків у англомовній літературі), який ввели у 1963 році грузинські математики М.О. Алексидзе та В.Д. Купрадзе, типовим застосуванням має розв'язання граничних задач різних типів, для диференціальних рівнянь яких відомі фундаментальні розв'язки. За час існування методу теоретично доведена його збіжність за певних умов в областях довільної геометричної форми [1]. Проте огляд літературних джерел свідчить, що практичне застосування методу здійснювалося дослідниками методу виключно у задачах з областями простої геометричної форми. Здебільшого це пояснюється необхідністю мати аналітичний розв'язок задачі для проведення оцінок точності різноманітних модифікацій методу точкових джерел [1–2].

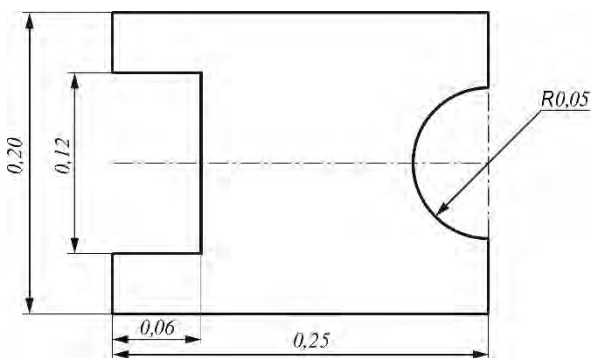


Рис. 1. Геометрична модель розрахункової області

У даній роботі проведено порівняння обчислювальних можливостей методу точкових джерел і методу скінченних елементів на двох тестових задачах. Областю моделювання стаціонарного температурного поля в першій задачі є традиційний прямокутник. У другій задачі [3] прямокутник на двох протилежних сторонах має вирізи різної геометричної форми (рис. 1).

Граничні умови в обох задачах збережені однаковими:

$$D_{yy} \frac{dT}{dy} \Big|_{y=b} + h \left( T \Big|_{y=b} - T_{\infty} \right) = 0 \text{ – на верхній границі області};$$

$$T(x; y) \Big|_{y=0} = T_0 \text{ – на нижній границі};$$

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \text{ – адіабатичні умови на всіх інших границях області.}$$

Обчислювальні експерименти проводилися з такими значеннями параметрів:

$$D_{xx} = D_{yy} = 45 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C} \text{ – коефіцієнти теплопровідності матеріалу плити};$$

$$h = 25 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C} \text{ – коефіцієнт конвективної тепловіддачі};$$

$$T_{\infty} = 600^\circ C \text{ – температура середовища, яке гріє, над верхньою поверхнею плити};$$

$$T_0 = 50^\circ C \text{ – температура нижньої поверхні плити};$$

$$a=0,25 \text{ м і } b=0,20 \text{ м – ширина і висота плити.}$$

При розв'язанні основної системи лінійних алгебраїчних рівнянь у методі точкових джерел застосовуються регуляризація за А.М. Тихоновим та аналіз диференціальних властивостей  $L$ -кривої для знаходження значення параметра регуляризації [4].

Показано, що метод точкових джерел значно поступається в точності методу скінченних елементів в областях складної геометричної форми.

1. Aleksidze, M. A. (1991) *Fundamentalnyie funktsii v priblizhennyih resheniyah granichnyih zadach*. Moskva. Nauka.
2. Karageorghis, Marin L, & Lesnic A. D. et al. (2017) The method of fundamental solutions for problems in static thermo-elasticity with incomplete boundary data. *Inverse Problems in Science and Engineering*. **25** (5), 652–673.
3. Denisov, M. A. (2011) *Matematicheskoe modelirovanie teplofizicheskikh protsessov. ANSYS i CAE-proektirovanie*. Ekaterinburg: UrFU.
4. Vogel, C. R. (1997) Non-convergence of the  $L$ -curve regularization parameter selection method. *Inverse Problems*. 12, 4, 16 p.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Рассмотрены возможности технологического обеспечения качества финишной обработки рабочих поверхностей цилиндров с использованием покрытий из износостойких материалов. Финишные методы обработки изделий с износостойкими покрытиями приводят к образованию дефектов на обрабатываемых поверхностях, снижающих эксплуатационные характеристики этих изделий. Анализ причин образования сколов и трещин на обрабатываемых поверхностях указанных изделий показал, что появление этих дефектов связано с тепловыми процессами, сопровождающими механическую обработку. При этом необходимо учитывать влияние структурной неоднородности обрабатываемого слоя изделия на механизм зарождения и развития дефектов типа трещин под действием термомеханических процессов, сопровождающих алмазно-абразивную обработку. Разработана аналитическая модель по определению термомеханического состояния рабочей поверхности цилиндра с износостойким покрытием, имеющим участки частичного отслоения в процессе нанесения. Проведены трибокоррозионные исследования композиционных материалов на основе Ni/Ni-TiO<sub>2</sub> полученных методом электрохимического осаждения. Подобраны рациональные режимы обработки цилиндрической группы, характеристики инструмента с учётом наследственных дефектов при нанесении покрытия, обеспечивающие необходимое качество.

Повышение долговечности машин непосредственно связано с износостойкостью деталей машин. Таким образом, повышение износостойкости деталей машин является актуальным направлением исследований. Долговечность многих машин определяется износостойкостью деталей, имеющих внутренние цилиндрические поверхности, работающие в условиях трения скольжения.

Найдены при каких технологических параметрах, связанных с шероховатостью рабочей поверхности цилиндра и его геометрической погрешностью, а также физико-механических свойств покрытия и материала цилиндра, происходит разрушение собственно покрытия.

Для обеспечения требуемой надёжности и долговечности цилиндрической группы с покрытием необходимо при нанесении покрытий на их рабочих поверхностях обеспечить шероховатость  $0,8 \leq Ra \leq 1,2$ . Такую шероховатость можно достичь за счёт операций финишного шлифования и последующего отделочного полирования.

Адекватность построенной модели проверялась экспериментально на образцах из дуплексной стали (duplex 2463), на поверхность которых осаждалось методом электрохимического осаждения износостойкое покрытие на основе Ni-TiO<sub>2</sub> толщиной равное 0,4 – 0,6 мм.

