

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ ХVІІІ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ,  
ПРИСВЯЧЕНОЇ 100 – РІЧЧЮ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ  
АКАДЕМІКА Ю.О. МИТРОПОЛЬСЬКОГО



Херсон – 2017

**МАТЕРІАЛИ ХVІІІ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ З МАТЕМАТИЧНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ, ПРИСВЯЧЕНОЇ 100 – РІЧЧЮ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ  
АКАДЕМІКА Ю.О. МИТРОПОЛЬСЬКОГО  
МКММ-2017**

**МАТЕРИАЛЫ ХVІІІ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО  
МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ, ПОСВЯЩЕННОЙ 100 - ЛЕТИЮ СО  
ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
АКАДЕМИКА Ю.А. МИТРОПОЛЬСКОГО  
МКММ-2017**

**Materials of 18th international conference OF MATHEMATICAL MODELLING  
IS DEDICATED TO 100 ANNIVERSARY FROM  
THE BIRTHDAY OF ACADEMICIAN Yu.O. MITROPOLSKY  
ICMM-2017**

Збірка матеріалів конференції

**18-22 вересня 2017 року  
Херсон, Україна**

**18-22 сентября 2017 года  
Херсон, Україна**

**September 18-22, 2017  
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. Олесь 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 XVIII міжнародної конференції з математичного моделювання МКММ-2017, яка відбулася з 18 по 22 вересня 2017 року в ХНТУ і була присвячена актуальним питанням математичного моделювання, прикладної геометрії та інформаційних технологій.

XVIII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2017) [Збірка тез (18-22 вересня 2017 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2017. – 155 с.

**СЕКЦІЯ:**  
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ І**  
**ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР ДВУХФАЗНЫХ ЗОН В ПРОЦЕССЕ ВНУТРЕННЕГО ОКИСЛЕНИЯ ПЛАСТИН БИНАРНЫХ СПЛАВОВ

Настоящая работа является продолжением цикла статей авторов [1–7], посвящённых проблеме моделирования процесса внутреннего окисления.

Целью настоящей работы является моделирование структур двухфазных зон в процессе внутреннего окисления пластин бинарных сплавов в условиях термодинамического равновесия на поверхности насыщения.

Рассмотрим кинетику изменения и пространственное распределение меры пересыщения  $L(x)$  в пластине (рис.1), которые в значительной мере проясняют физику процесса формирования структуры двухфазной области.

Процесс релаксации пересыщения в каждом сечении пластины имеет весьма продолжительную асимптотическую стадию медленного приближения к состоянию равновесия. Этой асимптотической стадии предшествует короткая стадия резкого снижения пересыщения твёрдого раствора в данном сечении, следующая непосредственно за стадией роста пересыщения и достижения им максимума. Такая стадийность процесса внутреннего окисления, различимая уже при рассмотрении кинетики изменения функции пересыщения, позволяет выделить и стадии процесса формирования структуры двухфазной области. Быстрому росту пересыщения твёрдого раствора в данном сечении пластины будет соответствовать стадия бурного зарождения и роста зародившихся частиц с преобладанием процесса зарождения; на этапе быстрого уменьшения пересыщения идёт интенсивный рост частиц, а процесс зарождения новых частиц отсутствует, т. к. пересыщение твёрдого раствора стремится к нулю, и рост частиц новой фазы за счёт вещества твёрдого раствора постепенно уступает место их росту по механизму коалесценции.

Все эти стадии (зарождение, рост, коалесценция) со сдвигом по времени последовательно реализуются в каждом сечении пластины. И если в центральном сечении пластины только начинается стадия образования частиц, то приповерхностные слои в это время могут уже находиться на поздней асимптотической стадии процесса коалесценции.

Анализ кинетики роста зоны внутреннего окисления в условиях термодинамического равновесия компонентов на границе с насыщающей средой показал, что распределения числа частиц, их среднего размера и суммарного объёма фазы в целом повторяют зависимость степени пересыщения от координаты. В общем случае характерным для данных распределений является наличие максимума, который с течением времени смещается вглубь пластины. В каждом сечении диффузионной зоны, с момента прохождения через него границы двухфазной области, образуется пересыщенный твёрдый раствор, степень пересыщения которого вначале резко увеличивается, проходит через максимум, быстро уменьшается и затем асимптотически приближается к нулю. В соответствии с этим в каждом сечении зоны внутреннего окисления последовательно реализуются стадии зарождения, роста и коалесценции частиц.

Процесс внутреннего окисления в пластинах разной толщины следует сравнивать при равных значениях относительного времени  $t/l^2$ . При незначительном влиянии стоков

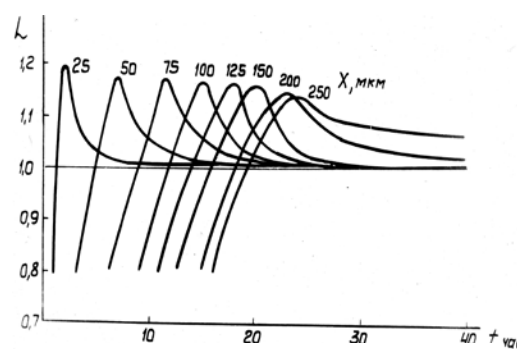


Рис. 1 Кинетика изменения  
функции пересыщения в

(объём фазы мал) времена полного внутреннего окисления пластин различной толщины соотносятся как квадрат отношения их толщин. Скорость движения фронта внутреннего окисления с приближением к центру пластины резко возрастает, что связано с взаимодействием диффузионных потоков от противоположных поверхностей пластины. С ростом объёма второй фазы скорость продвижения границы внутреннеокисленной зоны замедляется. При этом имеет место конкурирующее влияние двух эффектов: ускорения, связанного со взаимодействием диффузионных потоков от противоположных поверхностей пластины и замедления, обусловленного уходом диффундирующего вещества в объём растущей фазы.

Структура зоны внутреннего окисления существенно зависит от величины коэффициентов диффузии компонентов, а при окислении пластин и от их толщины. Моделирование процесса внутреннего окисления в системах с низкими значениями коэффициентов диффузии компонентов показало, что максимум распределения числа частиц расположен вблизи поверхности насыщения и со временем не смещается вглубь зоны. В данном случае скорость движения границы зоны мала, в результате чего происходит интенсивный рост частиц и за относительно короткий промежуток времени их суммарный объём в приповерхностной области возрастает настолько, что заметно снижается степень пересыщения твёрдого раствора в более глубоких сечениях и соответственно частота зарождения частиц.

Формирование двухфазных областей в процессах типа внутреннего окисления (т.е. высокотемпературное насыщение малолегированных сплавов элементами внедрения – кислород, азот, углерод, бор) – во многом определяет такие важные эксплуатационные свойства материалов как износостойкость, жаропрочность, жаростойкость, радиационная стойкость, водородопроницаемость. Это обуславливает актуальность и перспективу дальнейших исследований закономерностей и особенностей формирования зоны внутреннего окисления.

Результаты работы могут быть использованы при разработке новых технологий термической и химико-термической обработок для дисперсного упрочнения материалов, как физическая основа для поиска путей обеспечения заданных распределений параметров структуры двухфазной области, необходимых для придания данному сплаву в процессе внутреннего окисления требуемого комплекса физических и механических свойств.

1.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г. Моделирование процесса внутреннего окисления и экспериментальные результаты. Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.3 (39). – Херсон: ХНТУ, 2010, с.10–15.

2.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г. Формирование зоны внутреннего окисления при малой свободной энергии формирования окислов. Вестник ХНТУ, 2011, №3 (42), с. 14-20.

3.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г. Формирование двухфазной области при большой свободной энергии формирования окисла легирующих элементов. Вестник ХНТУ, 2012, №2 (45), с. 12-16.

4.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г., Бардачёв Ю.Н. Моделирование формирования двухфазных областей в процессе внутреннего окисления бинарных сплавов. Вестник ХНТУ, 2014, №3 (50), с. 192-202.

5.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г., Бардачёв Ю.Н. Кинетика роста дисперсных частиц окислов и структура поверхностноокисленного слоя металлов и бинарных сплавов. Часть 1. Диффузионный и нормальный механизмы роста частиц окислов на поверхности. Вестник ХНТУ, 2015, №3 (54), с.62-67

6.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г., Бардачёв Ю.Н. Кинетика роста дисперсных частиц окислов и структура поверхностноокисленного слоя металлов и бинарных сплавов. Часть 2. Влияние степени пересыщения на кинетику роста окисных частиц и структуру поверхностноокисленного слоя. Вестник ХНТУ, 2015, №3 (54), с.68-76.

7.Абрамов Г.С., Абрамов М.Г., Бардачѳв Ю.Н. Коалесценция частиц окислов на асимптотической стадии процесса внутреннего окисления. Вестник ХНТУ, 2016, №3 (58), с.297-303.

Г.В. АБРАМОВА<sup>1</sup>, В.Р. МАГДЕНКО<sup>2</sup>, Г.С. АБРАМОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Херсонський національний технічний університет

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «АДМІНІСТРАЦІЯ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ» НА ОСНОВІ ЕКОНОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

В роботі досліджується розвиток новоствореного державного підприємства «Адміністрація морських портів України» (ДП «АМПУ»), яке утворене в 2013 році внаслідок реформування морської галузі країни. Вивчення впливу реформи на економічний стан галузі є важливим етапом розвитку інфраструктури. В Україні майже відсутні дослідження на основі економіко-математичного моделювання, у той час як у міжнародній практиці цей метод дослідження широко використовується.

Метою дослідження було оцінити стан підприємства, його проблеми і перспективи розвитку; знайти механізми регулювання і оптимізації доходу підприємства за допомогою регресійних моделей, що відображають залежність доходу від ряду суттєвих факторів.

З урахуванням досвіду інших країн в Україні було створено ДП «АМПУ», місією якого є сприяння розвитку морської транспортної інфраструктури України, підвищення конкурентоспроможності українських морських портів, створення умов і механізмів для залучення інвестицій. Однією з основних проблем розвитку підприємства є те, що 75% чистого прибутку ДП «АМПУ» перераховує до Державного бюджету. Така ситуація безумовно не дає жодного шансу для розвитку підприємства, а отже і галузі в цілому.

В роботі на підставі статистичних даних отриманих з фінансової звітності ДП «АМПУ» та Херсонської філії ДП «АМПУ» за період 2013-2016 років [1], побудовані виробничі функції для кількісного аналізу ефективності використання ресурсів підприємства. Виробнича функція для ДП «АМПУ», має вид:

$$Y = \exp(-9,445)X_1^{0,928}X_2^{1,018} \quad R^2 = 0,786; \quad \sigma = 0,1945, \quad (1)$$

де  $Y$  – чистий дохід;  $X_1$  - капітальні витрати;  $X_2$  - витрати на оплату праці).

Виробнича функція для ХФ ДП «АМПУ», має вид:

$$Y = \exp(6,248)X_1^{0,132}X_2^{0,359} \quad R^2 = 0,743; \quad \sigma = 0,07 \quad (2)$$

Сума коефіцієнтів еластичності виробничої функції для ДП «АМПУ» значно більше одиниці (1,946), що дає право стверджувати про зростаючий ефект від масштабу виробництва. Для ДП ХФ «АМПУ» - навпаки: сума коефіцієнтів еластичності значно менше одиниці (0,491). Це свідчить, що має місце спадаючий ефект від масштабу виробництва. Для виявлення причин такого стану необхідні більш детальні дослідження.

Трьохфакторна модель доходу для ДП «АМПУ» (де врахований курс долара, який виявився суттєво значимим) візуалізована за допомогою номограми, що дає цілу низку можливостей для практичного використання моделі.

Подальші дослідження має сенс, на наш погляд, спрямувати на дослідження розподілу витрат в формуванні доходу по підприємству в цілому і по його Херсонській філії. З порівняльного аналізу часток витрат від доходу ДП «АМПУ» та ХФ «АМПУ» видно, що

частка матеріальних витрат та витрат на заробітну плату від доходу ХФ ДП «АМПУ» в два та півтора рази відповідно перевищує аналогічний показник по ДП «АМПУ». Пошук відповідей на питання щодо розвитку ДП «АМПУ» та вирішення проблем ДП ХФ «АМПУ» може бути об'єктом подальших ціленаправлених досліджень.

1. ДП «АМПУ» [Електронний ресурс]: офіційний веб-портал Державного підприємства «Адміністрація морських портів України» - Режим доступу - <http://www.uspa.gov.ua>.

**УДК 681.544::621.039.562.26**

БЕГЛОВ Я.И., БЕГЛОВ К.В.  
Одесский Национальный Политехнический Университет

### **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС**

В многочисленных работах, посвященных проблеме покрытия переменной части графиков нагрузок [1,2,3], указывается, что повышение доли АЭС в общей установленной мощности требует повышенной маневренности энергооборудования АЭС, то есть работы энергоблоков АЭС в переменном режиме.

Одним из способов изменения нагрузки энергоблока является изменение энерговыделения в реакторной установке путем изменения концентрации жидкого поглотителя. Для реакторов типа ВВЭР в качестве жидкого поглотителя используется борная кислота ( $H_3BO_3$ ).

Процесс изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура называется борным регулированием (БР). Для уменьшения мощности реактора в коллектор питательного насоса подается раствор из бака с концентрированной борной кислотой, для увеличения мощности подается чистый конденсат. [4] Одновременно с этим, борная кислота выводится из теплоносителя.

В настоящее время борное регулирование состоит в дискретном вводе определённого количества  $H_3BO_3$  или чистого конденсата в ручном режиме до получения требуемого результата. Одним из недостатков такого режима борного регулирования является большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Как показано в [5] количество ЖРО можно существенно уменьшить применив автоматизированную систему регулирования.

Ранее в [6] рассматривался синтез и проводился анализ ПИ-регулятора. Основная сложность при настройке регулятора заключается в нелинейных свойствах объекта регулирования. А именно разными значениями коэффициента передачи и постоянными времени при нанесении управляющего воздействия разного знака.

Оптимальными были приняты настройки ПИ-регулятора для процесса с минимальным интегральным показателем качества и объектом, имеющим меньший коэффициент передачи и большую постоянную времени.

Однако даже при оптимальных настройках в системе наблюдаются колебания регулируемой величины. Поэтому была поставлена задача исследовать автоматизированную систему регулирования концентрации борной кислоты с нечетким ПИ-регулятором.

Правила нечеткого вывода были применены для расчета настроек регулятора. Моделирование АСР показало улучшение качества переходного процесса по сравнению с оптимальным ПИ-регулятором. А именно: отсутствие колебаний в системе и меньшее значение интегрального критерия качества переходного процесса регулирования.



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. Воронин Л. М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС. – М.: Энергоиздат. 1981,-166 с.
3. Игнатенко Е.И., Пыткин Ю.Н. Маневренность реакторов типа ВВЭР. – М.: Энергоатомиздат. 1985, - 83с
4. Максимов М. В. Модель реактора ВВЕР-1000 як об'єкта управління: монографія / М. В. Максимов, К. В. Беглов, Т. О. Цисельська // Сучасні технології упр. — О. : Вид-во Купрієнко С. В., 2012. — С. 108 — 122.
5. Медведев Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000 // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. –2002. –№ 2 (22). –С. 22;
6. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2015. –№4. – С. 18–24;

М.Г. БЕРДНИК

Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет"

### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ ТЕПЛООБМІНУ ПОРОЖНЬОГО КУСКОВО-ОДНОРІДНОГО ЦИЛІНДРА З УРАХУВАННЯМ КІНЦЕВОЇ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ТЕПЛА**

У феноменологічній теорії теплопровідності передбачається, що швидкість поширення тепла є нескінченно великою[1,2]. Питання про можливість узагальнення рівняння переносу енергії на тривимірний простір у випадку узагальненого закону теплопровідності Фур'є розглянуто у [1].

В [1] отримано узагальнене рівняння переносу енергії для рушійного елемента суцільного середовища, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла.

Однак при високих інтенсивних нестационарних процесах, що спостерігаються, наприклад, при вибухах, надзвукових потоках, великих швидкостях обертання використання цього припущення приводить до помилок, тому необхідно враховувати, що розповсюдження теплоти проходить з кінцевою швидкістю.

Як показує огляд літератури, теплообмін у циліндрах, які обертаються, вивчений у даний час ще недостатньо [1]. Показано, що чисельні методи дослідження нестационарних неосесиметричних задач теплообміну циліндрів, які обертаються, є не завжди ефективними, якщо мова йде про обчислення при великих швидкостях обертання [1]. Тому для вирішення крайової задачі, яка виникає при математичному моделюванні нестационарних процесів теплообміну в циліндрах, які обертаються, будемо застосовувати інтегральні перетворення.

В роботі розглянуто розрахунок нестационарного температурного поля порожнього кругового циліндра зовнішнього радіуса  $R$  в циліндричній системі координат  $(r, \varphi, z)$ , кусково-однорідного в напрямку полярного радіуса  $r$ , який обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega$  навколо осі  $OZ$ , скінченної довжини  $L$  з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла. Теплофізичні властивості якого в кожному шарі не залежать від температури за умови ідеального теплового контакту між шарами, а внутрішні джерела тепла відсутні. У початковий момент часу температура циліндра постійна  $G_0$ , а на зовнішній і внутрішній поверхні циліндра відомі теплові потоки  $G(\varphi, z)$  і  $G_1(\varphi, z)$  відповідно.

В роботі розроблена тривимірна математичну модель розподілу температурних полів у порожньому кусково-однорідному циліндрі у вигляді крайової задачі математичної фізики для рівняння теплопровідності.

Для вирішення отриманої крайової задачі шукане температурне поле представлено у вигляді комплексного ряду Фур'є. Отримані крайові задачі для коефіцієнтів Фур'є були вирішені із застосуванням інтегрального перетворення Лапласа та розробленого нового інтегрального перетворення для кусково-однорідного простору. В результаті знайдено температурне поле кусково-однорідного кругового циліндра в напрямку полярного радіуса, який обертається з постійною кутовою швидкістю навколо осі OZ, з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, у вигляді збіжних ортогональних рядів за функціями Бесселя і Фур'є.

**Висновки.** Знайдений аналітичний розв'язок узагальненої крайової задачі теплообміну циліндра, який обертається, з урахуванням скінченності величини швидкості поширення тепла може знайти застосування при модулюванні температурних полів, які виникають у багатьох технічних системах (в супутниках, прокатних валках, турбінах і т.і.).

1. Бердник М. Г. Математичне моделювання тривимірної узагальненої задачі теплообміну суцільного циліндра, який обертається / Бердник М. Г. // Питання прикладної математики і математичного моделювання. Дніпропетровськ. -2014.– С. 26-35.

2. Конет І. М. Гіперболічні крайові задачі в необмежених тришарових областях / І. М. Конет, М. П. Ленюк. // Львів. - 2011. - 48 с

И.П. БОКОВ<sup>1</sup>, Н.С. БОНДАРЕНКО<sup>1</sup>, Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАНУ

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Широкое применение в современной технике композитных материалов, обладающих резкой анизотропией упругих свойств, приводит к необходимости учитывать физико-механические характеристики этих материалов при проведении прочностных расчётов. При расчётах тонкостенных элементов конструкций из таких материалов целесообразным является использование уточнённых теорий пластин и оболочек. Теория {m,n}-аппроксимации, основанная на методе И. Н. Векуа разложения искомым функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра [1], позволяет учесть сдвиговую податливость, характерную для большинства композитных материалов.

В работе рассмотрена трансверсально-изотропная пластина толщиной  $2h$ , которая находится под действием локальной силовой нагрузки. Граничный контур пластины существенно удален от начала координат. Локальная сила распределена равномерно и действует в нормальном к срединной плоскости пластины направлении. Размеры локальной области намного меньше характерного размера пластины.

Для решения данной задачи использована формула свертки [2]

$$P(\vec{r}) = \iint_{\Omega} E(\vec{r} - \vec{t}) W(\vec{t}) d\Omega,$$

где  $P$  – внутренние силовые факторы;  $E$  – силовые компоненты фундаментального решения для трансверсально-изотропной пластины, полученные на базе уточненной теории в варианте {1,0}-аппроксимации;  $\Omega$  – область локального нагружения;  $\vec{r}$  и  $\vec{t}$  – вектора текущей точки и точки интегрирования соответственно.