После проведения трибокоррозионных исследований материалов Ni/Ni-TiO<sub>2</sub> определено, что для покрытия Ni заметно увеличение глубины и ширины трещин в зависимости от увеличения нагрузки при неизменном времени воздействия. При этом профиль трещин для покрытия Ni-TiO<sub>2</sub> с увеличением нагрузки не меняется.

По результатам анализов микрошлифов рабочих поверхностей исследуемых образцов, до операции шлифования, находилась функция распределения размеров дефектов, определяющая для каждого значения относительную частоту  $n/m$  появления этого размера в зоне контакта круга с деталью.

Для проверки критерия отсутствия шлифовочных трещин на обрабатываемой поверхности определялась контактная температура в зоне шлифования.

Результаты изучения микротвердости обработанной поверхности и микроструктуры поверхностного слоя свидетельствуют о том, что в диапазоне исследованных режимов структурные изменения после шлифования износостойкого покрытия Ni-TiO<sub>2</sub> отсутствуют.

Разработана аналитическая модель по определению термомеханического состояния рабочей поверхности цилиндра с износостойким покрытием, позволяющая осуществить рациональный выбор технологических параметров обработки этих изделий по приведённым критериям для обеспечения бездефектной обработки. Адекватность полученной модели проверялась экспериментальными исследованиями композиционных материалов на основе Ni/Ni-TiO<sub>2</sub> полученные методом электрохимического осаждения.

### Список использованной литературы

1. Kunitsyn M. V., Usov A. V. Tribocorrosion research of NI-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> composite materials obtained by the method of electrochemical deposition. Сучасні технології в машинобудуванні. Харків, 2017. вип. 12. С. 61-70.



## МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ОБ'ЄКТАХ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ

Процеси в розподілених ланках об'єктів характеризуються, насамперед, числом змінних стану, що визначає порядок диференціального рівняння відносно змінної часу.

Розподілений об'єкт характеризується вимірністю, тобто числом геометричних координат, необхідних для повного опису процесу. При цьому потрібно мати на увазі, що хоча реальні фізичні об'єкти тривимірні, їх математичні моделі можуть мати меншу вимірність [1].

Серед явищ, що супроводжують функціонування об'єкта з розподіленими параметрами, що зазнають теплового впливу, важливе місце займають термомеханічні процеси. Вони протікають у всіх без виключення елементах технологічної системи (металорізальному обладнанні; інструменті; парах, що труться; деталі, яка обробляється, і т.д.). Найбільше термомеханічні процеси впливають на рівень нагрівання елементів об'єкта та їх напружено-деформований стан [1].

Аналіз існуючих математичних моделей, які описують термомеханічні процеси в об'єктах, свідчить про відсутність відомостей про їх адекватність та ідентифікацію. У зв'язку з розвитком технологій та систем, які визначають сучасні підходи до моделювання, аналізу та синтезу теплофізичних процесів в об'єктах з розподіленими параметрами, з'явилась можливість впровадження комп'ютерної підтримки питань, що розглядаються.

Якість робочих поверхонь об'єктів, що зазнають теплового впливу, формується під дією термомеханічних явищ. Так, через високу теплонапруженість [1] деяких видів обробки або експлуатації, на оброблюваних поверхнях об'єктів формуються дефекти типу тріщин, структурних та фазових перетворень, що змінюють вихідну твердість. Будучи концентраторами напруженостей, вказані дефекти в процесі експлуатації призводять до передчасних відмов механізмів. В деяких випадках їх наявність на робочих поверхнях важко навантажених виробів є критерієм браку.

Тому розробка математичних моделей термомеханічних процесів в об'єктах, що зазнають теплового впливу, їх ідентифікація у просторі станів та на їх основі розробка оптимальних критеріїв є актуальними.

Відомо, що при високотемпературному нагріванні теплофізичні параметри матеріалів, що нагріваються, (границя міцності —  $\sigma_b$ , коефіцієнт теплопровідності —  $\lambda$  та ін.) зазнають значних змін. Однак, з огляду на складність відповідних викладок, при дослідженні задач оптимального нагріву з фазовими обмеженнями, ці фактори, як правило, не беруться до уваги, або беруться до уваги частково, не повною мірою.

Пропонується математична модель, алгоритм вибору управляючих параметрів системи стабілізації теплофізичних процесів, які формуються в об'єктах при тепловому впливі. Вихідна математична модель з нелінійними параметрами, яка описує термомеханічні процеси в об'єктах, що зазнають теплового впливу, методом послідовних наближень зведена до ітераційного процесу, де на кожному кроці розв'язується задача, яка описується лінійним рівнянням параболічного типу з нелінійними фазовими обмеженнями.

**Висновки.** Наявність ідентифікаційної математичної моделі, що описує термомеханічні процеси при тепловому впливі на моделюючий об'єкт, дозволяє проектувати системи управління для отримання оптимальних характеристик оброблюваних поверхонь деталей машин.

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. Москва: Машиностроение, 1976. 278 с.

**PERFECTION OF MODELS  
FOR COMPUTERIZED INFORMATION SUPPORT  
OF INDEPENDENT STUDY  
IN 3D PRINTING SYSTEMS, AND TECHNOLOGIES**

At the moment, the subject area of computer systems, and technologies in 3D printing (hereinafter referred to as the subject area) is very relevant, is widely introduced into practice, is developing rapidly and has great prospects for further improvement.

For the subject area and its practical applications, fundamental research has been carried out, and numerous important results have been obtained, but a number of aspects are still not considered [1–4].

The purpose of this study is to analyze the preconditions of occurrence, and solution possibilities for the problem of improving information support regarding the processes of studying the subject area in the mode of self-preparation based on computerized systems.

In this regard, the advantages, problems, and defining features for the semantics in the subject area were investigated, with a focus on those technologies and applications that are catalysts for the development in the field of 3D printing.

As a result of the research for the subject area of specific semantic properties, the feasibility of modeling the knowledge base, reflecting such closely interrelated aspects as active developers, target categories of users, spheres of application, and recommendation rules on the optimal choice of 3D printing systems, and technologies, was justified.

Approaches to creating knowledge base models of expert subsystems within the framework of computerized information support systems for self-study in the subject area were also identified.

In particular, predicate constructions formats were created for describing the fact base, which represents the key factual information of the knowledge base for the subject area as a whole, and in relation to the economic development in its fields of application, projections of equipment costs depending on expenditure patterns, and applied areas.

The research results are applied in the educational process of the Department of Information Technology in the Kherson National Technical University.

**Findings.** The semantic features for the subject area of computer systems, and technologies in 3D printing that are relevant to the improvement of computerized information support for its independent development are investigated.

As a result, new scientific results have been obtained – defining approaches have been formed for building a number of knowledge base models for expert subsystems as components of computerized information support systems in self-study of the specified subject area.

The research results are applied to improve the efficiency of the educational process.

1. Luneva D. A., Kozhevnikova E. O., Kaloshina S. V. Application and prospects of 3D printing in construction activities. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, № 1. P. 90-101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.0 [in Russian].

2. Moorefield-Lang H. M. Makers in the library: case studies of 3D printers and maker spaces in library settings. *Library Hi Tech*. 2014. Vol. 32, Is. 4. P. 583-593. DOI: 10.1108/LHT-06-2014-0056.

3. Pryor S. Implementing a 3D Printing Service in an Academic Library. *Journal of Library Administration*. 2014. Vol. 54, Is. 1. P. 1-10. DOI: 10.1080/01930826.2014.893110.

4. Solomon J. Numerical algorithms: methods for computer vision, machine learning, and graphics: textbook. USA: CRC Press (AK Peters, Ltd.), 2015. 400 p.

## ЗАСТОСУВАННЯ ЙМОВІРНІСНИХ МОДЕЛЕЙ В АНАЛІТИЧНІЙ ГЕОМЕТРІЇ

Видатний спеціаліст з теорії ймовірностей академік А. В. Скороход писав: «Спеціалісти з теорії ймовірностей (або «ймовірнісники») широко використовують у своїй роботі різноманітні математичні методи. Проте спеціалісти з інших математичних наук за незначними винятками не знайомі з азами теорії ймовірностей. Теорія ймовірностей неначе відокремлена від іншої математики напівнепроникною плівкою – результати інших дисциплін легко проникають через цю плівку, а зворотного руху поки що не видно. Беручи до уваги, що живе існування науки – в людській свідомості, легко прийти до висновку, що ця плівка знаходиться також у свідомості, причому у свідомості «неймовірнісників».

Щодо відсутності «зворотного руху» треба погодитися з А. В. Скороходом. Ситуація майже не змінилася. Прикладів проникнення теорії ймовірностей в інші розділи математики небагато. Яскравим прикладом лишається метод Монте-Карло [1-2], який суттєво збагатив сучасну обчислювальну математику і проілюстрував тісний зв'язок між статистичною (Мізес) та геометричною (Бюффон) ймовірностями. З 1982 р. триває досить успішне використання конструктивних можливостей геометричної ймовірності [3] в задачах лагранжевої та ермітової інтерполяції функцій, зокрема, фінітних функцій метода скінченних елементів. Ця тема є дуже цікавою з багатьох точок зору. Це невичерпне джерело першокласного «освітнього матеріалу». Вона представляє собою унікальну комбінацію простоти і нетривіальності, яка задовольняє як смаки досвідчених професіоналів, так і ще недосвідчених аматорів.

Стаття А. В. Скорохода вже більше 20-ти років надихає зацікавлених читачів на пошуки прикладів проникнення теорії ймовірностей у класичні розділи вищої та прикладної математики. Саме такому пошуку і присвячена дана робота.

Природним узагальненням і розширенням поняття класичної ймовірності на нескінченну множину точок є геометрична ймовірність, що обчислюється як відношення мір (довжин, площ, об'ємів) в одно-, дво- і тривимірних випадках. Ймовірність влучити в будь-яку частину області пропорційна мірі цієї частини (довжині, площі, об'єму) і не залежить від її розташування і форми.

Наведено приклади використання геометричної ймовірності у якості засобу побудови рівнянь прямої на площині і у просторі, а також рівнянь площин. На основі ймовірнісної інтерпретації сконструйовано наступні моделі: рівняння прямої, що проходить через дві точки на площині і у просторі, рівняння прямої у відрізках, нормальне рівняння прямої, рівняння площини у відрізках, нормальне рівняння площини. Варто зауважити, що ймовірнісна інтерпретація здатна створити особливі умови для виникнення інших розділів математики. Дидактичними перевагами методу ймовірнісних інтерпретацій є наочність, зрозумілість, стислість та зручність.

1. Скороход А. В. Особливий характер теорії ймовірностей в математичних науках. *У світі математики*. К.: ТВ і МС, 1997. Том 3, Вип. 2. С. 2–4.

2. Соболев І. М. Метод Монте-Карло: учебн. пособ. М.: Наука, 1985. 80 с.

3. Астіоненко І.О., Гучек П.Й., Литвиненко О.І., Тулученко Г.Я. Використання барицентричних координат при моделюванні серендипової поверхні. *Сучасні проблеми моделювання*. Зб. наукових праць. Мелітополь: МДПУ, 2015. Вип. 4. С. 3-8.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЦЕНОК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Производительность вычислительных систем (ВС) имеет большую теоретическую и практическую ценность. Ее изучает ряд дисциплин, включая информационную безопасность, надежные и отказоустойчивые системы, разработку и тестирование программных систем, высоконагруженные и распределенные системы и многие другие области знаний.

Поэтому, актуальными направлениями в этой области являются усовершенствование показателей производительности ВС, разработка новых методов и математических моделей оценок состояний объектов исследования, изучение качественных и количественных характеристик распределенных вычислительных и информационных ресурсов, определение эффективности параметров функционирования ВС и многие другие вопросы.

Существует ряд моделей в области использования детерминированных и вероятностных методов позволяющих получить оценку производительности ВС. Однако, все они имеют как ряд преимуществ, так и недостатков. К первому, наиболее простому и часто используемому относится направление, основанное на детерминированных методах (идеальных моделях) определения основных характеристик производительности ВС. Примером их может служить идеальная модель определения оценки производительности пропускной способности канала передачи данных.

Целью статьи является рассмотрение, определение и анализ некоторых распространенных направлений производительности ВС, способы усовершенствования существующих моделей путем введения дополнительных оценок показателей и основных критериев для отнесения объекта исследования к одному из возможных состояний нагрузочного воздействия.