В работе проанализировано влияние упругих постоянных трансверсально-изотропного материала и геометрии области локального нагружения на внутренние силовые

факторы. Проведенные численные исследования показали, что в общем случае с ростом коэффициента Пуассона значения радиальных и окружных моментов увеличиваются. Таким образом, можно заключить, что при расчете локального напряженно-деформированного состояния тонкостенных пластин существенно важным является учет упругих свойств трансверсально-изотропных материалов.

**Выводы.** В перспективе описанная в работе методика может быть использована при рассмотрении локальных силовых нагрузок, действующих по произвольному закону внутри произвольной области. Также возможно изучение напряженно-деформированного состояния пластин на базе обобщенной теории  $\{m,n\}$ -аппроксимации для случая удержания большего количества членов рядов разложений искомых функций в направлениях, нормальных к плоскости изотропии.

1. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – К. : Наук. думка, 1982. – 296 с.

2. Шевченко В. П. Методы фундаментальных решений в теории ортотропных оболочек / В. П. Шевченко; под ред. А. Н. Гузя, А. С. Космодамианского // Механика композитов. – Киев, 1998. – Т. 7 : Концентрация напряжений. – С. 159–196.

Ю.В. БРАЗАЛУК, А.И. ГУБИН, Д.В. ЕВДОКИМОВ, М.А. СТОЯНОВСКИЙ  
Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

## АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Теплозащитные покрытия являются неотъемлемой частью любых технических систем, функционирующих в экстремальных температурных условиях, то есть, подвергающихся чрезмерному нагреву или охлаждению со стороны окружающей среды. Наибольшие величины тепловых потоков в современной технике встречаются при аэродинамическом нагреве спускаемых аппаратов. За годы развития ракетно-космической техники были предложены многочисленные схемы тепловой защиты головных частей и спускаемых аппаратов; в рамках практической реализации этих схем были проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования, предложены новые материалы для теплозащитных покрытий, проведены многочисленные полетные испытания, в результате чего был накоплен значительный опыт, обобщенный в монографиях [1-3]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в современной ракетно-космической технике в вопросах тепловой защиты, повышение весовой эффективности применяемых систем по-прежнему остается весьма актуальной как технической, так и экономической проблемой. В настоящее время наиболее эффективными в весовом отношении принято считать так называемые активные теплозащитные покрытия, основанные на использовании аблирующего жертвенного слоя или на пористой системе охлаждения. В обоих случаях дополнительный существенный теплозащитный эффект удается получить за счет скрытой теплоты фазового перехода жертвенного материала (материала аблирующего покрытия или фильтрующегося теплоносителя в пористой системе). Расчет подобных покрытий представляет собой значительную трудность из-за сложности теплофизических процессов, в них протекающих.

С целью создания эффективных методов расчета рассматриваемых объектов были разработаны асимптотические математические модели процессов теплообмена в неасимптотически тонких активных теплозащитных покрытиях. На модельных задачах были разработаны и протестированы расчетные схемы для анализа и проектирования таких покрытий. В основу построения асимптотических математических моделей положено

разложение по малому параметру, равному отношению характерной толщины покрытия к его характерному размеру в продольном направлении. В результате, асимптотическая математическая модель получена в виде последовательности краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, первая из которых допускает достаточно простое аналитическое решение, а последующие могут быть решены численно. Для аблирующих покрытий полученная последовательность краевых задач должна быть дополнена последовательностью задач Коши, описывающих процесс абляции. Для пористой системы охлаждения полученная последовательность имеет более сложный вид, поскольку включает уравнения для «влажной» и «сухой» зон, и должна быть дополнена задачей об определении положения границы испарения.

Предложенные расчетные методики могут быть использованы не только в ракетно-космической технике, но и в других областях техники и технологии, где используются высокотемпературные процессы.

1. Полежаев Ю.В. Тепловая защита / Ю.В. Полежаев, Ф.Б. Юревич. – М.: «Энергия», 1976. – 392 с.

2. Панкратов Б.М. Взаимодействие материалов с газовыми потоками / Б.М. Панкратов, Ю.В. Полежаев, А.К. Рудько. – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.

3. Полежаев Ю.В. Тепловое разрушение материалов / Ю.В. Полежаев, Г.А. Фролов. – К.: Изд-во ИПМ НАНУ, 2005. – 288 с.

А.И. БРУНЕТКИН

Одесский национальный политехнический университет

## **ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ**

Задачи динамики занимают существенное место среди задач, связанных с исследованием и проектированием технических систем. Их количество, а также сложность определяют значительный объем усилий и средств, направляемых на решение. Любое упрощение в этом направлении, при сохранении приемлемой точности, стимулируют увеличение широты охвата области исследований, глубину достигаемых обобщений и, следовательно, позволяют достичь новых результатов.

Как правило повышение точности результатов исследований опирается на использование «дифференциальных» моделей. Это позволяет учесть «тонкие» эффекты исследуемых процессов, но существенно усложняет процесс исследования, зачастую маскируя за ними основные эффекты рассматриваемых процессов. Существует потребность в применении методов

Представленный в докладе материал иллюстрирует такой подход. Рассмотрена возможность использования альтернативного пути получения решений сложных задач динамики теплофизических процессов: «интегрального», подразумевающего усложнение первоначально записанной модели в самом общем интегральном виде на уровне законов сохранения, до уровня возможности получения решений приемлемой в рассматриваемом случае точности.

При таком подходе принятые допущения дали возможность получить простые аналитические решения как в области гидродинамики, так и при нестационарном теплообмене. При этом в обоих случаях достигнуто широкое обобщение результатов, что позволило путем свертки существенно сократить объем представляемой для анализа информации без ее потери.

Так выражение, полученное в «гидродинамической» части статьи, опираясь на значения всего двух величин – поперечного (в направлении колебаний) размера емкости и

глибини заповнення – дозволяють визначити величину власної частоти коливань рідини для будь-яких розмірів ємності і широкого діапазону її заповнень. Два коефіцієнта, отримані з простих модельних експериментів для кожної розглядаваної форми ємності, враховують зміну вкладу кожної з позначених вище величин в розрахунок власної частоти коливань. Такий підхід дає можливість з допомогою одного простого алгебраїчного вираження описувати рух вільної поверхні рідини в ємностях різних форм. Так в розглядаваній статті наведено дані для розрахуноків в ємностях 7 форм і розташувань в просторі, що відповідає широкому колу розв'язуваних завдань.

В «теплотехнічній» частині статті при використанні апріорної інформації про можливу форму вираження, що описує зміну температури по перерізу розглядаваних тіл (в статті – простих форм: нескінченна пластина, нескінченний циліндр, сфера), вдалося отримати єдине просте вираження і критерій для визначення закінчення перехідного процесу нагріву. Цінність представляє не тільки спрощення, хоча і точного, але громоздкого, рішення модельної задачі, але і отримання узагальненого критерію закінчення перехідного процесу. Інтересним представляється і той факт, що таким шляхом може бути отримано рішення нестационарних завдань прогріву-охолодження тіл довільної форми, а необхідні коефіцієнти – визначені з обмеженої кількості простих модельних експериментів.

Д.Б. ВЕНГРОВИЧ  
Інститут геофізики НАН України

## **ПРОЯВИ СЕЙСМІЧНОСТІ В РИФТОВИХ ПРОЦЕСАХ ТА ПРИ СУБДУКЦІЇ.**

Базові моделі структурованого середовища дозволили отримати в геофізиці ряд досягнень в розумінні процесів на Землі, як процесів самоорганізації. Поняття структури грає ключову роль в розумінні тектоніки Земної кори з виникненням напружень, їх локалізації та наступним вивільненням енергії. Ми розробили нову динамічну теорію з застосуванням до процесів континентального рифтоутворення, що базується на моделі структурованої літосфери з врахуванням динамічних (механічних) та термічних процесів і провели чисельні моделювання рифтингу [1,2], розв'язуючи сумісні системи диференціальних рівнянь, що описують напруження та теплоперенос в блоковому геосередовищі. Надалі ми застосували цю теорію для дослідження процесів стиснення в літосфері, таких як субдукція та супутних їй сейсмічних процесів. Чисельне моделювання показало, що при тектонічному стисненні і деформуванні в зонах субдукції виникають перенапружені мегаблоки. Спостерігається катастрофічне вивільнення енергії з таких локалізованих областей структурованого середовища. Ці явища в майбутньому будуть більш детально промодельовані вже на сейсмічній шкалі часу з застосуванням динамічних рівнянь руху та рівнянь стану речовини літосфери, що враховують її структурованість. Таким чином запропонована нова модель джерела землетрусу.

В роботі досліджуються динаміка напружено-деформованого стану земної кори в зонах розтягнення та стиснення. Основою математичного моделювання є аналог методу DEM – представлення кори, як взаємодіючих блоків шестикутної форми, котрі можуть консолідуватись чи розколюватись. На Рис.1 наведено розраховане напруження в такому середовищі при моделюванні зіткнення океанічної та материкової плит.

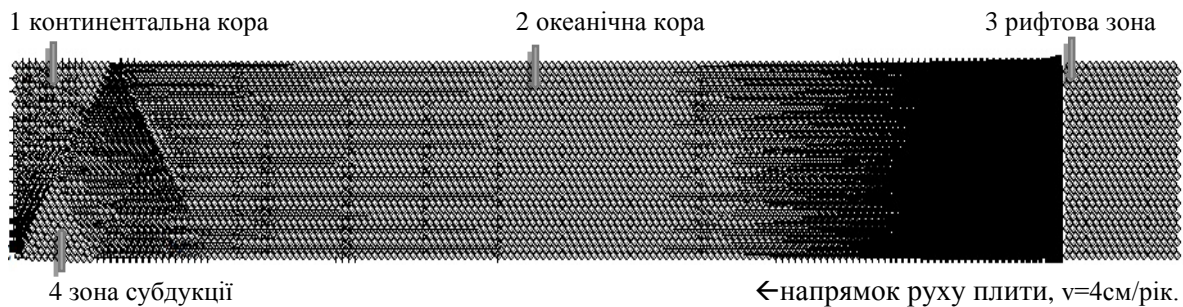


Рис. 1. Темніші блочки представляють зони більшого напруження в плиті, котра, рухаючись вліво, стикається з масивною материковою корою. Напруження локалізуються в мегаблоки.

**Висновки.** Результати роботи показують, що механізм накопичення напружень в мегаблоках кори при стисненні чи розтягненні та наступного вивільнення цих напружень може пояснити сейсмічність активних в тектонічному сенсі областей Землі, особливо зон субдукції. На базі цього механізму запропонована нова модель джерела землетрусу, де моделювання вивільнення енергії проводиться, як продовження тектонічної динаміки вже для дуже малих (сейсмічних) проміжків часу.

1. Starostenko V.I., Danylenko V.A., Vengrovich D.B., Kutas R.I., Stephenson R.A., Stovba J.N., O.M. Kharitonov [1999]. A new geodynamical–thermal model of rift evolution, with application to the Dnieper–Donets Basin, Ukraine. // *Tectonophysics* 313, 29–40

2. Vengrovich D.B., Starostenko V.I., Danylenko V.A., [2010]. Modeling of the Evolution of Sedimentary Basins Including the Structure of the Natural Medium and self-organization processes. *Геофизический журнал.* –Т.32.–№4.–С.200-2002.

В.И. ГНИТЬКО, Д.В. КРЮТЧЕНКО<sup>1)</sup>, Ю.В. НАУМЕНКО, Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА<sup>1),2)</sup>

Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАНУ, Украина,  
Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОТСЕКАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ЖИДКОСТЬ

Контейнеры и резервуары для хранения нефти, легковоспламеняющихся и ядовитых жидкостей широко используются в различных областях инженерной практики, таких как авиастроение, химическая и нефтегазовая промышленность, энергетическое машиностроение, транспорт. Эти резервуары функционируют в условиях повышенных технологических нагрузок и заполнены нефтью, легковоспламеняющимися или ядовитыми веществами. В результате внезапного действия нагрузок, вызванных землетрясениями, другими форс-мажорными обстоятельствами жидкость, хранящаяся в резервуарах начинает испытывать интенсивные плескания [1].

В работе исследованы задачи о свободных и вынужденных колебаниях оболочечных конструкций с отсеками, частично заполненными идеальной несжимаемой жидкостью. Движение жидкости предполагается потенциальным. Рассмотрены импульсные воздействия на оболочки. Для гашения колебаний жидкости предлагается устанавливать внутренние перегородки. Для исследования колебаний применен метод интегральных уравнений. Его численная реализация осуществлена с использованием граничных элементов и суперэлементов. Получены частоты и формы колебаний жидкости в резервуарах с перегородками. Рассмотрены вынужденные колебания под действием гармонических и импульсных нагрузок.

Рассмотрим цилиндрическую оболочку с плоским дном, частично заполненную жидкостью. Параметры резервуара следующие: радиус  $R = 1\text{ м}$ , толщина  $h = 0.01\text{ м}$ , длина  $L = 2\text{ м}$ . Уровень заполнения оболочки  $H=0.8\text{ м}$ . В качестве функции  $a_s(t)$  принималась ступенька Хевисайда. Для проведения расчетов принимали разное количество базисных функций  $M=1, 2, 5$ . Дальнейшее увеличение числа базисных функций не приводило к существенному изменению результатов. На рис 1 показана форма колебаний свободной поверхности в точке  $r = 0.5\text{ м}$  в зависимости от времени при числе базисных функций  $M=5$ .

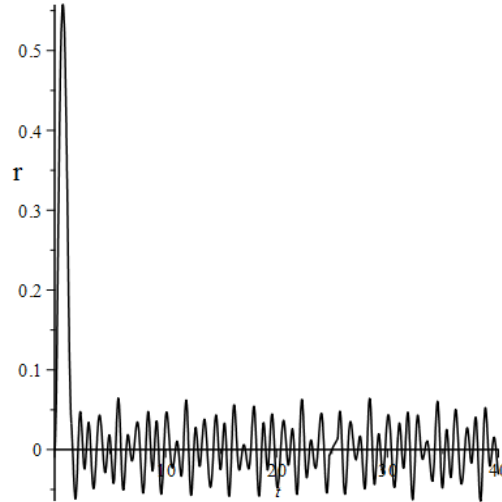


Рис.1 Поведение свободной поверхности при импульсной нагрузке.

**Выводы.** Разработанный метод позволяет оценить уровень подъема свободной поверхности при действии внезапно приложенной нагрузке, что позволит дать рекомендации по установке защитных перегородок.

1. Space Exploration Technologies Corp. Demo Flight 2 Flight Review Update, June 15, 2007.

А.П.ГОРОВЕНКО  
Институт геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

### НАПРУЖЕННЯ В ПРУЖНОМУ ВКЛЮЧЕННІ В РІДИНІ ПІД ДІЄЮ ХВИЛІ ТИСКУ

Хвиля тиску в рідині дифрагує на пружному включенні радіусом  $a$ . У включенні мають місце хвиля тиску та хвиля зсуву. Хвилі формують напружений стан, який описується тензором напружень. Метою досліджень є оцінка компонент тензора напружень та величин зміщень для різних частот хвилі тиску, на різних відстанях від центра сферичного включення.

Розв'язок дифракційної задачі представлений рядами по сферичним функціям Бесселя, Неймана, Ганкеля, поліномам та приєднаним функціям Лежандра. Розроблений алгоритм та створена програма для комп'ютерних розрахунків амплітуди дифрагованої хвилі, зміщень та компонент тензора напружень [1].

**Висновки.** Розрахунки показали, що нормовані компоненти тензора напружень  $\tau_{rf}^*$  та  $\tau_{\theta f}^*$  майже не залежать від частоти для  $\nu$  до 10 КГц, а потім ростуть за величиною. Близько до поверхні включення ( $r=0,99a$ ) радіальна компонента  $\tau_{rf}^*$  значно більша кутової

компоненти  $\tau_{\theta}^*$ , в той час як близько до центра включення ( $r=0,1a$ ) навпаки, кутова компонента більша радіальної.

1. Горovenko A.П. Дифракція хвилі тиску на сферичному пружному включенні в рідині// Препринт. ІГФ НАНУ. Київ.2015.-23с.

УДК 550.837; 621.391

Ю.О. ГУМЕНЮК<sup>1</sup>, Ю.В. ЧОВНЮК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

<sup>2</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ БИЗОТРОПНЫХ/БИАНИЗОТРОПНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ БИООБЪЕКТОВ**

Приведены модели капиллярных систем электропроводности биообъектов, обладающих эффектом бианизотропии (а также и для таковых, являющихся биизотропными) в диапазоне миллиметровых электромагнитных волн с несущей частотой  $\approx 60$  ГГц. Анализ эффективных электромагнитных биизотропных/бианизотропных параметров указанных объектов проведен для коэффициентов отражения и прохождения, который позволяет оценивать их состояние и реакцию на поляризованное электромагнитное излучение мм-диапазона.

Для практической реализации в крайне высокочастотной (КВЧ-) рефлектометрии биообъектов полученных аналитических результатов предложены расчётные формулы, позволяющие учитывать структурные особенности отдельных включений, входящих в биообъект (типа спиралей или «омега-частиц»).

Установлены алгоритмы нахождения материальных параметров биосред посредством измерения коэффициентов отражения/прохождения плоской электромагнитной волны мм-диапазона определённой поляризации через плоский слой биообъекта, находящегося либо в волноводе, либо – в свободном пространстве.

Полученные в работе результаты могут служить в дальнейшем для обоснования физических механизмов функционирования в высоко организованных формах живой материи т.н. «китайских» меридианов, позволяющих распространяться электромагнитным волнам (в частности, мм-диапазона) безотражательно, т.е. без потерь, вдоль таких волноведущих путей организма (человека, животного).

По мнению авторов данного исследования, основной причиной, позволяющей выделять эти меридианы в организме (высокой организации/самоорганизации) в отдельные специфические структуры биосреды, является киральность/бианизотропия последней. Кроме того, возникает реальная возможность с физической точки зрения обосновать и спрогнозировать эффекты воздействия (и последствия, реакции, отклика и т.п.) на биообъект поляризованных электромагнитных волн мм-диапазона нетепловой интенсивности.

Авторы данного исследования убеждены также в том, что полученные в данной работе результаты могут быть использованы в дальнейшем для уточнения и совершенствования существующих методик расчётов основных параметров, измеряемых в КВЧ-рефлектометрии живой материи, при её облучении мм-волнами нетепловой интенсивности как на стадиях проектирования/конструирования специальной аппаратуры квантовой медицины (микроволновой резонансной терапии (МРТ) профессора Ситько С.П.),



так и в режимах реальной эксплуатации при диагностировании, лечении и реабилитации организма человека (животного).

А.Ю. ЗИМОГЛЯД, Д.О.ЛЕВЧЕНКО  
Національна Металургійна Академія України

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ КОРОННОГО РОЗРЯДУ І ПОДАЛЬШЕ ЙОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Коронний розряд знайшов своє застосування в різних галузях науки і техніки. Коронний розряд застосовується для поверхневого легування металів і напівпровідників, для очищення газів від пилу в складі електростатичних фільтрів, для діагностики станів конструкцій. Широке застосування коронного розряду в різних галузях, призводить до необхідності його моделювання. [1]

Струм, що проходить через електроди анода і катода, при коронному розряді має імпульсний характер, і цей характер проявляється аж до іскрової пробою проміжку. Імпульсний струм, що виникає при позитивній та негативній короні, суттєво відрізняється.

Слід зауважити, що при позитивному коронному розряді, проявляється ефект так званої спалахової корони, а при негативному коронному розряді проявляються імпульси Трічеля. Причиною різної поведінки імпульсного струму в позитивній та негативній короні імовірно служать різні іонізаційні процеси, і так само різний розподіл просторового заряду між електродами.