В работе рассмотрены преимущества и недостатки некоторых распространенных направлений производительности ВС в которых используются такие модели как идеальные, детерминированные и стохастические.

Предложено направление, основанное на детерминированных моделях, имеющие идеальные условия функционирования объекта исследования, где нагруженность самой среды окружения оказывает влияние на количественные и качественные оценки производительности ВС.

Определены способы усовершенствования существующих моделей путем введения таких оценок показателей как максимальная пропускная способность и минимальное время ответа (формирование и обработка запроса), показаны их взаимосвязи. Это позволило выполнить дальнейшее изучение взаимосвязей дополнительных показателей производительности ВС: утилизации (Utilization), доступности (Availability), занятости (Busyness) и инертности (Inertness) исследуемой системы и определение временных и скоростных характеристик показателей производительности ВС.

Предложены основные критерии отнесения объекта исследования к одному из возможных состояний нагрузочного воздействия. Это позволило определять условия необходимости и достаточности нахождения объекта исследования в конкретном состоянии в отдельный дискретный момент времени.

На примере исследования производительности канального уровня стека протоколов TCP/IP определены критерии состояний объекта исследования и их граничные статистические значения. Предложены инструментальные программные средства для проведения исследования. Приведены некоторые важные показатели и их геометрические представления на примере пакета Geogebra.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІРТУАЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО КЛАСУ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Робота присвячена розробці методики навчання учнів як у класних приміщеннях, так і поза її межами і навіть за кордоном. Метою роботи являється розробка методики використання технології віртуального класу вчителем в організації індивідуального навчання учнів. Пропонується адаптивний підхід до форми занять, що синтезує сучасні ІКТ, переваги поурочного навчання, відрізняється високою мотивацією пізнавальної діяльності учнів та надає своєчасну і дієву допомогу кожному, хто її потребує. Значну перевагу у навчанні дає використання технологій віртуального класу, що передбачає інтерактивну взаємодію вчителів та учнів у реальному часі засобами Інтернет-технологій[1]. З метою удосконалення індивідуальної форми навчання адаптовано сервіс WiZiQ і застосовано технології віртуального класу до організації навчально-виховного процесу[2]. Розроблено критерії визначення рівня активізації пізнавальної діяльності учнів та підвищення рівня ІКТ-компетентності вчителів. Технології віртуального класу в системі вправ, творчих завдань активізують пізнавальну діяльність учня, що підтверджено педагогічним експериментом. Рівень активізації діяльності учнів підвищується під час чітко продуманої вчителем системи вправ і завдань «від простого до складного», завдяки використанню відео- і аудіо-навчальних фрагментів, ігрових моментів, можливості ставити запитання і коментувати дії інших учнів. Технології віртуального класу дозволяють підтримувати дух змагань завдяки одночасному розв'язанню логічних вправ, прикладів, кросвордів, створенню графічних об'єктів. Встановлено, що навчання може здійснюватися незалежно від місця знаходження учня, достатньо мати ноутбук і доступ до мережі Інтернет. Показано, що в результаті використання технологій віртуального класу вчителі-предметники самостійно планують урок, розсилають запрошення, розробляють презентації та завантажують їх для демонстрації, користуються графічним планшетом, відбирають відео- та аудіофайли. Подальші дослідження можна здійснити за такими напрямками: технології віртуального класу в роботі з обдарованими учнями, система використання технологій віртуального класу для роботи в навчальних проектах, технології віртуального класу для активізації пізнавальної діяльності учнів під час вивчення іноземних мов.

### Висновки:

Інтегральний ефект від використання технологій віртуального класу ґрунтується на положеннях: учень, який не може відвідувати школу, інтегрується в клас і стає активним його учасником, під час карантинів забезпечує неперервний навчально-виховний процес; діти, які перебувають на довготривалому лікуванні, можуть активно працювати зі своїм класом, не виходячи з дому або лікарні; реальна легалізація навчання маленьких українців, які знаходяться з батьками за кордоном.

### Література

1. Биков В. Ю. Класифікація засобів навчання / В. Ю. Биков, Ю. О. Жук // Інформаційні технології і засоби навчання : зб. наук. праць. – К., 2005. – С. 48–53.
2. Byrne Denise A study of individual learning styles and educational multimedia preferences / Denise Byrne [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.compapp.dcu.ie/~mfarren/denice.pdf](http://www.compapp.dcu.ie/~mfarren/denice.pdf). - Назва з екрана.
3. Васильченко Л. В. Дистанційне навчання: науково-методичне забезпечення; інформаційний простір навчального закладу / Л. В. Васильченко, В. Л. Шевченко. – Х. Вид. група «Основа», 2009. – 208 с. – (Б-ка журналу «Управління школою»; Вип. 1 (73)).

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛАСТИНКИ

Автоматизоване проектування об'єктів сучасної техніки пов'язане з необхідністю швидкого прогнозування їх стану або поведінки у залежності від геометричних і/або фізико-механічних параметрів. Класичні методи математичного моделювання дозволяють роботи такі прогнози з необхідною точністю. Проте підготовка адекватних математичних моделей та проведення відповідних обчислювальних експериментів можуть бути тривалими за часом. Можливою альтернативою є розробка методів і моделей машинного навчання, які дозволять робити швидкі оцінки необхідних параметрів стану об'єкту. З практичної точки зору моделі машинного навчання для прогнозування значень параметрів стану конструкції можуть слугувати як інтерактивні асистенти у процесі проектування.

Задачу прогнозування параметрів стану об'єкта за його геометричними та фізико-механічними параметрами можна віднести до класу задач регресії. Для прогнозування прогину пластинки мережа штучних нейронів повинна складатися з декількох шарів. Перший шар (зовнішній) повинен мати кількість нейронів, яка дорівнює кількості вхідних параметрів. Останній шар (також зовнішній) повинен мати кількість нейронів, яка дорівнює кількості вихідних значень. Внутрішні шари моделі можуть мати довільну кількість нейронів (визначення оптимальної кількості внутрішніх шарів і нейронів кожного шару є самостійною задачею). У випадку прогнозування максимального прогину пластинки отримаємо модель, яка має зовнішній шар з 5 нейронами для обробки вхідних параметрів і 1 нейроном для обчислення прогину. Однією з переваг штучних нейронних мереж є можливість прогнозування одразу декількох значень (векторів значень). Для прогнозування прогину та, наприклад, інтенсивності напружень у пластинці мережа штучних нейронів повинна у вихідному шарі мати два нейрони.