Під час роботи було створено лабораторне обладнання для аналізу адекватності моделей коронного розряду, яке дозволило отримати інформацію, необхідну для аналізу. Також, для перевірки працездатності розробленого стенду було проведено деяку кількість експериментів, які показали можливість отримання даних у відомих режимах розряду.[2]

Попереднє вимірювання показало деякий періодичний сигнал в області 17 кГц, який більш виражений при негативній короні, так само в спектрі позитивної корони можна явно побачити гармоніки, які розташовані на частотах до 10 кГц, з кроком в 0.23 кГц. Ці отримані дані вказують на можливість подальших вимірювань і вивчення цих гармонік.[3] [4] [5]

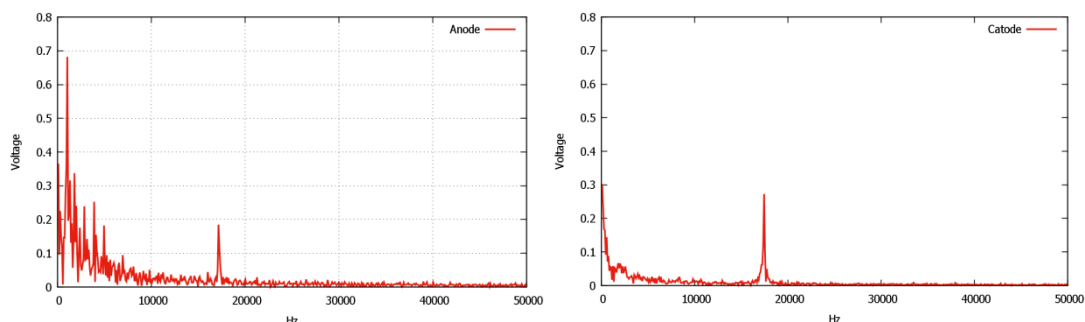


Рис. 1 Спектр наведення на антену при позитивній короні та негативній короні

**Висновки.** Створене лабораторне обладнання, дозволило отримати інформацію, необхідну для подальших вимірювань. Які в свою чергу можуть бути використані, для аналізу адекватності моделей коронного розряду. Була зроблена перевірка працездатності розробленого стенду на низці експериментів, які показали можливість отримання даних у відомих режимах розряду.

1. Ю.П. Райзер Физика газового разряда / Ю.П Райзер – М.: Наука, 1992. – 434с.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники, часть 2 / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1995. - 590 с.

3. Р.П. Фейнман Фейнмановские лекции по физике, часть 5 / Р.П. Фейнман, Р.Б. Лейтон М.: Мир, 1977. - 300 с.
4. О.Я. Новиков Устойчивость горения электрической дуги / О.Я. Новиков, В.Н. Ярыгин – М.: Наука, 1992. – 197 с.
5. Э.И. Кузнецов Методы диагностики высокотемпературной плазмы / Э.И. Кузнецов, Д.А. Щеглов – М.: Москва, 1980. - 198 с.

А.О. КАРАЄВ<sup>1</sup>, О.О. СТРЕЛЬНИКОВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

<sup>2</sup> Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України

## МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧАХ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

В сучасних теоретичних і прикладних дослідженнях актуально стоїть питання побудови математичного і програмного апарату для розв'язання задач механіки наноматеріалів. Наночастинки у такому підході вважаються елементами, що утворюють кусково-однорідне середовище з власними значеннями фізичних та механічних характеристик. У кожному окремому об'єкті можна застосовувати принцип континуалізації, тобто вважати кожен однорідний об'єкт суцільним середовищем. Взаємодія між цими об'єктами виражається за допомогою граничних умов, які формулюються, оцінюючи характер механічної взаємодії [5, с.27].

Метод граничних елементів є одним з найпопулярніших методів чисельного моделювання різних задач механіки та фізики. Величезним досягненням, що приваблює вчених з усього світу, є можливість розглядати не сам регіон, у якому необхідно розв'язати задачу, а його границю. Цей факт і використовується авторами у даній публікації у контексті використання даного методу для теорії пружності.

Для використання методу граничних елементів, необхідно побудувати інтегральне рівняння рівноваги твердого тіла та знайти фундаментальну матрицю рішення:

$$u_i + \oint_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \oint_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma$$

Тензор фундаментального рішення у циліндричній системі координат матиме вигляд [3, с.46]:

$$u_{ij}^* = A(x_i - \xi_i)K(k) + B(x_i - \xi_i)E(k)$$

Для обчислення повного еліптичного інтегралу першого роду у роботі використовувалися властивості середнього арифметико-геометричного, для повних еліптичних інтегралів другого роду – стандартна шести вузлова формула Гаусса.

Використовуючи відомі граничні умови можна скласти систему лінійних алгебраїчних елементів розміром  $n$ , де  $n$  - кількість елементів, на які було розбито границю. Фундаментальна матриця рішень не є неперервною функцією у випадку, якщо фіксована точка входить у проміжок інтегрування. Однак у ця точка є точкою розриву першого роду, тому складнощів при інтегруванні не виникає – можна розбити проміжок інтегрування на два і на кожному використати вузлову формулу Гаусса, що і використовувалося у моделюванні.

Для розв'язання аксіально-симетричних задач теорії пружності було розроблено систему, використовуючи мову програмування C++.

Отриманий математичний апарат разом із створеним програмним комплексом дозволяє розв'язувати будь-які аксіально-симетричні задачі теорії пружності у межах використання методу.

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Физматлит. — 2007. — 264 с.

2. Brebbia C. A. Boundary Element Techniques. — Springer. — 1984. — 466 с.
3. Stikan P. R. Tensores fundamentais da formulação dos problemas elásticos axissimétricos pelo método dos elementos de contorno.— Vitória.— 2006.— 113 p.
4. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка — М.: Наука. — 1966. — 260 с.
5. Гузь А.Н., Рущицкий Я.Я. О построении основ механики нанокомпозитов (обзор). — Киев: Прикладная механика. — 2011, т. 47, №1, с. 4-61

Л.И.КНЫШ<sup>1</sup>, О.Г. ГОМАН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ДЛИННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

При эксплуатации систем подачи, перекачки или транспортировки капельной жидкости остро стоит проблема возникновения гидроудара, последствия которого могут быть разрушительны. Для моделирования таких нестационарных процессов имеются специализированные программные пакеты, стоимость которых часто превышает стоимость проекта. Кроме того, версии подобных программ имеют ограничения по длине трубопроводной системы (часто до 10 км) и не учитывают её гидромеханические особенности. Всё это приводит к необходимости иметь простой и надёжный инструментальный расчёта трубопровода на возможный гидроудар, формулировать рекомендации по его недопущению и минимизации последствий в случае возникновения.

В работе проводится краткий анализ возможных методов расчёта нестационарного течения в трубопроводах различного назначения и составляется математическая модель гидравлического удара в наземной или подземной трубопроводной системе большой протяжённости (свыше 60 км), в которой, кроме основных физических эффектов, учитывается также и географические особенности местности функционирования системы [1,2].

Полученная система дифференциальных уравнений в частных производных решалась численно, используя метод перехода к характеристическим уравнениям. При дискретизации характеристических уравнений строилась нерегулярная криволинейная сетка и регулярная прямолинейная. В качестве модельной жидкости использовалась вода, скорость течения которой значительно меньше скорости движения ударной волны. При таких условиях результаты расчёта с использованием криволинейной и прямолинейной сеток идентичны. Устойчивость решения обеспечивалась критерием Куранта-Леви.

Выбор граничных условий определялся сценарием внештатной ситуации, при которой может возникнуть гидравлический удар в системе. Начальные условия выбирались на основе полного гидромеханического расчёта всей трубопроводной системы, что представляет собой отдельную достаточно сложную инженерную задачу.

В качестве результатов получены типичные кривые распределения давления и скорости на разных участках трубопровода в заданный промежуток времени. По этим результатам можно сформулировать рекомендации по возможным проектным решениям с целью недопущения гидроудара. Кроме того, полученные данные являются основой для расчёта объёма компенсационных устройств в случае возникновения нестационарного течения в трубопроводе.

**Выводы.** Предложенная в работе методика расчёта гидравлического удара может быть использована при проектировании и эксплуатации наземных или подземных трубопроводных систем большой протяжённости. Максимальные значения давления и

скорости в системе при гидроударе, полученные на основании численного решения, являются основой для последующих расчётов компенсационных устройств и приборов. Методика была апробирована на системе перекачки воды на большие расстояния при нормальных физических условиях и требует некоторого уточнения при использовании жидкостей со специфическими свойствами.

1. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А. Фокс. – М., Энергоиздат, 1981. – 248 с.

2. Тимошенко В.И. Неустановившееся течение жидкости в сложных разветвлённых трубопроводных системах / В.И. Тимошенко, Ю.В. Кнышенко // Авиационно-космическая техника и технология, 2012. – №5 (92). – С. 47 – 57.

КОВЧ О.І., СТРЕЛЬНИКОВА О.О.  
Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне»  
Інститут проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України  
Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

## МЕТОД КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗТРИСКУВАННЯ ЗВАРНОГО ШВА ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Розвиток сучасної техніки потребує створення нових конструкцій, робота яких проводиться під дією багаторазових, несиметричних силових і температурних факторів. Найбільш навантаженими в таких конструкціях є зони максимально остаточної деформації, які часто знаходяться між порами та включеннями у зварних швах. В роботі [1] запропоновано підхід, який заснований на використанні метода кінцевих елементів для розрахунку термопружної поведінки конструкції, тут розглядається зв'язана постановка задачі термопружності. Серед робіт присвячених вирішенню зв'язаних задач термопружності, відмічаємо дослідження [2-3].

В якості матеріалу пластинок розглядається сталь 10ХСНД. Модуль пружності та коефіцієнт Пуассона відповідно рівняються  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ кгс/см}^2$ ;  $\nu = 0.3$ . Щільність матеріалу пластин рівняється  $\rho_p = 0.0079 \text{ кг/см}^3$ .

Пори знаходяться у зварному шві, що з'єднує дві пластини товщиною 4 см кожна.

Побудована базова кінцево-елементна модель короба з використанням трьохмірних елементів типу «solids».

У даній роботі вивчена стаціонарна задача.

Для розрахунку напруженого-здеформованого стану при дії внутрішнього тиску та нагрівання використовувалася 5-шарова модель по пластинам товщиною 4 см, 4-шарова по пластинам товщиною 3 см., яка складається для конструкції, що розглядається з 300000 елементів. На зварних швах виконано згущення сітки кінцевих елементів аналогічно.

**Висновки.** Аналіз результатів показує наступне Максимальне напруження у вузлах включення з максимальною температурою співпадає у всіх приведених розрахунках. Щодо максимальних напружень у вузлах пор з максимальною температурою, то бачимо розходження результатів, отриманих з використанням різних кінцевих елементів, в межах  $40 \text{ кгс/см}^2$ . Хоча відмінність незначна, все ж необхідні подальші дослідження, які стосуються вибору найкращого кінцевого елемента. Це зв'язано з тим, що особливо у зоні пор спостерігаються найбільші напруження і ріст тріщин часто починається з зони пор. При  $\sigma_{\text{ЭКВ}}^1 = 3310 \text{ кгс/см}^2$  розвиток тріщин, що призводить до розтріскування зварного шва не спостерігається, але при  $\sigma_{\text{ЭКВ}}^2 = 3780 \text{ кгс/см}^2$  тріщини будуть утворюватися у зоні яка безпосередньо примикає до включення.

1. Даутов Р.З., Карчевский М.М. Введение в теорию метода конечных элементов. – Казань.: Казанский государственный университет, 2004.–239 с.
2. Алтухов Е.В. Метод И.И. Воровича в трехмерной теории термодинамики пластин. //Теорет. и прикл. механика. Донецк, 2005, вып. 41. С. 3-8.
3. Бородин П.Ю. Динамическая связанная задача термоупругости в различных пространственных приближениях. Мат. моделирование.- 1998.-Т. 10, №3.-С. 61-82.

Л.С. КОРЯШКИНА<sup>1</sup>, М.М. ОДНОВОЛ<sup>1</sup>, О.О. МИХАЛЬОВА<sup>2</sup>, А.П. ЧЕРЕВАТЕНКО<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Національний гірничий університет  
<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ У ЗАДАНОМУ РЕГІОНІ

**Мета роботи.** Розробка математичного і програмного забезпечення для створення теоретичних зон обслуговування з використанням характеристик сервісних центрів і припущень про поведінку клієнтів. Виділення таких зон найбільш корисно у випадках, якщо докладні дані про переваги клієнтів відсутні, або вважаються занадто дорогими, або потрібна велика кількість часу для їх отримання.

**Методика.** В якості математичного та алгоритмічного апарату територіальної сегментації під час поділу ринку послуг використовуються моделі і методи розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин [1, 2]. Вибір критерію оптимальності розбиття визначається специфікою самих центрів. В одному випадку, коли необхідно розбити задану область на регіони, кожен з яких охоплював би клієнтів з одними і тими ж найближчими сусідніми сервісними центрами, критерій якості розбиття полягає у мінімізації сумарної відстані від центрів до всіх клієнтів, що ними обслуговуються. Якщо центри є вкрай необхідними підприємствами або службами (аварійними, поліцейськими, соціальної підтримки і т.п.), то критерієм оптимальності виступає мінімізація відстані від центру обслуговування до найвіддаленішої точки регіону. І у тому, і в іншому випадку передбачається, що клієнти кожної зони можуть обслуговуватися будь-яким з відповідних цій зоні центрів. Програмне забезпечення включає комп'ютерну програму "Optimal multiplex-partitioning of sets" (OMPS-2015), розширену функціональною можливістю звернення до бібліотеки Google Maps Distance Matrix API для пошуку найкоротшого шляху між будь-якими двома точками регіону, враховуючи реальні транспортні розв'язки та під'їзні шляхи для кожної точки області, що розбивається.

**Результати досліджень.** Представлені зони обслуговування для підрозділів МНС, а також управління праці та соціального захисту населення у м<sup>о</sup>Дніпро, які отримані у результаті обчислювальних процедур. Аналіз цих та інших чисельних експериментів показують, що запропонований підхід до територіальної сегментації регіону забезпечує розумні наближення реальних зон обслуговування сервісних центрів, до того ж досить швидко і без великих витрат, без проведення аналітиком детальної експертизи зон впливу центрів.

**Наукова новизна.** Вперше для задач територіальної сегментації застосовані моделі розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин, а при чисельній реалізації алгоритмів їх вирішення використовуються ГІС-технології.

**Практична значимість.** Неперервні задачі мультиплексного розбиття множин дозволяють отримувати перекриття сервісних зон і можуть бути використані не тільки для опису, але й для прогнозування зон обслуговування, для визначення потенційних місць розташування нових сервісних центрів, оцінювання впливу цих та інших змін на існуючій множині центрів. Використання ГІС дозволяє при плануванні розміщення нових сервісних

центрів враховувати наявність комунікацій в місцях передбачуваного розміщення центрів, можливі додаткові витрати на будівництво власних комунікацій, фактичні відстані між сервісними центрами і їх клієнтами і т.п.

1. Koriashkina L.S. Continuous problems of optimal multiplex-partitioning of sets without constraints and solving methods / L.S. Koriashkina, A.P. Cherevatenko // Journal of Computational & Applied Mathematics. – 2015. – Vol. 119, N 2. – P. 15 – 32.

2. Михальова О.О. Про зв'язок задач оптимізації багатократного кульового покриття обмежених множин та їх мультиплексного розбиття / О.О. Михальова // Комп'ютерні технології. – Львів: ЛНУ, 2015. – С. 266 – 273.

О.В. КУДІН<sup>1</sup>, О.В. СПЕЛЬЧУК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Запорізький національний університет

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ КРУГЛИХ ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН З НЕЛІНІЙНО-ПРУЖНИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розробка підходів до розрахунку напружено-деформованого стану шаруватих елементів конструкцій є досить актуальною задачею. Це зумовлено широким застосуванням, зокрема, тришарових пластин та оболонок в авіа- та суднобудуванні, космічній промисловості, цивільному будівництві, радіоелектроніці та інших галузях народного господарства. Актуальною є проблема розробки ефективних підходів до розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів шарів.

На даний момент опубліковано значну кількість досліджень з теорії тришарових пластин та оболонок. Постановці і розв'язанню нелінійно-пружних задач присвячені монографії [3, 6, 9].

Метою роботи є визначення критичних навантажень тришарової пластини з нелінійно-пружним заповнювачем при дії стискаючого навантаження в площині пластини. Для розв'язання задачі використовується підхід на базі методу Рітца та методу послідовних навантажень В.В. Петрова.

Рис. 1 містить ілюстрацію кроків методу послідовних навантажень. Критерієм втрати стійкості в даному випадку є необмежене зростання прогину при досягненні критичного навантаження.

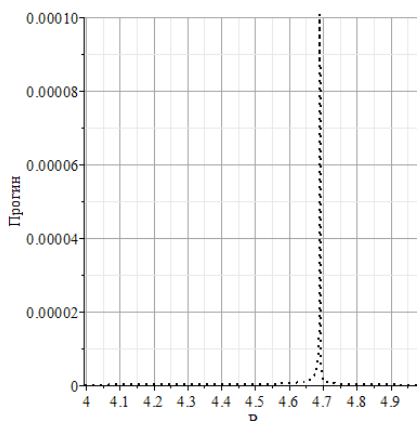


Рис. 1. Кроки методу послідовних навантажень. Нелінійний випадок.

**Висновки.** Наближено розв'язано задачу визначення критичних навантажень круглої тришарової пластини з нелінійно-пружним заповнювачем. При порівнянні

отриманих в статті результатів з іншими роботами показано, що відхилення значень критичних навантажень від інших моделей складає 4% – 12%. В цілому, метод послідовних навантажень в поєднанні з методом Рітца є досить ефективним при дослідженні нелінійних задач, оскільки дозволяє звести нелінійну задачу до послідовності лінійних та легко алгоритмізується.

1. Каудерер Г. Нелинейная механика / Г. Каудерер ; пер. с нем. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 777 с.

2. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров. М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.

3. Цурпал И.А. Расчет элементов конструкций из нелинейно-упругих материалов / И.А. Цурпал. Техника, 1976. – 176 с.

V.M. LAZURIK<sup>1</sup>, V.T. LAZURIK<sup>1</sup>, G. POPOV<sup>1</sup>, Z. ZIMEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V.N. Karasin Kharkiv National University,

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Chemistry and Technology

### **DETERMINATION THE CHARACTERISTICS OF DOSE DISTRIBUTION FOR SOURCES OF ELECTRONS WITH ENERGY SPREAD**

Dosimetry questions of electron radiation are basic questions for radiation technologies, which are used the electron beams [1]. At realization of technology in practice it is need the dosimetry methods, which allows with good accuracy to determine the energy of electron radiation in radiation technological facility.

In the paper it is investigated, the errors of the dosimetry of electron irradiation [2] as function of value energy spread of electrons source.

For investigations, it was used the model of electron spectra  $S(E)$  in form of triangular distribution of probability. Depth dose distributions of electron radiation in aluminum target were simulated with Monte Carlo method. The results of simulation were processed with the standard methods [1] and with method on the base of two parametric model of electron beam [2]. The error value of investigated method was determined on the base of deviation the calculation results of electrons practical range  $R_p$  and the depth of half dose reduction  $R_{50}$ , obtained with use the standard and investigated method.

For the calculations it was assumed that the most probable electron energy of the source  $E_p = 10$  MeV and average energy  $E_{Av} = 9$  MeV. The values of energy spread of the source electrons were given by selection of model parameters the electrons spectra. Characteristics of the depth dose distributions, calculated with using of standard methods ( $R_p, R_{50}$ ) and the method based on the two parametric model of electron beam ( $R_p^*, R_{50}^*$ ) for various values of dispersions  $D^2$  are presented in the Table 1.

As follows from the comparison the data presented in the Table, the method on the base of two parametric model of electron beam are good agreed with standards methods for processing of data dosimetric measurements in wide diapason the energy spread of electrons source.

Table 1. Characteristics of the depth dose distributions in Aluminum target for various modeled spectrum of electron irradiation.