**Висновки.** розроблено штучну нейронну мережу для прогнозування напружено-деформованого стану квадратної пластинки із ізотропного матеріалу, яка знаходиться під дією рівномірно розподіленого по поверхні поперечного тиску.

1. Розроблено алгоритм формування вибірки для навчання та тестування моделей. Розроблений алгоритм базується на використанні аналітичної формули та методу скінченних елементів для обчислення компонент напружено-деформованого стану.

2. Досліджено можливості бібліотеки `sklearn` для регресійного аналізу і прогнозування максимального прогину пластинки. Найкращим виявлено алгоритм `Extra-trees`, який дозволяє прогнозувати значення прогину з похибкою приблизно 15% відносно аналітичного рішення.

3. Розроблено нейронну мережу для прогнозування максимального прогину пластинки. Як найбільш ефективні у задачі прогнозування виявлені гіперболічний тангенс як функція активації та алгоритм оптимізації мережі `Adam`. Розроблена мережа дозволяє прогнозувати прогин з похибкою 15% відносно аналітичного розв'язку. Проте мережева модель значно гнучкіша з точки зору можливості обробки більш складних даних.

4. Розроблено нейронну мережу для прогнозування максимальних значень прогину та інтенсивності напружень за Мізесом у пластинці. Штучна нейронна мережа дозволила прогнозувати обидві характеристики стану пластинки з точністю у межах 15%.

Основною перевагою штучної нейронної мережі є швидкість прогнозування: обчислення необхідних характеристик у порівнянні з методом скінченних елементів відбувається майже миттєво (мілісекунди). Отже, «натреновані» штучні нейронні мережі можуть слугувати як інтерактивні доможники 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.

Г.Г. ШВАЧИЧ<sup>1</sup>, Б.І. МОРОЗ<sup>2</sup>, І.М. УДОВИК<sup>2</sup>, С.Д. ПРИХОДЧЕНКО<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Національна металургійна академія України,  
<sup>2</sup>Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

## ПРО ПРОБЛЕМУ УПОВІЛЬНЕННЯ ОЧИСЛЕНЬ В БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Доповідь присвячено дослідженню ефективності багато процесорної обчислювальної системи при розв'язуванні задач, спрямованих на розширення області обчислень. Виявлено основні закономірності щодо часу розв'язування задачі в залежності від зміни області обчислень багато процесорної системи. Проведені дослідження спрямовано на визначення коефіцієнта уповільнення обчислень, пов'язаного зі збільшенням області обчислень багато процесорної системи в порівнянні з варіантом комп'ютера з необмеженою областю обчислень.

Відзначимо, що дослідження зазначених проблем є важливими та актуальними. Це пояснюється не лише принциповим обмеженням максимально можливої швидкодії звичайних послідовних ЕОМ, але також практично постійним існуванням обчислювальних задач, для вирішення яких недостатньо можливостей існуючих засобів обчислювальної техніки.

**Мета дослідження** полягала в подальшому розвитку підходу, пов'язаного з визначенням методики оцінювання ефективності багато процесорної модульної обчислювальної системи і впливу на цей показник уповільнення обчислень. При цьому основна увага приділялася особливостям впливу на даний показник мережевого інтерфейсу багато процесорної системи.

При цьому було розв'язано такі задачі:

1. Виконано дослідження, спрямовані на визначення коефіцієнта уповільнення обчислень, пов'язаного зі збільшенням області обчислення у багато процесорних системах, розподіленої по її вузлах у порівнянні з комп'ютером з необмеженою областю обчислень. Вивести аналітичні співвідношення для коефіцієнта уповільнення обчислень.

2. Виконано етап моделювання коефіцієнта уповільнення обчислень та встановлено закономірності його змін в залежності від тих обчислювальних платформ, що застосовуються.

3. Розв'язано задачу визначення оптимального числа вузлів багато процесорної системи при яких уповільнення системи було б мінімальним.

**Невирішені частини проблеми.** Діючі методи аналізу ефективності багато процесорних систем не дозволяють визначити оптимальне число її вузлів для розв'язування певного класу задач з урахуванням показників уповільнення обчислень. У той же час, для розв'язування заданого класу задач не набули належного розвитку дослідження, присвячені аналізу впливу мережевого інтерфейсу на ефективність модульних багато процесорних обчислювальних систем. Крім того, для оцінювання ефективності обчислювальної багато процесорної системи зазвичай не подаються основні аналітичні співвідношення через параметри досліджуваної системи.

**Висновки.** Виконано етап моделювання коефіцієнта уповільнення обчислень і встановлено закономірності його зміни в залежності від застосування різних обчислювальних платформ. Виявлені тенденції зміни такого коефіцієнта вказують на необхідність узгодження компонентів мережевого інтерфейсу й обчислювальних можливостей обраної обчислювальної платформи. Виведено аналітичні співвідношення, які спрямовано на визначення оптимального числа вузлів багато процесорної системи, згідно з якими досягається мінімальне уповільнення розрахунків.

Г.Г. ШВАЧИЧ<sup>1</sup>, И.А. ПОБОЧИЙ<sup>1</sup>, Е.В. ИВАЩЕНКО<sup>1</sup>, Л.Ф. СУШКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная металлургическая академия Украины,

<sup>2</sup>Днепровский государственный аграрно-экономический университет

## О КОНЦЕПЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ВРЕМЕНЕМ

Параллельные вычислительные технологии развиваются очень быстро, а с появлением вычислительных кластеров параллельные вычисления стали доступны многим [1]. Создание параллельных вычислительных систем потребовало разработки математических концепций построения параллельных алгоритмов, т.е. алгоритмов, приспособленных к реализации на подобных вычислительных системах [2]. В данной работе на примере решения нестационарного уравнения конвективно-диффузионного переноса, показана эффективность распараллеливания систем линейных алгебраических уравнений на основе метода прямых и интегрального преобразования Лапласа по временной переменной.