Spectrum	$D^2$ , [MeV] <sup>2</sup>	$R_p$ , [cm.]	$R_p^*$ , [cm.]	$R_{50}$ , [cm.]	$R_{50}^*$ , [cm.]
$S_{min}$	0.5	1.84	1.85	1.44	1.45
$S_1$	1.0	1.87	1.87	1.45	1.45
$S_2$	2.0	1.93	1.91	1.44	1.47
$S_3$	3.0	1.98	1.95	1.45	1.48
$S_4$	4.0	2.04	1.99	1.47	1.50
$S_5$	5.0	2.06	2.04	1.48	1.51

**Conclusions.** At presence the energy spread of electrons: the value of  $R_{50}$  is useful for determination the average energy  $E_{Av}$ ; the value  $R_p$  should not be used for determination the most probably energy of electrons  $E_p$ .

1. ISO/ASTM Standard 51649, Practice for dosimetry in an e-beam facility for radiation processing at energies between 300 keV and 25 MeV. Annual Book Vol. 2005.12.02.

2. Lazurik V.M., Lazurik V.T., Popov G., Zimek Z. Two-parametric model of electron beam in computational dosimetry for radiation processing. // Radiation Physics and Chemistry, – 2016. – Vol. 124. – P. 230–234.

Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, Г.В. РУДАКОВА, Е.Р. ТОУФАК  
Херсонський національний технічний університет

### МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК КАРКАСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

У промисловості на сьогодні існує тенденція до росту застосування універсального устаткування замість вузькоспеціалізованих верстатів і роботів-автоматів, оскільки сама по собі можливість швидкої переналадки і налаштування, навіть при деякому підвищенні вартості устаткування, дає відчутні переваги. Одним з варіантів подібних систем являються установки каркасного типу. Каркасні багатоприводні установки багатофункціональні і універсальні, оскільки мають достатній потенціал для ефективного вирішення багатьох промислових завдань [1]. На траєкторію руху робочого органу впливають багато факторів, обумовлених як особливістю конструкції, так і зовнішніми збуреннями. При переміщенні робочого органу на елементи конструкції багатоприводної каркасної установки починають діяти сили та крутні моменти, що можуть спотворити траєкторію руху.

Метою досліджень є розробка математичної моделі руху елементів технологічної установки, яка надає можливість визначати параметри руху робочого органу багатоприводної каркасної установки.

Рух майданчика з робочим інструментом (органом) обумовлюється переміщенням окремих вузлів (кареток) уздовж направляючих штанг, яке забезпечується роботою окремих електродвигунів. Положення робочого майданчика, можна визначити як точку перетину сфер з радіусами  $r$  і відповідними центрами  $O_i(x_i, y_i, z_i)$  [2].

Вирішення задачі знаходження точки перетину трьох сфер можливе із застосуванням перетворення координат або без нього [3]. Розв'язання задачі без застосування перетворення координат є більш громіздким, що значно обмежує використання даного методу в системі управління устаткуванням каркасного типу.



**Висновки.** Отримані в результаті розв'язання залежності дозволяють визначати граничні можливості переміщення робочого органу та координати його у новій системі координат. Крім того, виконуючи диференціювання рівнянь, можна отримати співвідношення для швидкостей та прискорень, а для знаходження діапазонів зміни параметрів роботи окремих приводів (граничних швидкостей і прискорень), що необхідно для синтезу алгоритму управління багатоприводною установкою каркасного типу, необхідно вирішувати зворотню задачу кінематики. При цьому слід враховувати, що для пошуку розв'язку у початковій системі координат до розв'язку треба застосовувати зворотне перетворення.

Враховуючи нелінійний характер рівнянь, а також залежність самої системи координат від положення кареток, така задача є досить складною, і потребує застосування сучасних високопродуктивних засобів мікропроцесорної техніки, що спроможні працювати в реальному часі, оброблюючи інформацію від датчиків та синтезуючи алгоритм управління, що забезпечує пересування робочого органу за заданою траєкторією з урахуванням вимог до точності та швидкодії, а також обмежень за максимальними швидкостями та прискореннями.

1. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури/ Під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Гриньов Б.В. Аналітична геометрія : підручник для вищ. техніч. навч. закладів / Б.В. Гриньов, І.К. Кириченко. - Харків : Гімназія, 2008. - 340 с.
3. Гриньов, І.К. Кириченко. - Харків : Гімназія, 2008. - 340 с.
4. Brinker, R.C. and Minnick, R. 12. Trilateration // The Surveying Handbook. – Chapman & Hall, 1995. – 967 p.

В.П. ЛЯШЕНКО<sup>1</sup>, О.Б. КОБИЛЬСЬКА<sup>1</sup>, Т.С. БРИЛЬ<sup>1</sup>, О.П. ДЕМ'ЯНЧЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського

<sup>2</sup> Азовський морський інститут Національного університету "Одеська морська академія"

## **НЕЛІНІЙНІ ІНТЕГРАЛЬНІ РІВНЯННЯ У МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ ТЕПЛООБМІНУ РУХОМОГО ОСЕСИМЕТРИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Інтегральні рівняння знаходять широке застосування при розв'язанні задач математичної фізики та під час моделювання багатьох неперервних фізичних та технологічних процесів[1]. Зведення крайової задачі для рівняння з частинними похідними до відповідного інтегрального рівняння дозволяє у багатьох випадках спростити алгоритм її розв'язання методами комп'ютерної математики [1,2].

Метою дослідження було побудова алгоритму зведення крайової задачі для рівняння теплопровідності до інтегрального рівняння та розв'язання її методами комп'ютерної математики.

Розглянуто математичну модель температурного поля у рухомому осесиметричному середовищі, що розігрівається у обмеженій замкненій області  $\Omega$  внутрішніми або зовнішніми джерелами тепла, і яка є однією з проблем металургії – дослідження температурних розподілів під час пластичної деформації та термічної обробки рухомого дроту внутрішніми та зовнішніми джерелами тепла. Усереднення за радіусом дозволило зменшити розмірність задачі та звести її до розв'язання нелінійної крайової задачі для звичайного диференціального рівняння другого порядку.

Нелінійну задачу зведено до інтегрального рівняння типу Гаммерштейна з ядром у вигляді функції Гріна.

Після перетворень рівняння Гаммерштейна для задачі можна записати у вигляді

$$u(\xi) = u_L(\xi) - \tau \int_0^l G(z, \xi) u^4 dz, \quad (1)$$

$$u_L(\xi) = u_0 G'_z(0, \xi) - u_l G'_z(l, \xi) + \omega_1 \int_0^l G(z, \xi) dz. \quad (2)$$

**Висновки.** Розроблено алгоритм зведення крайової задачі, що моделює процес теплообміну рухомої циліндричної області з навколишнім середовищем до інтегрального рівняння типу Гаммерштейна. Розглянуто випадки нагрівання середовища внутрішніми та зовнішніми джерелами тепла. Побудовано функцію Гріна для спряженого диференціального оператора, яка використана у якості ядра рівняння типу Гаммерштейна. Це дозволило звести нелінійну двовимірну крайову задачу до одновимірного нелінійного інтегрального рівняння. Розв'язок рівняння отримано чисельним модифікованим методом Ньютона. Отримані інтегральні рівняння можуть бути використані у якості математичної моделі термічної обробки рухомого дроту.

1. Лизоркин П.И. Курс дифференциальных и интегральных уравнений с дополнительными главами анализа. – М.: Наука, 1981.–381с.

2. V. Lyashenko, E. Kobilskaya Control of Heat Source in a Heat Conduction Problem // AIP Conference Proceedings. – Sophia (Bulgaria), 2014. – 85(2014), P. 94–101.

И.В. МЕЛЬНИК, В.В. ГАЙДАМАКА  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,  
факультет электроники, кафедра электронных приборов и устройств

## ДОЛГОСРОЧНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ И ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В современных компьютерных и телекоммуникационных сетях информационные потоки чаще всего описываются в виде долгосрочных временных зависимостей, главной отличительной особенностью которых является самоподобие. Принцип самоподобия временных зависимостей заключается в том, что хотя отдельные реализации случайного процесса за короткие и длительные промежутки времени не одинаковы, они являются очень похожими по форме и визуально практически совпадают [1, 2]. Для исследования таких зависимостей не применим классический математический аппарат теории вероятностей и теории систем массового обслуживания [3], поэтому вероятностные характеристики самоподобных временных процессов определяются с использованием методов фрактального анализа [4]. Функция корреляции самоподобных временных зависимостей описывается в виде расходящегося функционального ряда [5]:

$$r(k) = k^{-\beta}; \quad \sum_k r(k) = \infty; \quad \beta = \frac{1-H}{2}. \quad (1)$$

Основным параметром самоподобных временных зависимостей является параметр Хёрста  $H$ , который определяется на основе выборки значений случайного процесса за длительный промежуток времени. В теории самоподобных процессов показано, что если самоподобный случайный процесс информационного потока в телекоммуникационной сети можно рассматривать как фрактальное броуновское движение, максимальная производительность такой сети связана с параметром Хёрста через аналитическое соотношение [1, 2]:

$$\mu \cdot T = \frac{\rho^{\frac{H-1}{2}}}{(1-\rho)^{\frac{H}{1-H}}}, \rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1. \quad (2)$$

где  $\lambda$  – входной поток пакетов за единицу времени составляет,  $\mu$  – количество обработанных пакетов за единицу времени,  $T$  – среднее время нахождения пакетов в очереди.

В работе с использованием реальных экспериментальных данных проведено исследование трафика компьютерной сети Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», и показано, что исследуемая временная зависимость является самоподобной с высоким значением параметра Хёрста  $H = 0,9596$ . Рассмотрены также другие возможности применения современных методов фрактального анализа для решения научных и прикладных инженерных задач.

#### Список использованной литературы

1. Крилов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и её приложения. – СПб.: «БХВ – Петербург», 2005. – 288 с.
2. Столлинс В. Современные компьютерные сети. – Питер, СПб., 2003. – 703 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Компьютинг в математике, физике, биологии. – М.: Издательство института компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
5. Бідюк П.І., Романенко В.Д., Тимошук О.Д. Аналіз часових рядів. Навчальний посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 600 с.

Ю.Л. МЕНЬШИКОВ

Днепропетровский национальный университет им.О.Гончара

### НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Методы математического моделирования находят все более широкое применение в практике изучения реальных физических процессов [1]. При этом идет процесс усложнения математических моделей и расширение областей их использования. На этом фоне стали просматриваться некоторые нерешенные проблемы, которые сдерживают использование математических методов. Настоящая работа посвящена рассмотрению ряда открытых вопросов, возникающих при использовании методов математического моделирования.

Практическое значение результатов математического моделирования зависит от степени совпадения результатов математического моделирования для выбранного математического описания реального процесса с экспериментальными данными [2]. Если совпадение результатов математического моделирования с экспериментом плохое, то дальнейшее использование этих результатов является проблематичным. Важным понятием в этой связи является адекватность построенного математического описания изучаемому физическому процессу [2]. Однако, это определение адекватности является довольно общим и требует уточнений и дополнений. Кроме этого, остается открытым вопрос о возможности использования адекватных математических описаний для выполнения прогноза поведения физического процесса. Эти общие вопросы математического моделирования и являются предметом исследований в данной работе.

В настоящее время существует два основных подхода к проблеме построения адекватного математического описания [2]. Однако, остается открытым вопрос о соответствии параметров математического описания реальным физическим параметрам процесса. Анализ этого вопроса приводит к выводу, что для выполнения критерия адекватности необязательно, чтобы параметры математического описания соответствовали реальным физическим параметрам. Возможны «плохие» математические модели и

«хорошие» модели внешних воздействий, которые в совокупности дают адекватное математическое описание по некоторой переменной состояния, и наоборот [2]. Следует отметить, что в данных задачах нет смысла рассматривать преобразование адекватного математического описания при стремлении погрешности исходных данных к нулю. В силу этого, не имеет смысла оценивать погрешность полученного математического описания. Для целей дальнейшего использования адекватного математического описания более важно, чтобы параметры математического описания были устойчивы к малым изменениям исходных данных. Примеры расчетов конкретных адекватных математических описаний представлены в работах [2,3,9].

Одной из основных целей математического моделирования является достоверное прогнозирование поведения физических процессов. Необходимым условием достоверного прогнозирования является построение адекватного математического описания изучаемого процесса. Однако, в процессе прогнозирования возникает ряд принципиальных трудностей, которые рассматриваются в работе.

**Висновки.** В работе рассмотрены некоторые открытые вопросы использования методов математического моделирования в практике на примере динамических систем. Предложено ряд подходов для целей получения достоверных прогнозов поведения физических процессов.

1. Введение в математическое моделирование: Учеб. Пособие / Под ред. П.В. Трусова. — М.: Университетская книга, Логос, 2007. - 440 с.– 200с.

2. Menshikov Yu.L., Synthesis of Adequate Mathematical Description as Solution of Special Inverse Problems // European Journal of Mathematical Sciences, –v. 2, –n. 3, –2013, – P.256-271.

Л.І. МОЧУРАД

Науково-навчальний інститут підприємництва та перспективних технологій національного університету «Львівська Політехніка»

## **ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРИ РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПОЛІВ КВАДРУПОЛЬНИХ ЛІНЗ ТА ЇХ СИСТЕМ**

Квадрупольні електростатичні лінзи є основними компонентами сучасних дослідницьких комплексів, за допомогою яких вивчають складні фізичні процеси. На сьогодні в більшості мікрозондів, що знаходяться в експлуатації, використовують мультиплети (системи із двох, трьох або більшої кількості) електростатичних квадрупольних лінз [1]. За допомогою системи електродів типу «квадрупольна лінза», яка дозволяє створювати просторове неоднорідне електричне поле в усьому об'ємі системи електродів, здійснюють електрофізичне очищення трансформаторного масла від забруднень різного походження. Задану продуктивність очищення у реальних установках фільтрації можна отримати використанням паралельно з'єднаних систем просторових електродів типу «квадрупольна лінза» [2].

Важливим науково-практичним завданням є запровадження ефективної методики розрахунку електростатичних полів квадрупольних лінз та їх систем. При чисельному моделюванні відповідних полів доцільним виявляється застосування апарату теорії груп. Зокрема, серед крайових задач теорії потенціалу в  $\mathbf{R}^3$  можна виділити класи задач, які володіють абелевими групами симетрії того чи іншого скінченного порядку. Вказана властивість дає можливість суттєво вдосконалити застосування методу інтегральних рівнянь, який традиційно використовується для таких класів задач. При реалізації основної ідеї

методу встановлюється, якою групою симетрії володіє початкова задача. Це дає можливість перейти від сукупної системи інтегральних рівнянь до послідовності  $N$  незалежних інтегральних рівнянь, заданих лише по одній із конгруентних складових поверхонь-електродів, де  $N$  - порядок групи симетрії відповідної крайової задачі [3].

Очевидним є також створення передумов для розпаралелення процедури розв'язування початкової задачі. На сьогоднішній день для більшості персональних комп'ютерів характерна наявність багатоядерних процесорів. Одним із найбільш популярних засобів паралельного програмування на багатоядерних комп'ютерах із загальною пам'яттю є програмний засіб *OpenMP*. За його допомогою можна розпаралелити виконання програми так, що за наявності декількох ядер вона буде реалізована окремими потоками. При цьому не потрібно описувати обмін інформацією. Встановлено [5], що найбільшої ефективності можна досягти за умови, що порядок групи симетрії  $N$  збігається з кількістю потоків, яка в свою чергу рівна кількості ядер багатоядерного процесора. Отже, використання багатоядерності персонального комп'ютера є доцільним при розв'язуванні задач великих розмірностей з метою більш ефективних затрат комп'ютерного часу на їх виконання.

1. Абрамович С.Н. Оптимизация зондоформирующей системы ядерного сканирующего микронзонда на базе электростатического перезарядного ускорителя ЭПП-10./ С.Н. Абрамович, Н.В. Завьялов, А.Г. Звенигородский, И.Г. Игнатъев, Д.В. Магилин, К.И. Мельник, А.Г. Пономарев // Журнал технической физики. – 2005. – том 75, вып. 2. – С. 6-12.

2. Гладков В.С. Дослідження експериментального зразка установки очищення трансформаторного масла. / В.С. Гладков, О.А. Гученко, О.В. Шестеріков // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 39. – С. 46-50.

3. Мочурад Л.І. Розпаралелення процедур чисельного розв'язування задач плоскої електростатики, які мають абелеві групи симетрії скінченних порядків. / Л.І. Мочурад // Вісн. Льв. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ. – 2013. – Вип. 20. – С. 34-41.

В.П. НАГОРНИЙ, І.І. ДЕНИСЮК  
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПУЛЬСУЮЧИХ ТЕЧІЙ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ В КАНАЛАХ НАФТОНОСНОГО ПЛАСТА

Акустична обробка нафтоносних пластів є одним із ефективних методів підвищення нафтовилучення із них [1, 2]. Аналіз літературних джерел показує, що при виборі частотного діапазону хвильової обробки пластів недостатньо уваги приділяється полю швидкостей руху флюїдів, що в значній мірі визначає швидкість просування їх до вибою видобувних свердловин.

В статті викладені дослідження пульсуючого руху в'язкої рідини в каналах нафтоносного пласта, який виникає під дією тиску, що змінюється за гармонічним законом. Досліджено нестационарний рух в'язкої рідини в каналах круглого перерізу, що описується рівнянням [3]

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \frac{1}{\rho} f(t), \quad (1)$$

де  $v, \nu, \rho$  – швидкість, кінематична в'язкість, густина рідини;  $r$  – радіус каналу.

Розглянуто усталений пульсуючий рух, що відповідає гармонічному закону зміни перепаду тиску в каналі  $f(t) = \rho A \cos \omega t$ , де  $A = \Delta p / (\rho l)$  – перепад тиску на довільно вибраному проміжку каналу довжиною  $l$ .

Рівняння (1) проінтегровано за граничної умови  $v = 0$  при  $r = a$  ( $a$  – радіус каналу) і початкової умови  $v = v_0(r)$  при  $t = 0$  (у випадку вісесиметричного руху). Розв’язок, що визначає розподіл поля швидкостей в каналі, представлено у вигляді

$$\frac{v(r,t)}{(A/\omega)} = v_0(r) \sin(\omega t + \theta(r)), \quad (2)$$

де

$$v_0(r) = \sqrt{\frac{k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2)}{k^2}}; \quad \sin \theta(r) = \frac{k_3 - k_4}{\sqrt{k^2(k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2))}}. \quad (3)$$

Коефіцієнти  $k_1, k_2, k_3, k_4, k^2, k_r^2$  визначаються за функціями Кельвіна *ber* і *bei*.

Розрахунки поля швидкостей по перерізу каналу показали, що спостерігаються підвищені швидкості в пристінних областях каналу порівняно з областю поблизу його осі.

**Висновки.** При гармонічній дії швидкість руху в’язкої рідини в каналі досягає найбільших значень в певному діапазоні частот в залежності від радіуса каналу. Пульсуючий рух в’язкої рідини в каналах супроводжується хвилями стискування–розрідження і знакозмінними фільтраційними потоками, що може бути використано при розробці перспективних методів підвищення просування в’язкої рідини до вибою свердловини.

1. Войтенко В.С. Волновая обработка коллекторов нефти и газа / В.С. Войтенко, В.Н. Иовец, А.М. Киреев, Ю.В. Семенов // Минск: Юнипак. – 2005. – 253 с.

2. Нагорний В.П. Перспективи застосування амплітудно-модульованих хвиль для підвищення дебіту видобувних свердловин / В.П. Нагорний, І.І. Денисюк, В.М. Ліхван // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 5. – С. 22–26.

3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

В. О. ПАЩЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський національний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАЦІОНАРНОГО ПОЛЯ ЕЛІПСОПОДІБНОГО СТРУМОВОГО КОНТУРУ НАД ОРТОТРОПНИМ ПАРАМАГНІТНИМ КОМПОЗИТОМ З ДИСИПАТИВНИМИ ВТРАТАМИ

При електромагнітному контролі суцільності композитів найважливішими з силових характеристик зондувального поля являються тангенціальні проекції векторного потенціалу та електричної напруженості, створювані нестационарними сторонніми збуреннями, що припускають фізичну реалізацію. Таке узагальнене формулювання задачі дозволяє отримувати безліч її ізотропних розв’язки, які відповідають різним стороннім збуренням еліпсоподібного контуру з напівосями, зворотно пропорційними питомим електропровідностям композита:

$$\frac{x^2}{(k/\sigma_x)^2} + \frac{y^2}{(k/\sigma_y)^2} = 1.$$

Методом незалежних підсумовуванням різниць як  $x$ -, так і  $y$ -проекцій елементарного векторного потенціалу пар однойменних точкових джерел стороннього збурення, розташованих на протилежних сторонах еліпсоподібного контуру, отримані тангенціальні проекції його векторного потенціалу шляхом інтегрування при необмеженому зростанні кількості точкових джерел. Такі тангенціальні проекції представлені криволінійними інтегралами другого типу, причому в кожному з них перші два члени моделюють відповідну тангенціальну проекцію векторного потенціалу первинного поля, створюваного верхньою й нижньою половинами еліпсоподібного контуру, подальші два члени описують як і  $x$ -, так і  $y$ -проекцію векторного потенціалу поля, відбитого від композита. Для обчислення криволінійних інтегралів замінені в підінтегральних виразах змінні за допомогою параметричних рівнянь еліпса:

$$x = \frac{k}{\sigma_x} \cos y, \quad y = \frac{k}{\sigma_y} \sin y.$$

При змінненні кута  $y$  (між віссю абсцис і дотичною до еліпса в сусідніх його точках) від  $-\pi/2$  до  $\pi/2$  забезпечується одночасний обхід як верхньої, так і нижньої половин еліпса, причому зліва направо.

Шляхом диференціювання за часом тангенціальних проекцій векторного потенціалу еліпсоподібного контуру та інвертування їхніх знаків аналітично знайдені  $x$ -,  $y$ -проекції електричної напруженості, створюваної стороннім, зокрема, пилкоподібним збуренням. У разі дійснозначних сторонніх збурень активна й реактивна складові тангенціальних проекцій у аналітичному вигляді отримуються шляхом представлення модифікованої функції Беселя 0-го порядку в складі характеристики відбиття композита алгебраїчною сумою дійсної й уявної частин, котрими являються функції Кельвіна 0-го порядку.

Щоб зменшити математичну й обчислювану складність гранично-елементного моделювання зондувального поля в повітрі, необхідно:

- а) використовувати змішані безрозмірні координати, котрі спрощують вирази й усувають залежність від фізичних констант;
- б) обирати масштаби для осей безрозмірних координат таким чином, щоб забезпечити круглу форму для еліпсоподібного контуру, зводячи ортотропну задачу до ізотропної.

**Висновки.** Таким чином, за допомогою ізотропного підходу виконане гранично-елементне моделювання процесу електромагнітної дефектоскопії поверхневого шару ортотропного парамагнітного композиту з тепловими втратами за допомогою зондувального поля еліпсоподібного контуру. Гранично-елементне моделювання гарантує контрастне розпізнавання поверхневих тріщин за допомогою аналізу таблиці, яка містить значення дійсної й уявної частин нормованої електричної напруженості в процесі її встановлення.

О.М. ПИГНАСТЫЙ

Національний технічний університет “Харьковский политехнический институт”

## О КРИТЕРИЯХ ПОДОБИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Постановка экспериментов позволяет установить общие закономерности для поведения параметров поточных линий разных производственных систем [1]. Для практических исследований важно выбрать минимальное число безразмерных параметров, отражающих в наиболее удобной форме основные эффекты исследуемых технологических процессов. Постановка и обработка экспериментальных данных требует учета вопросов

подобия и размерности. В начальной стадии изучения некоторых сложных явлений производственных процессов теория подобия является единственно возможным теоретическим методом, может привести к довольно существенным результатам. Особенно ценно то, что с помощью теории подобия можно получить важные результаты при рассмотрении процессов, которые зависят от большого количества параметров, но при этом так, что некоторые из этих параметров в известных случаях становятся несущественными [2,3]. Теория подобия позволяет определить область значений параметров, допускающих аналитическое решение кинетических и балансовых уравнений [4–6].

В докладе детально рассмотрены два принципиально отличающихся режима функционирования поточной производственной линии (рис.1). Обсуждается критерий подобия для производственных поточных линий.

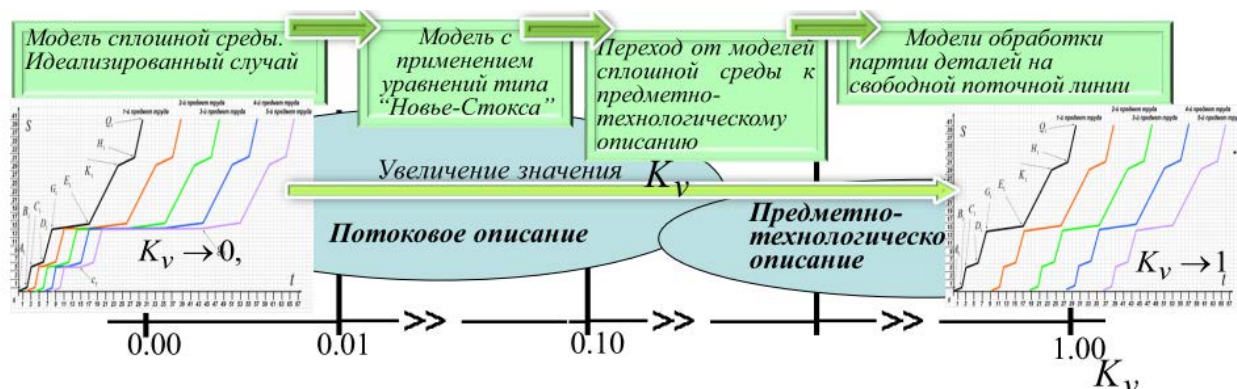


Рис. 1. Критерии использования моделей описания поточной линии

1. Armbruster D. Continuous models for production flows. In Proceedings of the 2004 American Control Conference. / Armbruster D., Ringhofer C., Jo T- J. – Boston, MA, USA, 2004. – P. 4589 – 4594.

2. Гухман А. А., Введение в теорию подобия. / А. А. Гухман. – М.: Высш. шк., 1973. – С. 152.

3. Седов Л.И. Теория подобия и размерности в механике. / Л.И. Седов. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1954. – С. 328.

4. Пигнастый О. М. К вопросу подобия технологических процессов производственно-технических систем / Н. А. Азаренков, О. М. Пигнастый, В. Д. Ходусов // Доповіді Національної академії наук України. - Київ: Видавничий дім "Академперіодика". - 2011. - №2- С. 29-35. –Available at: <https://goo.gl/ON1SqJ>

5. Крылов Н.М. Введение в нелинейную механику. / Н.М.Крылов, Н.Н.Боголюбов. – К.: Наука, Гл. ред. физ. - мат. Лит., 1937. – С. 310.

6. Пигнастый О. М. О выводе кинетического уравнения производственного процесса / О. М. Пигнастый // Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон: ХНТУ. - 2015. - № 3 (54). - С. 439 –446. –Available at: <https://goo.gl/z5pLdE>

В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ  
Национальной академии наук Украины

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ ПОЕЗДА

Подвешивание магнитолевитирующего поезда (МЛП) осуществляется посредством левитационного узла (ЛУ). Токи и поля его контуров – компоненты единого



электромагнитного субпроцесса гиперпроцесса электромеханического преобразования энергии. Существенная сложность таких процессов перманентно побуждает исследователей к поиску путей сепаратного изучения их отдельных компонентов, ключевым из которых является электромагнитный. Его составляющие порознь с успехом могут изучаться в рамках теорий электрических цепей и электромагнитного поля. Поэтому существующие версии математической модели (ММ) процесса левитации (ПЛ) МЛП построены исходя из упомянутых парадигм. Анализ свойств упомянутых версий модели свидетельствует о том, что каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками. Их общая положительная черта – достаточная функциональность. Основной же имманентный недостаток таких версий – нестационарность дифференциальных уравнений, вызванная циклической переменностью их коэффициентов, соответствующих собственным и взаимным индуктивностям дискретных путевых контуров (ДПК) ЛУ как между собой, так и со сверхпроводящими поездными контурами (СПК), в зависимости от положения поезда. Это существенно затрудняет решение задач описываемой динамики, радикально снижая практическую ценность версий модели. Указанное затруднение актуализует создание ММ ПЛ МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий модели и максимально свободной от их недостатков. Построение такой ММП – основная задача настоящей работы.

Электромеханическое энергопреобразование ЛУ МЛП осуществляется в процессе взаимодействия полей токов СПК и ДПК. Поэтому в качестве паттерна левитационной силы (ЛС) поезда принято, описываемое законом Ампера, взаимодействие тока элемента СПК с полем токов ДПК. Полная упомянутая сила найдена как векторная сумма таких паттернов. Исходя из этого, динамика ЛС МЛП определяется текущим соотношением векторов токов, протекающих в прямолинейных элементах СПК, и индукции (условно однородного – в пределах каждого из упомянутых прямолинейных элементов) магнитного поля (создаваемого токами, протекающими в ДПК), в котором элементы находятся.

Модель динамики электрической подсистемы ЛУ построена в форме уравнений второго закона Кирхгофа, составленных для электрически и магнитно, согласно расчётной схеме ЛУ, связанных его контуров. В качестве же паттерна модели магнитной подсистемы того же узла принят комплекс выражений, описывающих поле, создаваемое уединённой прямоугольной катушкой. Значения полной индукции поля, создаваемого токами ДПК в местах расположения элементов СПК, предполагая применимость закона суперпозиции, найдены как векторные суммы индукции полей, создаваемых в указанных местах отдельными катушками ДПК. При этом, с целью максимизации практической ценности и функциональной пригодности создаваемой модели, оба её указанные компонента (описывающие динамику электрической и магнитной подсистем ЛУ) на конечном этапе построения были преобразованы к описанию моделируемых процессов в подвижных координатных системах, каждая из которых жёстко связана с одним из СПК.

**Выводы.** Применённая в работе интегративная парадигма, а также разработанная в ней ММ ПЛ МЛП ассимилируют достоинства теорий цепей и поля, наиболее релевантных в подобного рода исследованиях. В то же время, они свободны от имманентных недостатков указанных теорий. Поэтому использование результатов работы в исследованиях динамики МЛП будет способствовать существенному повышению их эффективности при одновременном сокращении ресурсоёмкости.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НЕСТАЦІОНАРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ШАРУВАТОГО ОСКЛІННЯ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Одним з основних конструктивних елементів транспортних засобів є шарувате оскління, яке може піддаватися інтенсивним динамічним навантаженням з подальшим крихким руйнуванням. Найпоширенішими методами дослідження динамічної поведінки шаруватого оскління є чисельні методи, наприклад методи скінченних та граничних елементів. Проте застосування аналітичних методів дозволяє істотно спростити задачу, підвищити точність її (розв'язання) та швидкість обчислення одного варіанту конструкції. Тому важливою задачею є розробка методів, які дозволяють подати розв'язок в аналітичному вигляді з урахуванням особливостей нестационарного деформування шаруватих конструкцій.

Метою роботи є розробка ефективного методу розрахунку нестационарних коливань шаруватого оскління при ударі твердим тілом.

Скло розглядається як шарувата шарнірно оперта пластина. Припускається, що контакт між шарами виключає їхнє розшарування та взаємне проковзування. Поведінка пластини описується рівняннями узагальненої теорії багатошарових пластин [1]. Деформації шарів визначаються відповідно до формул Коші. Напруження і деформації у шарах пов'язані законом Гука. Рівняння руху пластини та граничні умови отримані з варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона. Система рівнянь руху пластини інтегрується одночасно з рівнянням руху індентора й умовою сумісності переміщень, що враховує контактне зближення індентора і пластини. Через те, що удар який наносять уламки конструкцій або каміння, можна вважати низькошвидкісним, контактне зближення можна визначати на основі розв'язку задачі Герца про вдавнення кулі в пружний півпростір. Метод розв'язання системи рівнянь руху пластин полягає у наступному. Переміщення і зовнішні навантаження розвиваються у ряди по функціям, які задовольняють граничні умови, в результаті чого задача про коливання шаруватої пластини зводиться до інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами. Для розв'язання задачі про коливання пластин складної форми у плані використовується метод занурення [1].

Перевірка ефективності запропонованої методики розрахунку проведена на тестових розрахунках деформацій тришарового скла при ударі кульовим індентором. Максимальні значення деформацій, які отримані запропонованим методом, добре узгоджуються з результатами розрахунку методом скінченних елементів на базі комплексу DYNA2D та експериментальними даними [2].

**Висновки.** Таким чином, розроблено метод дослідження нестационарних коливань шаруватих елементів оскління при ударному навантаженні, який дозволяє подати розв'язок задачі у вигляді тригонометричного ряду. Можливості методу проілюстровані на прикладі розрахунку деформацій тришарових вільно опертих елементів оскління при ударі кульовим індентором. Добре узгодження теоретичних і експериментальних даних підтвердило вірогідність результатів, одержаних за допомогою запропонованого методу. Надалі метод можна застосувати до розрахунку шаруватих елементів з різною формою плану та різними граничними умовами при дослідженні коливань енергетичних, транспортних і будівельних конструкцій під дією інтенсивних швидкоплинних навантажень.

1. Шупиков А. Н. Нестационарные колебания многослойных пластин и оболочек и их оптимизация / А. Н. Шупиков, Я. П. Бузько, Н. В. Сметанкина, С. В. Угримов. – Харьков: Изд-во ХНЭУ, 2004. – 252 с.

2. Behr R.A Dynamic strain in architectural laminated glass subjected to low velocity impact from small projectiles / R. A. Behr, P. A. Kremer, L. R. Dharani, F. S. Ji, N. D. Kaiser // J. of Materials Science. – 1999. –Vol. 34. –P. 5746-5756.

А.В. СОЛОНА

Дніпровський державний технічний університет

## ПОБУДОВА ДВОМІРНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ КОВШОВОГО ВАКУУМУВАННЯ З ПРОДУВКОЮ ІНЕРТНИМ ГАЗОМ

Важливою задачею розвитку промисловості України є ресурсозбереження при виробництві сталі, а також підвищення якості металопродукції та забезпечення її конкурентоспроможності на світовому ринку. В наш час при виплавці сталі застосовуються різні варіанти її обробки. Великого розповсюдження одержали різноманітні способи вакуумування, найбільш розповсюдженим серед яких є спосіб ковшового вакуумування. Нез'ясованим залишається ряд питань, зокрема виявлення факторів і визначення закономірностей їх впливу на ефективність процесів видалення вуглецю, дегазації, визначення раціональних режимів продувки розплаву в зазначених процесах при вакуумуванні сталі та ін..

Серед робіт в цьому напрямку відмітимо [1], де була представлена модель нестисливого середовища на випадок несоленоїдальності.

В роботі досліджується вплив інтенсивності продувки інертним газом на ефективність видалення газових включень. Метою дослідження є побудова математичної моделі процесів гідродинаміки газорідного середовища в металевій ванні при ковшовому вакуумуванні для дослідження впливу інтенсивності продувки інертним газом на ефективність видалення газових включень.

В роботі приведено математичну модель гідродинаміки газорідного середовища в металевій ванні при ковшовому вакуумуванні. Досліджено вплив інтенсивності продувки інертним газом на ефективність видалення газових включень.

Моделюванням показано, що при великій інтенсивності продувки інертний газ залишається у значній концентрації в середині розплаву, адже створювані доволі сильні потоки не дозволяють бульбашкам газу вільно покидати розплав. Аргон заноситься вглиб розплаву, що зменшує дегазаційний ефект вакуумування.

Зниження тиску в системі суттєво впливає на розвиток процесів, що протікають з утворенням газової фази, зокрема процесу окислення вуглецю. Окислення вуглецю в вакуумі відбувається в результаті його взаємодії з розчиненим в сталі киснем. Продувка нейтральним газом підвищує розкислювальну здатність вуглецю в вакуумі, полегшуючи умови виділення вуглецю введенням в метал готових газових бульбашок. Згідно з експериментальними даними продування металу аргоном дозволяє помітно знизити тиск, при якому спостерігається його вплив на ступінь розкислення.

**Висновки.** Результати роботи можуть використовуватися для корегування інтенсивності подачі аргону при продуванні металу, що дозволить зменшити витрати інертного газу, покращити якість продукції та зменшити час вакуумної обробки, що приведе до зменшення капітальних витрат на матеріали та енергоносії. Математична модель може бути використана при подальших дослідженнях процесів плавлення і розчинення добавок в вакуумі, особливостей теплового стану металеві ванни та для порівняння результатів для процесів, що протікають при нормальному атмосферному тиску і у вакуумі.

1. Самохвалов С.Е. Метод расщепления по физическим факторам для несоленоидального движения газожидкостных сред /С.Е. Самохвалов // Инженерно-физический журнал. — 1998. — Т.71, №3. — С. 454—459.

А.В. СОХАЦЬКИЙ, Є.В. МАЛЕНКО, В.А. СОХАЦЬКИЙ  
Університет митної справи та фінансів

## ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РУХУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Сучасний високошвидкісний магнітолевітуючий транспортний засіб представляє собою сукупність пружних тіл змінної маси, що рухаються в середовищі зі змінними властивостями. Дослідження динамічних властивостей такої системи є надзвичайно складною проблемою, тому її заміняють механічною моделлю з відповідними спрощеннями. За звичай така модель уявляє собою кероване тверде тіло сталої маси, що має шість ступенів свободи. На нього діють аеродинамічні, гравітаційні, електромагнітні та інші сили. Під впливом цих сил транспортний засіб виконує складний рух, що описується системою диференціальних рівнянь в інерціальній системі координат.

Для дослідження його динаміки руху, необхідно розв'язати не тільки вказані диференціальні рівняння, але й знайти величини діючих аеродинамічних, гравітаційних електромагнітних та інших навантажень на елементи транспортного засобу.

В загальному випадку сама задача динаміки руху магнітолевітуючого транспортного засобу є надзвичайно складною і може бути досліджена найбільш повно тільки шляхом математичного моделювання з використанням високопродуктивних ЕОМ. Але і цей підхід натикається на істотні проблеми. Це обумовлено нелінійним характером досліджуваних рівнянь, неоднозначними та багатofункціональними залежностями параметрів руху, впливом передісторії руху і т.п. У зв'язку з цим доцільно розглянути математичну модель динаміки руху магнітолевітуючого транспортного засобу в рамках розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху магнітолевітуючих транспортних засобів. Схема математичного моделювання цієї задачі зображена на рис. 1.



Рис. 1. Схема моделювання зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані для розробки нових транспортних засобів, що працюють на нетрадиційних фізичних принципах. Моделювання динаміки руху шляхом розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху з використанням скорегованих математичних моделей з застосуванням сингулярних інтегральних рівнянь для визначення аеродинамічних навантажень та аналітичних залежностей для розрахунку електромагнітних сил.

С.В. ТАРАСОВ<sup>1</sup>, Д.А. РЕДЧИЦ<sup>1</sup>, А.С. ТАРАСОВ<sup>1</sup>, С.В. МОЙСЕЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут транспортних систем і технологій НАН України

<sup>2</sup>Херсонський національний технічний університет

## АЭРОДИНАМИКА J-ПРОФИЛЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА ПРИ КРУГОВОЙ ПРОДУВКЕ

За последнее десятилетие большое распространение получили вертикально-осевые (ВО) ветроэнергетические установки (ВЭУ). В их конструкциях используются хорошо известные роторы Савониуса, Дарье и их комбинации. Ротор Савониуса работает за счет силы лобового сопротивления в отличие от ротора Дарье, использующего действие подъемной силы.