Разработка вычислительных схем проводилась с учетом следующих обстоятельств. Температурные поля в условиях конвективного теплообмена связаны с полями скоростей. В общем случае между полем скоростей и температурным полем существует связь, т.е. распределение температуры зависит от распределения скоростей и, наоборот, распределение скоростей зависит от распределения температуры. В частном случае, когда массовыми силами в уравнениях движения можно пренебречь, а вязкость считать не зависящей от температуры, то двусторонняя связь превращается в одностороннюю. Распределение скоростей становится независимым от распределения температуры. В этом случае можно говорить о задачах тепло - и массообмена, решаемых на заданном фоне динамических полей скорости. Известной проблемой, возникающей при построении разностных схем для данного класса задач, является аппроксимация нелинейных конвективных составляющих, входящих в эти уравнения. Теоретические исследования этих процессов в настоящее время в значительной мере базируются на их численном моделировании с использованием современных компьютерных технологий. В частности, применение многопроцессорных вычислительных систем обусловило развитие и методов распараллеливания вычислений, векторизации и синхронизации вычислительных процессов. В докладе показано, что численно-аналитическая концепция дискретизации в поле изображений приводит к последовательности функций, имеющих особыми точками простые полюса, и удовлетворяющих условиям для изображений. Тогда, используя теоремы о вычеты, находим оригиналы изображений стандартными методами. Доказано, что построение численно-аналитических схем с непрерывным временем, во-первых, имеет максимальную параллельную форму, соответствующую концепции неорганического параллелизма, и, во-вторых, является перспективным при решении больших задач металлургической теплофизики в сочетании с методами расщепления на аналитических решениях с адаптацией по времени.

**Выводы.** Для исследования задач тепло - и массообмена выведен соответствующий класс математических моделей. Процедура обработки математических моделей сведена к использованию численно-аналитического подхода, что позволило разработать эффективные алгоритмы решений коэффициентных задач произвольного порядка точности. В докладе приводятся результаты решения тестовых задач на основе предложенного подхода.

1. Башков Є.О., Иващенко В.П., Швачич Г.Г. Високопродуктивна багатопроцесорна система на базі персонального обчислювального кластера. *Проблеми моделювання та автоматизації проектування*. Донецьк, 2011. № 9 (179). С. 312 – 324.
2. Швачич Г.Г., Шмукин А.А. Особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов для ПЭВМ в задачах тепло- и массообмена. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Дніпродзержинськ, 2014. № 3. С. 42 – 47.



## РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ТРИВИМІРНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЯХ

Аддитивні технології (3D-друк) — одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва. 3D-принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання.

3D друк часто називають «магічною» технологією, у реальності процес 3D-друку вимагає також багато ручної праці, що включає попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих деталей для досягнення їх бажаної якості. Цифрові тривимірні моделі є в цій технології ключовими компонентами. Алгоритми для обробки 3D-геометрії мають жорсткі вимоги до якості та цілісності їх вхідних даних [1-3]. На практиці ці вимоги часто не задовольняються моделями, що походять з різних джерел, тому адаптація недосконалих 3D-моделей до таких вимог має велике значення. [4]

Кожне конкретне ПЗ (CAD-система) має свої власні вимоги, які обмежують клас підтримуваних тривимірних моделей. Наприклад, в промисловому дизайні деякі процеси припускають, що сітка не містить вироджених або майже вироджених елементів. У комп'ютерній графіці численні інструменти аналізу форми очікують, що вхідна сітка буде містити в собі певне тверде тіло. Такі інструменти зазвичай виходять з ладу, якщо сітка має дірки, або дають непередбачувані результати, якщо вхідна модель має самоперетин. У більшості випадків сканування реального 3D-об'єкта зводиться до захоплення декількох видів об'єкта, які в кінцевому підсумку вирівнюються і об'єднуються в одну модель. На цьому етапі полігональні сітки можуть містити вироджені елементи, що перекриваються або містять частини що самоперетинаються, поверхневі отвори і ряд інших дефектів, які роблять їх непридатними для широкого спектру застосувань.

Реалізований в OpenMesh алгоритм призводить до руйнації моделі, якщо є спроба створити сингулярні елементи. Недоліком цього алгоритму є також те, що він здатний заміщати один дефект іншим. Замість створення сингулярного ребра, результуюча модель буде містити діру та острівний полігон. Такі полігони можуть бути оцінені як мусор та бути видалені разом з ізольованими вершинами та висячими ребрами. У кінцевому результаті це призводить до того, що подальша обробка такої моделі може призвести до неочікуваних результатів. Розроблений нами алгоритм дозволяє зберегти зв'язок між сингулярними елементами для їх виявлення та збереження загальної структури моделі. Алгоритм реалізований у субмодулі Bridge підмодуля OpenMeshCore, який розширює базові можливості ядра зі створення елементів мешу. OpenMeshIntegration (OMI) – це розроблена графічна частина проекту, що містить у собі графічний інтерфейс користувача та усі необхідні засоби для візуалізації мешу.

**Висновки.** Перевагою запропонованого алгоритму є простота та розширення можливостей для відновлення меша на основі існуючих методів, недоліком такого підходу є додаткові витрати пам'яті на контейнер претендентів.

1. Marco Attene, Marcel Campen, Leif Kobbelt. Polygon Mesh Repairing: An Application Perspective [J]. ACM Computing Surveys (scheduled to appear), 2013, 45(2):1-38.
2. Jixin Tan, Jianxun Chen Research and Application on Model Repairing Algorithm of 3D Modelling Technology [J]. College of Computer Science and Technology, Wuhan, 2016, 1-6.
3. Polygon Mesh Processing / [B. Mario, K. Leif, P. Mark at el.]. – Natick, Massachusetts: A K Peters, Ltd., 2010. – 243 с.
4. Tao Ju. Fixing Geometric Errors on Polygonal Models: A Survey [J]. Journal of Computer Science and Technology: English, 2009, 24(1):19-29.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ЕЛЕКТРОПРУЖНОСТІ

У сучасному світі у якості функціональних частин різних електронних пристроїв часто використовуються активні матеріали, насамперед п'єзоелектричні та п'єзоелектромагнітні. Такі матеріали здатні змінювати свою форму під дією електричного або магнітного поля і, не зважаючи на достатньо малі розміри, можуть піддаватися впливу величезних механічних, електричних і магнітних полів. Під час деформації деяких матеріалів на їх поверхні з'являються електричні заряди, пропорційні деформації. Має місце також зворотній ефект, яким не можна нехтувати – той випадок, коли на поверхні матеріалу виникають механічні напруження під дією електричного поля [1].