Дальнейший прогресс в совершенствовании ВО ВЭУ может быть связан с внедрением аэродинамических профилей нового типа. Новая форма профиля, так называемый J-профиль, получается, если у стандартного профиля вырезать часть несущей поверхности. Предполагается, что данная форма профиля позволяет работать лопасти ротора Дарье, как за счет подъемной силы, так и за счет силы лобового сопротивления. Применение J-профиля лопасти может повысить эффективность работы ВЭУ в целом, избежать возникновения «мертвых зон» и снизить минимальную скорость ветра необходимую ротору Дарье для самозапуска и работы.

В сравнении с классическими, сверхкритическими и многоэлементными профилями J-профиль представляет собой новое семейство профилей, аэродинамические свойства которого фактически не изучены.

В настоящее время отсутствуют результаты численного моделирования этого класса течений. Имеются отдельные разрозненные данные по применению J-профиля в качестве лопасти в экспериментальных ВО ВЭУ. Однако это скорее эвристический подход, чем продуманная техническая конструкция.

Целью настоящей работы является систематическое исследование аэродинамики J-профиля ротора Дарье на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса несжимаемой жидкости. Рассматривается турбулентное обтекание данного профиля для произвольного угла атаки (круговая продувка).

Для моделирования турбулентности используется два подхода. Первый, основанный на моделировании на базе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS), с использованием дифференциальной однопараметрической модели Spalart-Allmaras, адаптированной к тензору скоростей деформаций (SALSA), а второй – гибридный подход, основанный на моделировании отсоединенных вихрей с задержкой (DDES).

Результаты вычислительных экспериментов для нулевого угла атаки показали, что подход, основанный на моделировании крупных вихрей с задержкой (DDES), лучше воспроизводит нестационарные физические особенности, возникающие при обтекании J-профиля. Во внутренней полости J-профиля формируется каскад вихрей, которые взаимодействуют между собой и вихрями, сходящими с острой кромки. Образуется нестационарная отрывная область, из которой периодически выбрасываются вихревые структуры в область основного течения.

Существенные нестационарные явления наблюдаются при больших углах атаки профиля, хотя применяемые подходы дают несколько разную численную реконструкцию структуры потока. Так использование модели SALSА приводит к массивному отрыву с формированием в верхней части профиля одного крупного вихря, сопоставимого по размерам с хордой профиля. Наличие массивных вихрей в подветренной области профиля связано со слабым восстановлением давления в этой области, что дает завышенные значения коэффициента лобового сопротивления. В то же время применение DDES подхода приводит к формированию несколько меньшей зоны отрыва с серией мелких вихрей большей интенсивности. Такая картина обтекания представляется более реалистичной, обеспечивает лучшее согласование с экспериментальными данными.

Л.А. ФИЛЬШТИНСКИЙ, Т.С.СУШКО, А.А. ЕРЕМЕНКО  
Сумский государственный университет

### ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ КОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ В МАГНИТОЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

Магнитоэластичные материалы, как функциональные материалы, вызывают особый интерес в областях инженерии, таких как зонды магнитного поля, гидрофоны, медицинское ультразвуковое изображение, приводы, волноводы, датчики, фазовые инверторы, преобразователи. В процессе обработки и использования, из-за такого недостатка как хрупкость и низкая вязкость разрушения, возникают дефекты в виде трещин и отверстий, что приводит к сокращению срока эксплуатации. Поэтому возникает необходимость в разработке математического аппарата для решения граничных задач механики разрушения таких материалов.

В декартовых осях  $Ox_1x_2$  рассматривается пластина, ограниченная достаточно гладким замкнутым контуром  $\Gamma_0$ , содержащим трещины  $\Gamma_m$  ( $m = \overline{1, M}$ ). Предполагается, что трещины размещены случайным образом и их конфигурации тоже имеют случайный характер, но  $\Gamma_m$  - ляпуновские дуги и  $\bigcap \Gamma_m = \emptyset$ . Считается, что на берегах  $\Gamma_m$  действует распирающее нормальное давление  $p_m$ . На внешнем контуре  $\Gamma_0$  задается достаточно гладкие распределения электрического  $\varphi^E$  или магнитного  $\varphi^H$  потенциалов и компоненты вектора механического напряжения  $X_{1n}$ ,  $X_{2n}$  (рис.1).

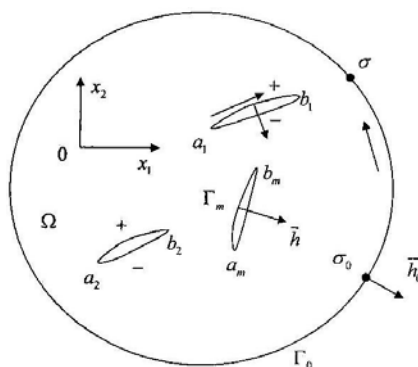


Рис. 1. Область, занимаемая пластиной с трещинами

При решении краевой задачи используется формализм развитый одним из авторов [1]. Задача сведена к смешанной системе алгебраических и сингулярных интегральных уравнений, однозначная разрешимость которых фиксируется дополнительными условиями.

В работе построен эффективный аналитико-численный алгоритм, который позволяет определить поведение физических полей в каждой точке конечной пластины, а также определить наиболее важные характеристики теории разрушения.

Исследованы эффекты связанности магнитоэластичных полей, граничные эффекты, которые возникают в окрестности границ пластины и коэффициенты интенсивности полевых величин. Результаты проанализированы на основе энергетического критерия разрушения.

**Выводы.** Коэффициенты интенсивности и, как результат, плотность поверхностной энергии в вершинах трещин существенно зависят от материала пластины, а также на характеристики разрушения влияют и геометрические параметры, в частности, расстояние от вершины трещины до контура пластины.

1. Л.А.Фильштинский, Упругое равновесие плоской анизотропной среды, ослабленной произвольными криволинейными трещинами. Придельный переход к изотропной среде. – Изв. АН СССР: Мех.тв.тела, 1976, №5, с.91-97.

А. Н. ХОМЧЕНКО<sup>1</sup> И.А. АСТИОНЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Черноморский национальный университет имени Петра Могилы

<sup>2</sup>Херсонский национальный технический университет

### СЕРЕНДИПОВЫ ПОВЕРХНОСТИ ПЯТОГО ПОРЯДКА

Об элементах серендипова семейства известно уже 50 лет. Статья Эргатудиса, Айронса и Зенкевича зарегистрирована в редколлегии журнала [1] в феврале 1967 г. Тогда серендиповы элементы называли изопараметрическими. В теории и практике серендиповых аппроксимаций до сих пор сохраняется убеждение о необходимости внутренних узлов на элементах высших порядков. В нашей работе мы попытаемся обойтись без внутренних узлов, чтобы обеспечить безоговорочную принадлежность элемента пятого порядка (Quintic) к серендипову семейству. Напомним, что одно из определений звучит так: серендипов элемент – это лагранжев элемент без внутренних узлов.

Цель работы – сконструировать на 20-узловом квадратном элементе полиномиальный базис из 20-ти функций влияния (функций формы). Это типичная задача восстановления поверхности  $f(x,y)$  по известным 20-ти аппликатам в регулярно расположенных граничных узлах интерполяции.

На рис. 1 показан элемент Quintic и соответствующая схема Паскаля.

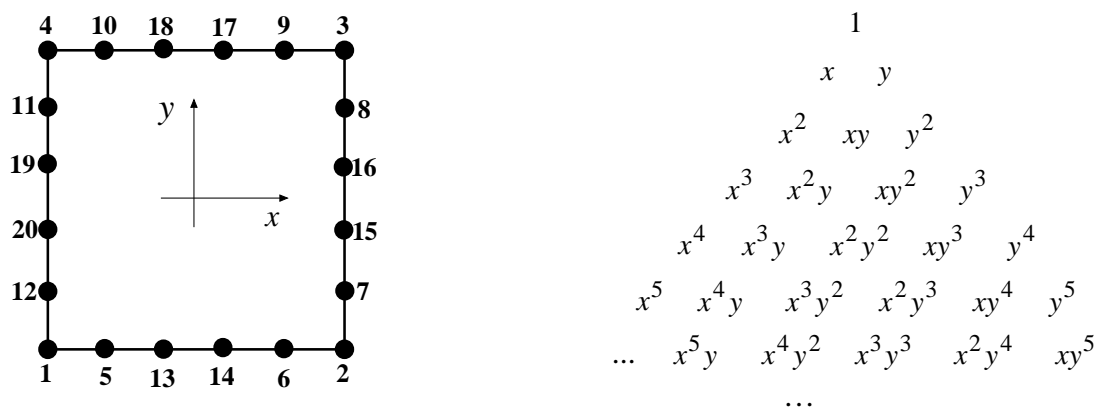


Рис. 1. Конечный элемент Quintic и схема Паскаля

Узлы интерполяции расположены равномерно на границе квадрата:  $|x| \leq 1, |y| \leq 1$ .

Наш подход скорее геометрический, нежели алгебраический. Анализ уже известных моделей серендиповых элементов показывает, что основную часть стандартных серендиповых поверхностей составляют коноиды – линейчатые поверхности с одной осью. Эти коноиды ассоциируются с промежуточными узлами носителя. Например, базис второго порядка (Quadratic) наполовину состоит из коноидов. В базисе третьего порядка (Cubic) из 12 поверхностей уже 8 коноидов. По аналогии можно ожидать, что на элементе пятого порядка (рис. 1) 16 поверхностей из 20-ти – коноиды. Именно такой базис приведен ниже. Сейчас, когда появилось множество нестандартных серендиповых элементов, мы предлагаем еще одно определение стандартного серендипова элемента. Серендипов элемент будем называть стандартным, если все его «промежуточные» поверхности – коноиды, а «угловая» поверхность линейно комбинируется из соответствующих коноидов и фрагмента гиперболического параболоида (Linear element). Коэффициенты линейной комбинации подбираются с учетом требований интерполяционной гипотезы Лагранжа. В нашем случае эти требования имеют вид:

$$N_i(x_k, y_k) = \begin{cases} 1, & i = k, \\ 0, & i \neq k; \end{cases} \quad \sum_{i=1}^{20} N_i(x, y) = 1,$$

где  $i$  – номер функции формы элемента,  $k$  – номер узла. Чтобы составить полное представление о базисе элемента Quintic, достаточно привести уравнения поверхностей  $N_1(x, y)$ ,  $N_5(x, y)$  и  $N_{13}(x, y)$ :

$$N_1(x, y) = \frac{1}{1536} (1-x)(1-y) (384 - 125(1-x^2)(3+5x^2) - 125(1-y^2)(3+5y^2)),$$

аналогично  $N_i(x, y)$  для  $i = 2, 3, 4$ ;

$$N_5(x, y) = \frac{25}{1536} (1-x^2)(25x^2-1)(3-5x)(1-y),$$

аналогично  $N_i(x, y)$  для  $i = 6, 7, \dots, 12$ ;

$$N_{13}(x, y) = \frac{25}{768} (1-x^2)(9-25x^2)(1-5x)(1-y),$$

аналогично  $N_i(x, y)$  для  $i = 14, \dots, 20$ .

Визуализация поверхностей  $N_1(x, y)$ ,  $N_5(x, y)$  и  $N_{13}(x, y)$  приведена на рисунке 2.

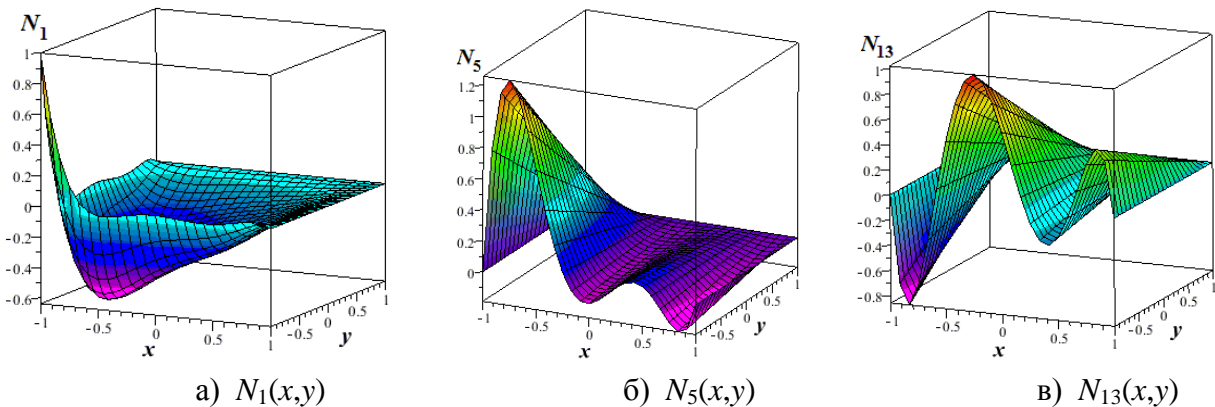


Рис. 2. Визуализация поверхностей базисных функций конечного элемента Quintic

Как и следовало ожидать, очередной стандартный серендипов элемент имеет физически неадекватный спектр узловых нагрузок от единичной массовой силы. Для



«угловой» функции  $p_1 = -\frac{53}{288}$ , для «промежуточных»:  $p_5 = \frac{25}{192}$  и  $p_{13} = \frac{25}{288}$ . На эту особенность обратил внимание О. Зенкевич еще в 1971 г. [2]. Он назвал такой спектр противоестественным. Возможно, это так с точки зрения специалиста по строительной механике. А с точки зрения математики это вполне естественный спектр.

**Выводы.** Впервые получен серендипов стандартный базис на элементе пятого порядка. Нематричный подход основан на геометрических особенностях стандартных серендиповых поверхностей, которые, как было доказано, конструируются из коноидов и гиперболических параболоидов. Представляет интерес алгебраическое решение задачи восстановления функций на конечном элементе Quintic. Это позволит исследовать влияние внутренних узлов на формообразование поверхностей высших порядков.

1. Ergatoudis I. Curved isoparametric “quadrilateral” elements for finite element analysis / I. Ergatoudis, B. M. Irons, O. C. Zienkiewich // Int. J. Solids Struct. – № 4/ – 1968. – P. 31–34.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 541 с.

А. Н. ХОМЧЕНКО<sup>1</sup> О.І ЛИТВИНЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<sup>2</sup> Херсонський національний технічний університет

### КОНСТРУЮЮВАННЯ СІМПСОНОВИХ ТІЛ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕНДИПОВИХ ПОВЕРХОНЬ

Серендипові поверхні – це фінітні поліноміальні функції двох аргументів. Кожна функція  $N_i(x, y)$  асоціюється з розрахунковим вузлом «i» на границі скінченного елемента-носія. У класичній задачі відновлення функції  $f(x, y)$  за відомими вузловими аплікатами  $f_i$  функції  $N_i(x, y)$  називають базисними (функціями впливу), а в методі скінченних елементів (МСЕ) – це функції форми. Задача локалізації у вузлах навантаження на скінченному елементі (СЕ) від одиничної масової сили передбачає обчислення об’єму тіла, що міститься між серендиповою поверхнею і площиною носія. Об’єм зазвичай обчислюють подвійним інтегруванням  $N_i(x, y)$ . Ми спробували обчислювати об’єм наближено за правилом Сімпсона і виявили, що в багатьох випадках можна отримати точне значення. Такі тіла називають сімпсоновими [1].

Нагадаємо, як виглядає правило Сімпсона на інтервалі  $[a, b]$ :

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b-a}{6} (f(a) + 4f(c) + f(b)), \text{ де } c = \frac{1}{2}(b+a). \quad (1)$$

Якщо  $f(x) = S(x)$  – площа поперечного перерізу тіла, що міститься між опорними площинами  $x = a$  та  $x = b$ , то за формулою (1) обчислюють об’єм тіла.

Мета роботи – довести, що сімпсонові тіла можна конструювати із серендипових поверхонь. Здається, що з цього боку серендипові поліноми ще не розглядалися. В роботі розглядаються СЕ від першого до п’ятого порядку включно. Зауважимо, що на відміну від прихильників матричного аналізу, ми побудували базис (і не один) елемента п’ятого порядку без використання внутрішніх вузлів. На елементі четвертого порядку це було зроблено раніше [2]. Треба підкреслити, що тестування правилом Сімпсона витримують як стандартні серендипові поверхні [3], так і альтернативні [4-5].

На рис. 1 зображені серендипові елементи, що розглядаються в роботі.

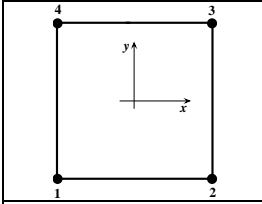
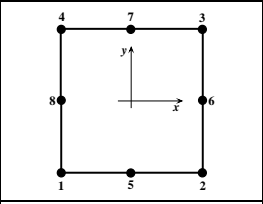
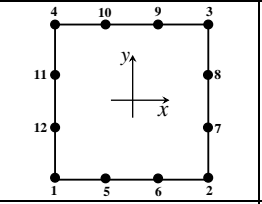
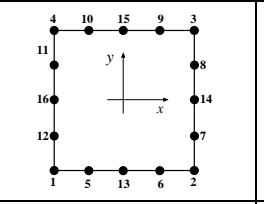
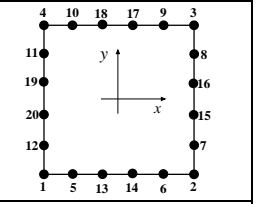
				
Linear element	Quadratic element	Cubic element	Quartic element	Quintic element

Рис. 1. Серендипові скінченні елементи

Підготовлений читач зверне увагу на відсутність внутрішніх вузлів на SE Quartic і Quintic. Вважається, що без внутрішніх вузлів неможливо побудувати базис на елементах четвертого і п'ятого порядків. Це негативний наслідок метода оберненої матриці, який багато років панує в МСЕ. Але, якщо скористатися будь-яким нематричним методом, можна обмежитись тільки граничними вузлами. Саме так ми сконструювали базисні функції (серендипові поверхні) SE четвертого і п'ятого порядків. Базисні функції, незалежно від порядку SE, повинні задовольняти наступним умовам інтерполяційної гіпотези:

$$N_i(x_k, y_k) = \begin{cases} 1, & i = k, \\ 0, & i \neq k, \end{cases} \quad \sum_{i=1}^M N_i(x, y) = 1, \quad (2)$$

де  $i$  – номер функції,  $k$  – номер вузла,  $M$  – кількість вузлів SE. Порядок SE на одиницю менший кількості вузлів на стороні квадрата (рис. 1).

Щоб скористатися формулою Сімпсона, важливо правильно обрати паралельні опорні площини. Виявляється, що для тіл, утворених серендиповими поверхнями, кращий вибір  $x = \pm 1$  або  $y = \pm 1$ . Це суттєво спрощує обчислення, особливо на SE вищих порядків. На цих елементах виникає необхідність розв'язувати задачу на найменше та найбільше значення функції  $N_i(x, y)$ , щоб визначити опорні площини  $z = a$  і  $z = b$ . При цьому область в «середньому» перерезі  $z = c$  може мати складну конфігурацію в залежності від рельєфу поверхні. У всіх випадках ми користуємося опорними площинами  $y = \pm 1$ , а на SE вищих порядків не розглядаємо «кутові» поверхні  $N_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , щоб не порушувати умови теореми Сімпсона.

Порівняння результатів подвійного інтегрування  $N_i(x, y)$  та наближеної оцінки інтеграла за Сімпсоном почнемо з SE 1-го порядку (Linear element). Поверхня має вигляд [1,3]:

$$N_i(x, y) = \frac{1}{4}(1 + x_i x)(1 + y_i y), \quad i = 2, 3, 4.$$

Подвійний інтеграл на всі випадки має вигляд:

$$I = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 N_i(x, y) dx dy. \quad (3)$$

Результат (3) ми порівняємо з оцінкою Сімпсона (1), де використовується три площі паралельних перерізів. Відповідна формула має вигляд:

$$I = 2 \left( \frac{1}{6} S_{-1} + \frac{4}{6} S_0 + \frac{1}{6} S_1 \right), \quad (4)$$

де  $S_{-1} = S(x, -1)$ ,  $S_0 = S(x, 0)$ ,  $S_1 = S(x, 1)$  - площі у відповідних перерізах. Вузли розподілені по периметру квадрата рівномірно, тому достатньо протестувати лише ті поверхні  $N_i(x, y)$ , які асоціюються зі стороною  $y = -1$ ,  $-1 \leq x \leq 1$ . Для моделі 1-го порядку – це  $N_1(x, y)$ , для моделей другого і третього порядків – це  $N_5(x, y)$ , для моделей четвертого і п'ятого порядків –  $N_5(x, y)$  і  $N_{13}(x, y)$ . Для лінійної моделі формули (3) і (4) дають однакові результати: об'єм тіла  $V = 1$  куб.од. Це означає, що тіло, яке утворене поверхнею  $N_i(x, y)$  і квадратним носієм, є сімпсоновим.

Аналогічну процедуру можна виконати і на елементах вищих порядків. Існує безліч серендипових поверхонь, які утворюють клиноподібні сімпсонові тіла. Це означає, що в задачах повузлової локалізації навантаження від одиничної масової сили замість формули Ньютона-Котеса можна використовувати наближену формулу Сімпсона. Отримані результати суттєво поповнюють модельний ряд сімпсонових тіл.

1. Кукуш О. Г. Призматод та його об'єм / О. Г. Кукуш, Р. П. Ушаков // У світі математики. — Том 8. — Вип. 2.— К.: ТВІМС, 2012. — С. 46–50.

2. Астіоненко І.О. Інтерполяційна процедура Тейлора для побудови базисів серендипових скінченних елементів: модифікація / І.О. Астіоненко, О.І. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Матер. міжн. конф. “Інтел. системи прийняття рішень і пробл. обч. інтелекту”.— Т.1.— Херсон: ХНТУ, 2009.—С. 9-12.

3. Akin J. E. Finite Element Analysis with Error estimators / J. E. Akin. — Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2005. —477 p.

4. Хомченко А. Н. Некоторые вероятностные аспекты МКЭ / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франк. ин-т, 1982. — 9 с. — Деп. В ВИНТИ 18.02.82, № 1213.

5. Астіоненко И. А. Обратные задачи серендиповых аппроксимаций /И.А.Астіоненко, Е.И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского нац. техн. университета. — Вып. 2(35). — Херсон: ХНТУ, 2009. — С. 36-42.

И.В. ХУДЯКОВ<sup>1</sup>, А.В. РУДАКОВА<sup>2</sup>, Н.К. КЛЕВЦОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Херсонская государственная морская академия

<sup>2</sup>Херсонский национальный технический университет

<sup>3</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИНАМИКИ СУДНА В ХОДОВЫХ РЕЖИМАХ

Основная задача анализа *динамики судна* - изучение движения судна под действием приложенных к нему внешних сил и моментов. Движение судна характеризуется мореходными качествами, такими как мореходность (способность судна противостоять воздействию морского волнения с колебаниями возможно меньшей частоты и амплитуды), управляемость (способность судна удерживать заданное направление движение или изменять его в соответствии с желанием судоводителя) и ходкость (способность судна перемещаться с заданной скоростью под действием энергии его пропульсивного комплекса, преодолевая сопротивление среды - воды и воздуха). При разработке или модернизации систем управления пропульсивным комплексом при движении судна необходимо учитывать действие внешних факторов неопределенного характера, оказывающих влияние на технико-эксплуатационные характеристики судна [1]. Целью исследований является получение аналитических зависимостей, позволяющих учитывать влияние внешних условий на основные показатели работы пропульсивного комплекса и анализировать динамику судна в ходовых режимах.

Взаимодействие элементов пропульсивного комплекса (главный двигатель – гребной винт – корпус судна) на всех эксплуатационных режимах может быть рассмотрено и проанализировано путем совместного решения дифференциальных уравнений равновесия сил, действующих на корпус судна, и моментов сил, действующих на гребные винты [2, 3]. Однако необходимо учитывать наличие влияния на работу пропульсивного комплекса текущего технического состояния элементов пропульсивного комплекса и значительного числа эксплуатационных факторов неопределенного заранее характера [2]: реальная загрузка судна (масса судна, посадка); гидрометеорологические условия плавания (ветер и волнение); влияние мелководья и ширины фарватера в речных условиях плавания и в каналах; скорость течения воды (против хода судна или попутное).

Для возможности проведения экспериментов с использованием компьютерного моделирования были получены аналитические зависимости упора винта от скорости судна с учетом штормовой погоды, относительной мощности дизеля от температуры и влажности окружающей среды.

**Выводы.** Полученные регрессионные модели влияния внешних факторов на работу пропульсивного комплекса позволяют имитировать изменение условий эксплуатации судна. Это позволяет проводить анализ динамики судна в ходовых режимах путем компьютерного моделирования с учетом изменения внешних условий при разработке и оценивании эффективности систем управления движением судна.

1. Обеспечение надежности судовых дизелей на эксплуатационных и особых режимах работы / М.А. Малиновский, А.А. Фока, В.И. Ролинский, Ю.З. Вахрамеев. – Одесса: ФЕНИКС, 2003. -150 с.

2. Суворов П.С. Динамика дизеля в судовом пропульсивном комплексе. / П.С. Суворов. – Одесса: ОНМА, 2004. – 304 с.

3. Ланчуковский В.И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок. Учебник./ В.И. Ланчуковский, А.В. Кузьминых. – М.: Транспорт, 1983. – 320с.

С. В. ЧОПОРОВ  
Запорожский национальный университет

## **СГЛАЖИВАНИЕ СЕТОК ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОЙ МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛА**

В процессе конечно-элементного исследования инженерных объектов возникает проблема построения адекватных дискретных моделей областей. Как правило, к дискретным моделям предъявляются определенные требования: (в общем случае) границы объекта должны быть аппроксимированы гранями и ребрами элементов заданной формы, не должно быть слишком больших и слишком маленьких элементов, форма элементов должна быть как можно ближе к правильной и т. п. Удовлетворение таким требованием в процессе генерации дискретной модели геометрического объекта является достаточно трудной задачей, поэтому в качестве завершающих этапов на практике используют различные процедуры сглаживания.

Под процедурой сглаживания понимается алгоритм выбора новых координат узлов. Такие алгоритмы, чаще всего, явно или неявно решают задачу оптимизации одной или нескольких геометрических характеристик конечных элементов. Например, обеспечения равенства длин ребер или площадей, максимизации минимального угла и т. д. Алгоритмы сглаживания разделяют на глобальные и локальные. Глобальные алгоритмы решают задачу

оптимизации положений одновременно всех узлов, а локальные – одного или нескольких узлов, требуя многократного итерационного применения ко всем узлам.

В задачах исследования напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек весьма распространено использование четырехугольных конечных элементов. При генерации сеток таких элементов для геометрических объектов, границы которых аппроксимируются невыпуклыми многоугольниками, могут возникать вырожденные четырехугольники (один из углов больше или равен  $180^\circ$ ). Таким образом, целью исследования является разработка подхода к сглаживанию сеток четырехугольных элементов, гарантирующего отсутствие вырожденных элементов.

В работе предлагается подход к локальному сглаживанию, основанный на минимизации функции вида

$$L(v) = \sum_{q_j \in \text{Adj}(v)} \left( e^{-t\alpha(v_1(q_j), v_2(q_j), v_4(q_j))} + e^{-t\alpha(v_2(q_j), v_3(q_j), v_1(q_j))} + e^{-t\alpha(v_3(q_j), v_4(q_j), v_2(q_j))} + e^{-t\alpha(v_4(q_j), v_1(q_j), v_3(q_j))} \right),$$

где  $\text{Adj}(v)$  – множество четырехугольников, смежных в узле  $v$ ;  $t$  – это действительное положительное число, используемое для масштабирования;  $v_p(q_j) = v_{i,j,p}$ ,  $p = \overline{1,4}$  – функция нахождения радиус-вектора  $p$ -й вершины четырехугольника;  $\alpha(a, b, c) = (b-a) \times (c-a)$  – удвоенная площадь треугольника  $abc$ , положительный знак которой соответствует порядку обхода вершин против часовой стрелки.

**Выводы.** Таким образом, основным научным результатом является новый подход к локальному сглаживанию дискретных моделей, позволяющий устранить невыпуклые элементы. Такой подход показывает качество дискретных моделей, сравнительное с глобальной оптимизацией положений узлов, но при этом, требует значительно меньших вычислительных ресурсов. Также его относительно не сложно обобщить для трехмерного случая.

И.В. ЩЕРБИНА<sup>1</sup>, О.В. БЕЛОВА<sup>1</sup>, Т.С. КАГАДИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная металлургическая академия Украины

<sup>2</sup>Национальный горный университет

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВОЗМУЩЕНИЙ К КОНТАКТНЫМ ЗАДАЧАМ ДЛЯ ТЕЛ С ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

В механике деформируемого твердого тела получение аналитических решений в контактных задачах для анизотропных тел конечных размеров является наиболее сложной и, зачастую, невыполнимой задачей. Поэтому, предварительный асимптотический анализ позволяет не только спрогнозировать, смоделировать результат, но и получить приближенное решение, которое в малой окрестности особых точек, практически, не отличается от точного.

В работе рассматривается задача об упругой ортотропной прямоугольной пластине, закрепленной по вертикальным краям  $y = \pm b$ , две остальные  $x = 0$ ,  $x = h$  остаются свободными. В середине свободных краев вдоль оси  $Ox$  пластина усилена стрингером,

который при  $x = 0$  нагружен продольной силой  $P_0$ . Предполагается, что стрингер подвержен действию некоторой нагрузки, пропорциональной его смещению, с коэффициентом пропорциональности  $k$ . Представленная задача решается асимптотическим методом Маневича-Павленко, основанном на применении малых параметров, характеризующих анизотропию.

Получены законы изменения усилия в стрингере (рис.1) и контактное усилие взаимодействия между стрингером и пластиной (рис.2). Рассмотрены частные случаи.

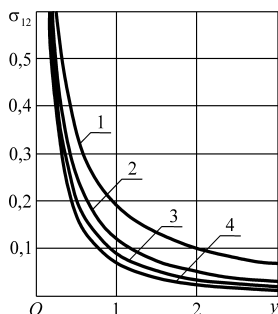


Рис.1. Распределение касательного напряжения при  $x = 0$

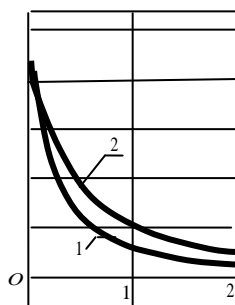


Рис. 2. Изменение усилий в стержне

**Выводы.** Асимптотический анализ является естественным математическим аппаратом, который дает возможность построить обоснованные приближенные уравнения и оценить области применимости различных гипотез. Это открывает новые перспективы при исследовании многих практически важных задач, возникающих в современной технике, которые до сих пор не нашли эффективного решения. Применение метода возмущений в данной работе при решении задачи о передаче нагрузки телам конечных размеров позволило перейти от сложной смешанной краевой задачи механики к последовательному решению задач теории потенциала, которая сейчас является одной из наиболее изученных областей математической физики. Проведенный асимптотический анализ может быть использован для оценки НДС конструкций с усилениями, накладками, штампами и др.

1. Маневич Л. И.. Асимптотический метод в микромеханике композиционных материалов / Л. И.. Маневич, А. В Павленко. – Киев: Вища школа, 1991. – 131 с.

2. Маневич Л. И. Асимптотические методы в теории упругости ортотропного тела / Л. И. Маневич, А. В. Павленко, С. Г. Коблик. – К., Донецк: Вища школа, 1982. – 152 с

ЭФЕНДИЕВ Г.Д., РУСТАМОВ Я.И., ТАЛЫБОВА Н.Г.  
Институт Системы Управления Национальной Академии Наук Азербайджана

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМУЛЫ БАЙЕСА  
EİF-KETPL-2-2015-1(25)-56/13/1-M-28**

Формула Байеса все более широкое применяется в теории и практике, активно используются в самых различных областях знаний, где требуется принять наилучший из нескольких вариантов решения, оценить степень риска или шансов на успех. Байесовскому подходу при прогнозировании явлений посвящены большое количество научных и образовательных статей [1, 3, 4, 7]. Оценки эффективности прогностических моделей, с точки зрения повышения точности и усовершенствования моделей имеет большое значение. В данной статье рассматривается оценка эффективности таких моделей, применяемых в

ирригационных системах и в медицине.

В работе проведен теоретический анализ оценки эффективности прогностических моделей, рассмотрены такие показатели, как чувствительность, специфичность, безошибочность, ошибки первого рода (ложно отрицательные ответы), ошибки второго рода (ложноположительные ответы), критерий точности [5, 6].

Для оценки эффективности составлена таблица оправдываемости (табл. 1).

Таблица 1.

Таблица оправдываемости альтернативных прогнозов

Результат наблюдения	Прогноз явления		Всего
	ождается	не ожидается	
Наблюдается	a	b	a+b
Не наблюдается	c	d	c+d
Всего	a+c	b+d	a+b+c+d

Здесь:

a – число случаев оправдавшихся прогнозов наличия явления (ожидаемое явление фактически наблюдалось);

b – число случаев неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления (не ожидаемое явление фактически наблюдалось);

c – число случаев неоправдавшихся прогнозов наличия явления (ожидаемое явление фактически не наблюдалось);

d – число случаев оправдавшихся прогнозов отсутствия явления (не ожидаемое явление фактически не наблюдалось).

По данным таблицы 1 вычисляются показатели эффективности.

Рассмотрены примеры оценки эффективности прогностических моделей прогностических моделей с применением формулы Байеса в ирригационных системах и в медицине

**Выводы.** Результаты работы могут быть использованы для оценки эффективности прогностических моделей с целью усовершенствования и повышения уровня эффективности прогностических моделей.

1. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л: Медицина 1978; 296 с.

2. Обухов А.М. К вопросу об оценке успешности альтернативных прогнозов // «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1955, № 4, с. 339-349

3. Эфендиев Г.Д., Халилзаде Р.С., Гасанов Р.С.. Анализ факторов, влияющих на исходы хирургического лечения геморрагических инсультов // Аз. Мед. Жур., Баку, 2003, №4, с. 71-74

4. Шаров В.Д. Применение байесовского подхода для уточнения вероятностей событий в автоматизированной системе прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий. // Жур. Управление большими системами: сборник трудов, № 43, 2013, с. 240-253

5. Юнкеров В.И., Григорьев С.Г. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. СПб.: ВМедА, 2002, 266 с.

6. Хандожко Л.А. Экономическая эффективность метеорологических прогнозов: науч.-мет. пос. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 129 с.

7. Rustamov Y.I., Afandiyev G.J. Constructing forecasting model of no-failure operation of pump stations // Springer, 2016, pp. 1053-1059

**СЕКЦІЯ:**  
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ**  
**ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ. ПРОГНОЗУВАННЯ**  
**ТА ЗАПОБІГАННЯ ТЕХНОГЕННИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ**  
**КАТАСТРОФ. ЕЛЕКТРОНІКА І ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ІНЖЕНЕРНІ**  
**НАУКИ. ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ.**



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ МИКРОПРОЦЕССОРА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Для обеспечения управления сложными технологическими процессами в современных информационно-управляющих системах (ИУС) микропроцессорная система, как правило, должна работать в режиме реального времени, то есть выполнять большое количество различных операций с разными темпами их выполнения. При этом необходимо решать очень сложную задачу оптимального распределения времени занятости микропроцессора (МП) в разных режимах работы с учетом быстродействия МП. Такая задача, как правило, будет многоэкстремальной. Суть ее решения заключается в создании алгоритма выбора оптимального варианта работы МП в режиме реального времени, иными словами, необходимо выбрать наиболее оптимальный вариант из числа возможных вариантов. В работе рассмотрены два способа решения задачи оптимальной загрузки микроконтроллера в режиме реального времени: графический метод последовательного выбора вариантов работы микропроцессора с несколькими темпами и классический метод на основании выбора методом Гаусса-Зейделя оптимального значения квадратичной формулы из ряда ее экстремальных значений.

Анализ теоретических положений показывает, что как графический, так и классический методы оптимизации имеют свои положительные и отрицательные стороны выбора оптимального режима работы МП. Графический метод является трудоемким. Использование этого метода не всегда позволяет найти наиболее оптимальный режим работы МП. Но при этом этот метод целесообразно применять в условиях, когда имеется небольшое количество различных темпов работы МП. Классический метод позволяет автоматизировать процесс решения задачи с помощью информационных технологий, но при этом может иметь место недостаточная точность выбора оптимального режима работы МП, то есть могут иметь место нежелательные разногласия режимов ее работы. Поэтому использование этого метода предусматривает необходимость определения области его применения с учетом специфики технических свойств информационно-управляющей системы и технологического процесса управления.

**Выводы.** Результаты исследования показывают, что как графический, так и классический методы имеют свои положительные и отрицательные стороны выбора оптимального режима работы МП. При этом графический метод является трудоемким и не всегда позволяет найти наиболее оптимальный режим работы МП. А классический метод позволяет автоматизировать процесс решения задачи, но при этом может иметь место недостаточная точность выбора оптимального режима работы МП, то есть могут иметь место нежелательные несовпадения режимов работы.

1. Гуров В.В. Микропроцессорные системы: учебник / Гуров В.В. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 336 с.

2. Пат. 94250 UA, МПК G07F 19/00, G06F 17/00, B64D 47/00 (2014/01). Спосіб розрахунку методом ешелонування / Синеглазов В.М., Аль-Амморі Алі, Соченко П.С., Кеменяш Ю.М., Кульбака А.В., Калмикова Л.М., Власюк І.І.; заявник Національний авіаційний університет. – № 201404054; заявл. 16.04.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21, 2014 р.

3. Корн Г., Справочник по математике (для научных работников и инженеров). / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1977. - 832 с.

4. Демидович Б. П. Основы вычислительной математики. / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М.: Наука, 1970.- 664 с.

5. Ефимов. Н.В. Квадратичная форма и матрицы. / Ефимов Н.В. - М.: Наука, 1972. – 160 с.

А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ<sup>1</sup>, Н.Н. КРЮКОВ<sup>2</sup>, В.К. ФУРМАН<sup>3</sup>, И.В. СМИРНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный экономико-технологический университет транспорта

<sup>2</sup>Киевская государственная академия водного транспорта им. Петра Конашевича-Сагайдачного

<sup>3</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игрия Сикорского»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ В ПОТОКЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ (ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)**

При нанесении защитных покрытий широкое применение получил методы плазменного напыления композиционных материалов. Перспективными для этих целей являются металлокерамические плакированные порошки в виде керамического ядра с металлической оболочкой. Сложность моделирования процессов напыления плакированных порошков заключается в корректной постановке математической модели и выборе граничных условий в соответствии с особенностями плазменного потока.

Рассмотрим задачу определения температуры плакированной частицы в зависимости от времени пребывания её в потоке низкотемпературной плазмы. Предполагается, что частица имеет сферическую форму и температура окружающей среды одинакова на поверхности, но переменна во времени. В этом случае температура в каждой точке зависит только от её расстояния до центра. Получаем одномерную задачу определения температуры в двухкомпонентном теле при условии идеального контакта между слоями и конвективного теплообмена с окружающей средой.

При некоторых допущениях относительно температуры оболочки данная задача сведена к краевой задаче для уравнения теплопроводности определения температуры ядра. Получено решение при условии, что температура плазмы есть кубический полином. Но поскольку изменение температуры плазмы вдоль всей дистанции напыления невозможно аппроксимировать кубическими полиномами, нами было проведено разбиение дистанции напыления на участки и согласование температуры плазмы от времени пребывания в ней частицы. Для аппроксимации были использованы эрмитовы кубические сплайны, являющиеся непрерывно дифференцируемыми функциями.

При достижении поверхностью частицы температуры плавления оболочки начинается процесс изменения её агрегатного состояния. Если считать распределение температур в плавящемся слое стационарным, задача сводится к решению уравнения теплового баланса на границе плавления. Решая данное уравнение в предположении, что на границе плавления потоки тепла из жидкости и нерасплавленной части постоянны, мы определили время плавления металлической оболочки:

На третьей стадии, разогрева ядра до температуры плавления, сделано предположение о постоянстве его температуры в момент завершения плавления оболочки, и мы возвращаемся к решению той же краевой задачи, что и на первой. Заметим, что данное предположение тем достовернее, чем больше толщина оболочки, а, следовательно, и время её плавления.