Не менш важливим, з іншого боку, залишається питання про розв'язання задач про передачу навантаження за наявності тертя і зчеплення [2,3], а також задач із урахуванням анізотропії пружної середи.

В роботі запропоновано узагальнення методу зведення крайових задач лінійної та нелінійної теорії пружності до послідовного розв'язання задач теорії потенціалу. Згаданий метод застосований авторами для випадку сучасних п'єзоелектричних матеріалів.

Математична модель п'єзоелектричного матеріалу описана за допомогою рівнянь рівноваги, електропружного стану та співвідношень Коші.

Особлива увага приділена анізотропним матеріалам. В якості малого параметра в асимптотичному аналізі розглядається співвідношення характеристик жорсткості матеріалу. Щоб зрозуміти можливі співвідношення між компонентами вектора переміщень і швидкостями їх зміни за координатами, вводяться афінні перетворення змінних (залежні від малого параметру). Розв'язки відповідних систем рівнянь, отримані для асимптотичного інтегрування, мають різні властивості. Це проявляється в різниці порядків компонентів, а також в різній швидкості зміни розв'язків.

Розв'язки крайових задач відшукуються у вигляді суперпозиції компонентів, які відповідають цим типам напружено-деформованого стану.

**Висновки.** В даній роботі асимптотичний метод [4,5] узагальнюється на двовимірні задачі електропружності. Ефективність зазначеного методу залежить від того, чи можливо сформулювати відповідні крайові задачі для основних рівнянь.

Показано, що крайові задачі теорії електропружності для плоских ортотропних тіл зводяться до задач теорії потенціалу, які можна послідовно розв'язувати. За результатами, наведеними у роботі, можна зробити висновки про появу нових можливостей для дослідження багатьох практично важливих задач, які не мали не лише аналітичних, а й чисельних розв'язків.

За допомогою запропонованого авторами підходу можуть бути отримані аналітичні розв'язки практично важливих задач електропружності. Можливі проведення оцінок напружено-деформованого стану виробів з п'єзоелектричних матеріалів.

1. Партон В.В., Кудрявцев Б.А. Электромагнитоупругость пьезоэлектрических электропроводных тел. Москва: монографія. Наука, 1988. 472 с.
2. Острик В.І. Вдавлювання напівбезмежного штампа в пружну смугу за наявності тертя і зчеплення. Мат. методи та фіз.-мех. поля. Львів, 2008. №1. с. 138 – 149.
3. Острик В.І., Улітко А.Ф. Кругова міжфазна тріщина за умови фрикційного контакту поверхонь. Мат. методи та фіз.-мех. поля. Львів, 2004. №1. с. 84 – 94.
4. Маневич Л.И., Павленко А.В., Коблик С.Г. Асимптотические методы в теории упругости ортотропного тела: монографія. Донецк: Вища школа, 1982. 152 с.
5. Маневич Л.И., Павленко А.В. Асимптотический метод в микромеханике композиционных материалов: монографія. Київ: Вища школа, 1991. 131 с.

## **АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК НА ГОРОДСКИХ ЛИНИЯХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

### **Проблематика**

Развитие информационных технологий повлияло на появление в крупных городах интеллектуальных транспортных систем, управляемых из единого информационного центра, предоставляющего информацию о дорожной обстановке с фото и видеокамер, наличии мест на стоянках и т.д. Такие системы направлены на повышение мобильности и гибкости современных городских пассажирских перевозок, а также несут в себе значительные экономические выгоды, так как по производительности способны не уступать метро и в тоже время ниже по стоимости изготовления и обслуживания.

В предлагаемой работе описан алгоритм осуществления городских пассажирских перевозок с помощью интеллектуальной информационно-транспортной системы, основанной на использовании роботизированных беспилотных транспортных средств малой вместимости, называемых инфобусами, которые управляются из единого координирующего информационного центра. Система призвана разгрузить перенасыщенную обстановку на городских автомагистралях путем предоставления провозной способности, сопоставимой с метро.

### **Цель работы**

Целью данной работы является описание математической модели построения плана перевозки пассажиров с минимальным количеством остановок во время следования с помощью интеллектуальной информационно-транспортной системы.

### **Объект исследования**

Беспилотные городские пассажирские транспортные системы

### **Использованные методики**

Построение матрицы корреспонденций и обработка ее с целью составления плана развозки пассажиров на городских наземных маршрутных линиях

### **Научная новизна**

Традиционные формы систем общественного транспорта на данное время зачастую являются дотационными и убыточными, но городские власти вынуждены поддерживать их во избежание транспортного коллапса. В то же время в странах СНГ довольно слабо развиты системы интеллектуального общественного транспорта в силу их новизны. В данной работе предлагается описание такой интеллектуальной информационно-транспортной системы, призванной разгрузить перенасыщенную дорожно-транспортную обстановку в городах.

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

В результате тестирования, разработанная система показала свою уместность в решении задачи развозки пассажиров на маршруте.

### **Практическое применение полученных результатов**

Предложенный в работе алгоритм направлен на повышение мобильности и гибкости перевозки пассажиров. Применение его несет в себе значительные экономические выгоды, так как по производительности перевозка пассажиров с помощью описанной в работе системы не уступает метро и в тоже время ниже по стоимости из-за меньших затрат на изготовление и обслуживание.

## ПРОСТОРОВА КОНТАКТНА ЗАДАЧА ПРО ТИСК ПРУЖНОГО КІЛЬЦЕВОГО ШТАМПА З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ НА ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИЙ ПІВПРОСТІР

Просторові контактні задачі є важливим розділом механіки деформованого твердого тіла, які формують теоретичну основу для розрахунків на контактну міцність, жорсткість і зносостійкість рухомих і нерухомих з'єднань.

Прикладні потреби природознавства, сучасної техніки та новітніх технологій, пов'язані з необхідністю прогнозування контактної поведінки різноманітних конструкцій, стимулювали в останні десятиліття розвиток широкого спектру математичних моделей і методів контактної механіки для тіл з різними властивостями. Одним із важливих чинників контактної взаємодії тіл є вплив початкових (залишкових) напружень, який і є предметом даного дослідження.

У роботі представлена математична модель та розв'язок просторової контактної задачі про тиск пружного кільцевого штампа з початковими (залишковими) напруженнями на пружний півпростір з початковими (залишковими) напруженнями без врахування сил тертя. Дослідження проведені у рамках лінеаризованої теорії пружності в загальному вигляді для теорії великих початкових деформацій та двох варіантів теорії малих початкових деформацій при довільній структурі пружного потенціалу у випадку рівних коренів визначального рівняння [1].

Побудова аналітичних розв'язків для пружного кільцевого штампу скінченного розміру та півпростору з початковими напруженнями представлена з допомогою методів розділення змінних (метод Фур'є) й інтегральних перетворень Ханкеля, відповідно. Також у дослідженні використаний метод розв'язку парних інтегральних рівнянь з подальшим їх зведенням до інтегрального рівняння типу Фредгольма другого роду. У роботі задача зводиться до розв'язку нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, яка обчислюється методом редукції і засобами програмного забезпечення.

Числова реалізація методу представлена у вигляді таблиць та графіків для потенціалу гармонічного типу. Алгоритм розв'язку поставленої задачі реалізовано у пакеті Maple 17 у вигляді програмного коду.

**Висновки.** Аналіз результатів досліджень показує, що присутність попередньо напруженого стану при контактній взаємодії пружного кільцевого штампа та пружного півпростору дає можливість регулювати контактні напруження та переміщення при розрахунках конструкцій і деталей механізмів на міцність. Тому, практичне значення отриманих результатів дослідження полягає в тому, що:

1. Дане дослідження орієнтовано на розв'язання просторової осесиметричної статичної задачі про тиск пружного кільцевого штампа та півпростору з врахуванням початкового напруженого стану. Результати проведеного дослідження дозволили сформулювати характерні для потенціалів довільної структури співвідношення компонентів напружено-деформованого стану в зоні контакту;

2. Отримані аналітичні співвідношення та числові розв'язки дали змогу відобразити вплив початкових (залишкових) напружень на закон розподілу контактних характеристик для потенціалів найпростішої структури;

3. Запропонований в статті принцип розв'язку може використовуватися для дослідження ізотропних, трансверсально-ізотропних або композитних матеріалів при проектуванні технологічного обладнання, колон будівель та інших конструкцій.

1. Гузь А. Н., Рудницький В. Б. Основы теории контактного взаимодействия упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями : монография. Хмельницький: вид. ПП Мельник, 2006. 710 с.

## СУЧАСНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ МОТИВАЦІЇ З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ

Із неупинним розвитком науково-технічного прогресу, комп'ютерних систем і мереж, інформаційних систем і технологій, так само стрімко посилюються як вимоги до підготовки та самопідготовки фахівців, так і технічні та технологічні можливості забезпечення їхнього практичного здійснення. Одне з головних підґрунть для ефективного застосування сучасних інформаційно-комунікаційних технологій комп'ютеризованого навчання становить високий рівень мотивації тих, які навчаються, до повноцінного сприйняття й якісного засвоєння навчальної інформації. У даному контексті, мотивація має асоціюватися з усвідомленням важливості, наявністю бажання та стимуляцією здатності виконувати активну, зацікавлену, націлену, продуктивну діяльність із засвоєння навчальної інформації з використанням комп'ютеризованих інформаційних систем, технологій і процесів навчання. Незважаючи на достатньо фундаментальну опрацьованість питань мотивації як у цілому, так і для низки ключових предметних галузей, зокрема, для сфери навчання [1-2], на даний час, залишився недостатньо вивченим та потребує ретельного дослідження ряд аспектів моделювання мотивації, націлених на покращення інформаційної взаємодії в комп'ютеризованих системах навчання на засадах більш ефективного формування та використання мотиваційних установок у зазначеній предметній галузі.

Основною метою роботи було дослідження та врахування особливостей моделювання мотивації, що сприяють підвищенню ефективності комп'ютеризованих інформаційних процесів навчання. Інформаційну взаємодію та взаємовпливи об'єктів системи навчання та довкілля розглянуто як складний багатоцільовий процес зі збуреннями та узгодженням цілей. Було визначено, що моделювання мотивації інформаційної поведінки того, кого навчають, вимагає застосування векторних цільових функцій і врахування особливостей структурних моделей формування інформаційних процесів і потоків, пов'язаних із мотивацією процесів навчання. В даному контексті, для інформаційних підсистем навчання виділені: інформаційні потоки передбачень і рішень того, кого навчають; порівняльні інформаційні потоки, що обумовлюють урахування зовнішніх реакцій (з боку інших об'єктів системи навчання та довкілля), з виробленням зворотних впливів на цілі того, кого навчають, з метою підвищення оптимальності рішень. Обґрунтовано доцільність застосування в процесах інформаційної взаємодії систем комп'ютеризованого навчання оптимізаційних моделей мотивації, асоційованих із технологіями організаційного управління інформаційними системами й оснований на застосуванні векторної (багатокритеріальної) оптимізації, концепцій оптимальності рішень за Лагранжем і принципу Парето, з урахуванням відповідних припущень і умов [3]. У підсумку, створено концептуальні та математичні основи інтегрованої технології оптимізаційного моделювання мотивації в процесі інформаційної взаємодії в комп'ютеризованих інформаційно-керуючих підсистемах навчання.

**Висновки.** Теоретичні результати роботи становлять основу для практичної розробки удосконалених моделей мотивації, що сприятимуть покращенню інформаційної взаємодії в комп'ютеризованих системах навчання.

1. Фаулер, С. Націлені на результат: що насправді мотивує людей / пер. Ю. Кузьменко. Київ: Наш Формат, 2018. 168 с.
2. Мачтакова, О. Г. Мотивація: від античності до постмодернізму: монографія. Одеса: Атлант, 2013. 210 с.
3. Yang, X. Optimization techniques and applications with examples. USA, UK: WILEY, 2018. 384 p.

**Збірка тез**

**XX МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**МКММ-2019**

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