Приведены также формулы для определения времени плавления керамического ядра.

Качество покрытия существенно снижается, если частица попадает на него в затвердевающем состоянии. Поэтому этапы затвердевания оболочки и ядра не рассматривались.

В результате применения кубических сплайнов для аппроксимации температуры плазмы в процессе напыления керамических частиц с металлической оболочкой были уточнены результаты определения температуры частицы в зависимости от времени её пребывания в потоке и толщины оболочки. Достоинством данного подхода, повышающим уровень адекватности модели, является непрерывность аппроксимирующей функции.

Л.Г. АХМЕТШИНА, А.А. ЕГОРОВ  
Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

## УЛУЧШЕНИЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ НЕЧЕТКОЙ ГИПЕРБОЛИЗАЦИИ ГИСТОГРАММЫ

Повышение качества изображений является сложной и многоплановой задачей. Ее сложность заключается в разнообразии целей обработки, характеристик исходных изображений, а также в отсутствии универсальных критериев оценки качества полученных результатов [1]. Улучшение качества нередко предполагает повышение контраста, которое может усложняться неоднородностью яркостных характеристик снимка, шумом и другими факторами. Т.к. существующие методы повышения контраста не универсальны, то актуальной задачей является разработка новых (модификация существующих) алгоритмов.

В настоящее время для повышения контраста изображений используются различные методы, среди них особого внимания заслуживают гистограммные и нечеткие алгоритмы. Первые интересны высокой скоростью работы, а вторые – адаптивностью. Особый интерес представляет объединение этих двух подходов в рамках одного алгоритма, примером чего может служить метод нечеткой гиперболизации гистограмм, описанный в работе [2].

В данной статье предлагается алгоритм улучшения слабоконтрастных изображений на основе адаптивной нечеткой гиперболизации гистограммы, который благодаря использованию статистических характеристик окна преобразования и всего изображения в целом позволяет обеспечить более высокий уровень повышения контраста и яркости.

Предлагаемый алгоритм формирует значения функции принадлежности для неперекрывающихся окон изображения, отмасштабированного на [0,1], по формуле:

$$\mu_{x,y} = (w_{x,y} - w'_{\min}) / (w'_{\max} - w'_{\min}) \quad (1)$$

и получает пиксели окна выходного изображения на основе отношения:

$$w^1_{x,y} = \left( (1 - 1/256) \cdot (w_{x,y})^{1 - (w_{x,y} + \bar{w})/2} \right) \cdot \left( e^{(-\mu_{x,y})^\beta} - w_{x,y} \right) / \left( e^{-w_{x,y}} - w_{x,y} \right), \quad (2)$$

для которых выполняется повышение яркости на основе степенных преобразований.

В результате экспериментальной проверки при обработке томограммы головного мозга (рис. 1 а) предложенный метод (рис. 1 в) лучше выделил объекты интереса и структуру снимка, чем исходный алгоритм (рис. 1 б), не требуя ручного подбора параметра  $\beta$

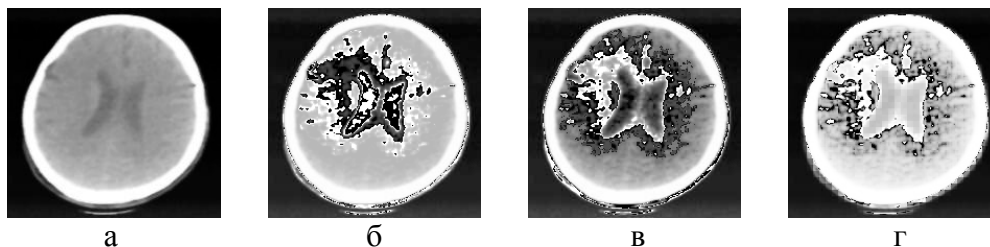


Рис. 1. Повышение контраста: а – исходное изображение (204x201); исходным методом: б –  $\beta = 0.9$ , в –  $\beta = 1.1$ ; предложенным методом с размером окна 6x6 пикселей

**Выводы.** Предложенный метод позволяет достичь более высокой степени повышения контраста по сравнению с исходным алгоритмом, обеспечивая автоматический адаптивный расчет параметра  $\beta$ . При работе с темными изображениями предложенный метод не обеспечивает необходимый для визуального анализа уровень яркости.

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.

2. Tizhoosh Hamid R., Fochem Manfred Fuzzy Histogram Hyperbolization for Image Enhancement / Hamid R. Tizhoosh, Manfred Fochem // Proc. Of EUFIT'95. – 1995 – vol. 3. – P. 1695 – 1698

S.A. BABICHEV<sup>1</sup>, I.A. LURIE<sup>2</sup>, M.A. VORONENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jan Evangelista Purkině University in Ústí nad Labem, Czech Republic

<sup>2</sup>Kherson National Technical Univesity, Ukraine

### MODEL OF GENE EXPRESSION SEQUENCES FILTRATION BASED ON COMPLEX USE OF WAVELET ANALYSIS AND JAMES-STEIN SHRINKAGE SHANNON ENTROPY ESTIMATOR

Creation of the models of gene regulatory networks based on the gene expression sequences, which are obtained by DNA microchip experiments or by RNA sequencing methods is one of the actual direction of modern bioinformatics. Accuracy of the obtained model work is determined by the quality of the experimental data preprocessing, one of the steps of which is the filtration of the gene expression sequences, which are obtained by DNA microchip experiments. Gene expression sequence is a vector the components of which are the expressions of genes, which determine the character of functioning of the appropriate cells of biological organism.

The paper presents the technique of gene expression sequence wavelet filtration, where the estimation of the data processing quality is performed based on Shannon entropy criterion using James-Stein shrinkage estimator. The structural block diagram of the wavelet filtration process using James-Stein shrinkage Shannon entropy estimator is presented in Fig. 1.

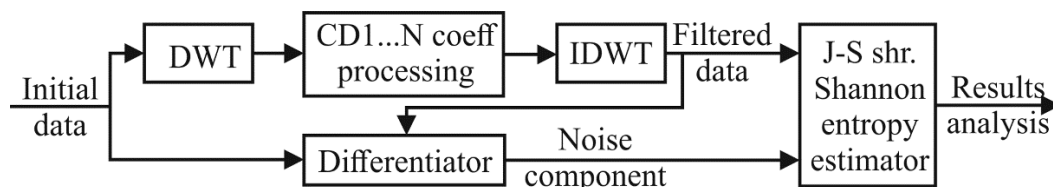


Fig. 1. Block diagram of the model to process the gene expression sequence using James-Stein shrinkage Shannon entropy estimator

The family of Daubechies wavelet was used during simulation process. The use of James-Stein shrinkage estimator to calculate Shannon entropy is determined by complex character of this method. James-Stein shrinkage estimator takes into account two very diferent models: a high-

dimensional model with low bias and high variance and low-dimensional model with larger bias and lower variance. This fact allows us to obtain higher objectivity during estimation of the data processing quality.

The wavelet filtering process of the gene expression sequence includes three stages. The first stage involves the level of wavelet decomposition determination. At the second step the choice of Daubechi wavelet type was performed. In these cases the solution is made based on the maximum Shannon entropy value for the removed noise component. The third stage involves the thresholding coefficient value determination based on the minimum Shannon entropy value for the filtered data. Determination of the thresholding coefficient value was carried out in two ways. The first way involves step by step removing of the noise component using low constant value of the thresholding coefficient. Estimation of Shannon entropy of the filtered data is performed at each step of the filtering process. The duration of the filtering process is limited by quantity of the noise removing steps. The second way involves step by step increase of the thresholding coefficient value from  $\tau_{\min}$  to  $\tau_{\max}$  with step  $d\tau$ . The results of the simulation showed that the step by step increase of the thresholding coefficient value with little step of its change is more effective in comparison with step by step removing of the noise component with constant value of the thresholding coefficient. Moreover, an optimal in terms of Shannon entropy criterion is the gene expression processing using wavelet db5 for two level of the wavelet decomposition and thresholding coefficient value 1,8.

The perspective of the autor's research is the creation of the complex technology of the gene expression sequences preprocessing, where the data filtering will be one of the stages of the studied data processing.

I.V. БАКЛАН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

## МАТЕМАТИЧНІ ПОСТАНОВКИ КРОКІВ ПОБУДОВИ ЛІНГВІСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Система аналізу індивідуальної манери користування Веб-сервісом призначена для дослідження можливості автентифікації користувача за траєкторією руху курсору «мишки».

Головною метою системи аналізу індивідуальної манери користування Веб-сервісом є збільшення надійності процесу автентифікації користувача за допомогою використання біометричної автентифікації на основі траєкторій руху курсору «мишки» користувача даного Веб-сервісу

Для досягнення поставленої мети має бути вирішена задача знаходження лінгвістичного образу траєкторій руху курсору «мишки» користувача, що включає в собі:

- а) обчислення різницевих рядів вихідної траєкторії руху курсору «мишки»;
- б) вибір критерію інтервалізації різницевих рядів;
- в) інтервалізація певного різницевого ряду згідно обраного критерію;
- г) знаходження лінгвістичного ланцюжка для певного різницевого ряду;
- д) знаходження матриці переходів для кожної можливої пари символів у лінгвістичному ланцюжку певного різницевого ряду.

Вхідними даними для даної задачі є траєкторія руху курсору «мишки» користувача, що являє собою множину пар координат:

- вектор координат по осі абсцис;
- вектор координат по осі ординат.

Вихідними даними для цієї задачі є лінгвістичний образ користувача, що являє собою:

- множину інтервалів, отриману в результаті інтервалізації різницевого ряду певного порядку від ряду вхідних координат по одній з осі(абсцис чи ординат);
- матрицю переходів, побудовану на множині інтервалів(описаній вище) та по ряду вхідних координат по одній з осі(абсцис чи ординат).

Вказаний лінгвістичний образ будується окремо для осі ординат та для осі абсцис, а також окремо для різницевих рядів, вхідного ряду координат, різних порядків [1-3]. Таким чином отримуємо множину лінгвістичних образів, що і є кінцевим результатом задачі для певного користувача.

Автентифікація користувача за траєкторією руху курсору «мишки» може здійснюватися різними способами, як було продемонстровано в огляді наявних аналогів [4-7]. В даній роботі буде розглядатися підхід лінгвістичного моделювання для побудови лінгвістичного образу користування «мишкою» певним користувачем Веб-сервісу.

**Висновки.** В даній доповіді була сформульована змістовна та математична постановки задачі знаходження лінгвістичних образів траєкторій руху курсору «мишки». Було введено поняття лінгвістичного моделювання та поетапно описано спосіб застосування даного підходу для розв'язання поставленої задачі. Також, для більш повного розгляду задачі, були введені додаткові підзадачі, описані їх математичні постановки та наведені приклади їх виконання.

1. Баклан І. В. Аналіз поведінки економічних часових рядів з використанням структурних підходів. Сборник МКММ-2006. — Херсон: ХГТУ, 2006.
2. Баклан І. В. Структурний підхід до розпізнавання образів у системах безпеки. Національна безпека України: стан, кризові явища та шляхи їх подолання. Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 7-8 грудня 2005 р.). Збірка наукових праць. — К.: Національна академія управління — Центр перспективних соціальних досліджень, 2005. — С.375-380.
3. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти. Систем. технології. — 2011. — № 3. — С. 10-19
4. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с
5. Нарасимхан Р. Лингвистический подход к распознаванию образов. Автоматический анализ сложных изображений. — М.: Мир, 1969.
6. Дуда Р., Харт П., Распознавание образов и анализ сцен. — М.: Мир, 1976.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений: учебник. — М.: Экзамен, 2006. — 573 с.

І.В. БАКЛАН<sup>1</sup>, Є.А.НЕДАШКІВСЬКИЙ<sup>1</sup>, О.А.МОРОЗОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПОБУДОВИ ЛІНГВІСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ З РІЗНОМАНІТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

У роботі досліджується новий підхід для представлення часових рядів, застосування лінгвістичного моделювання для задачі прогнозування часових рядів.

Завданням лінгвістичного моделювання є перетворення часових рядів, експериментальних даних до лінгвістичних послідовностей та відновлення за ними формальної граматики мови. В основі лінгвістичного моделювання лежить лема існування ізоморфізму відтворення чисельних даних до лінгвістичних послідовностей, на основі яких може бути побудована мова. Як висновок існування унікальної мови, яка фактично уособлюється наборами чисельних даних.

Побудова лінгвістичних моделей в тому числі включає застосування інтервального підходу для розбиття множини значень числового ряду та подальшої побудови відображення

множини. Для переходу від множини чисельних даних до символічного вигляду потрібно розбити цю множину на чисельні інтервали. Розбиття відбувається таким чином, щоб кількість елементів різницевого ряду початкового ряду в кожен інтервал потрапляла у відповідності до певного розподілу, тобто частота попадання елементів до інтервалу дорівнювала теоретичній імовірності. Розглядаються такі типи інтервалізації, як рівнозначні інтервали, логарифмічні інтервали, рівноймовірнісні інтервали, інтервали за певним розподілом (Пуасона, нормальним, бета-розподілом).

Завданням лінгвістичного моделювання є перетворення часових рядів, експериментальних даних до лінгвістичних послідовностей та відновлення за ними формальної граматики мови. Це дозволяє вирішувати такі проблеми, як: прогнозування часових рядів, розпізнання образів [1]. Лінгвістичне моделювання – комплекс методів, методик та алгоритмів, які використовують процес перетворення числових масивів інформації до лінгвістичних послідовностей, на основі яких відновлюється формальна граMATика [2]. Цей тип моделювання треба розглядати як специфічний вид математичного моделювання для обробки даних у символічному (не чисельному вигляді) [3]. Лінгвістичне моделювання базується на трьох основних підходах: структурний підхід та математична лінгвістика, інтервальні обчислення та робастні методи, сучасні методи імовірнісного моделювання. [4, 5] Одним з методів прогнозу є структурний (синтаксичний) підхід. Він базується на деяких принципах розпізнавання образів, яка складається з трьох основних частин – блока попередньої обробки, блока опису об'єкта, блока синтаксичного аналізу [6]. Кожний попередньо опрацьований об'єкт сегментується на складові частини об'єкта на підставі наперед визначених операцій та операцій об'єднання. В свою чергу кожна складова частина об'єкту ідентифікується за допомогою заданого набору зразків. Тепер кожний об'єкт подається набором зразків із визначеними синтаксичними операціями, тобто правил їх поєднання [7].

**Висновки.** В даній доповіді було викладений аналіз проведеного ряду експериментів над часовими рядами з різними параметрами алгоритму. Було виявлено оптимальні параметри. Також експерименти показали, що алгоритм досить стабільно виконує оперативний прогноз значень ряду на 3-4 кроки вперед та прогноз зміни тренду на 4-5 кроків вперед. Було проаналізовано швидкодію алгоритму та виявлено, що алгоритм працює за лінійний час та має доволі низький час виконання - приблизно 60 мілісекунд для вхідного ряду у 200 пар символів, що у 7,5 разів швидше за алгоритм авторегресії другого порядку з ковзним середнім першого порядку від фірми Extreme Optimization. Ці результати доводять, що алгоритм є ефективним для виконання оперативних прогнозів.

1. Vaseghi, Saeed V. Advanced digital signal processing and noise reduction. – 3ed. – Chichester, 2006.
2. Fraser A. M. Hidden Markov models and dynamic systems / Fraser Andrew M. – Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. 2008.
3. Баклан І. В. Лингвистическое моделирование: основы, методы, некоторые прикладные аспекты //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (74). –Днепропетровск, 2011. – с.10 – 19.
4. Fu K. S., Syntactic Methods in Pattern Recognition, Academic Press, 1974.
5. Fu K. S., Syntactic Pattern Recognition and Application. – N.J.: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs., 1982. – 596 p.
6. Елинек Ф., 1976. Распознавание непрерывной речи статическими методами. М.: ТИИЭР 64, №4, с.131-160.
7. Баклан І.В. Структурний підхід до розпізнання образів у системах безпеки / Баклан І.В., Селін Ю.М., Петренко О.О. // Національна безпека України ж стан, кризові явища та шляхи їх подолання. Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 7-8 грудня

І.В. БЕЛІНСЬКИЙ, В.А. ЛЕМЕШКО  
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

## ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДИНАМІКИ ГРАНІТНОГО СТРИЖНЯ ВІД СИЛИ ТЕРТЯ

Реальне середовище здебільшого складається з окремих блоків, тріщини між якими заповнені матеріалами, фізико-механічні властивості яких значно відрізняються від аналогічних властивостей блоків. При динамічному навантаженні таких геосередовищ окремі блоки переміщуються відносно інших блоків, контактуючи безпосередньо з ними, або через прошарки інших матеріалів. При таких переміщеннях виникають сили тертя, що, в свою чергу, впливає на дисипацію енергії збурень.

Отже, метою експерименту є дослідження кінематичних параметрів руху окремих блоків гірських порід (логарифмічного декременту згасання ( $\delta$ ), добротності ( $Q$ ) та коефіцієнта тертя ( $f$ )) в залежності від сил тертя між ними.

Експериментальне дослідження здійснювалось на гранітному стрижні розміром  $499 \times 57 \times 69$  мм<sup>3</sup>, який розташовувався на гранітних блоках, піску фракцією  $0,25 \div 0,50$  мм та сталевих катках діаметром 5 мм. Крім цього, для збільшення сил тертя між гранітним стрижнем та вказаними середовищами він навантажувался статичною силою ( $P$ ), яка дорівнювала  $mg$ ,  $2mg$ ,  $3mg$ , де  $m$  – маса стрижня. Динамічне навантаження гранітного стрижня здійснювалось солітоном, який формувався в ланцюгу 5 куль діаметром 41,25 мм зі швидкістю 0,3 м/с [1].

Збурення в гранітному стрижні фіксувалось акселерометром фірми В&К №4384, який був приклеєний епоксидною смолою на поверхні, протилежній від удару. Там же розташовувався пристрій для вимірювання сил тертя (див.рис.1). Сигнал від акселерометра подавався на швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач NI-5102, який дозволяв фіксувати збурення з дискретизацією по часу 1 мкс по 200000 точках. Такі часові параметри дискретизації та кількість точок реєстрації були необхідні, щоб точно відтворити особисті коливання гранітного стрижня при повному часі реєстрації до 50 мс.

### Висновки

1. Період особистих коливань гранітного стрижня не залежить від сил його тертя з іншими середовищами.
2. Коефіцієнт тертя гранітного стрижня не залежить від статичного навантаження і становить 0,2; 0,168 та 0,0233 відповідно при його взаємодії з гранітними блоками, піском та сталевими катками.
3. Логарифмічний декремент згасання власних коливань гранітного стрижня лінійно залежить від сили тертя.
4. Добротність гранітного стрижня описується степеневими емпіричними залежностями від сил тертя.

1. В.А. Даниленко, І.В. Белінський, Д.Б. Венгрович, В.В. Гржибовський, В.А. Лемешко. Особливості хвильових процесів у геофізичному середовищі при врахуванні їх структури //Доповіді НАН України, 1996, №12, С.124-129.



## УЗАГАЛЬНЕННЯ СТАТИКО-ГЕОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ

Останнім часом значна увага приділяється дискретному геометричному моделюванню криволінійних поверхонь у дизайні та архітектурі. В процесі архітектурного проектування виникає питання управління формою дискретно-представлених поверхонь оболонок покриття. Враховуючи те, що формоутворюючими чинниками подібних поверхонь виступають не геометричні, а фізичні властивості, в процесі сучасного математичного моделювання вони можуть описуватись диференційними рівняннями з обов'язково заданими початковими або крайовими умовами. Результатом наближеного розв'язання диференційних рівнянь за методом скінчених різниць буде виступати дискретний точковий каркас поверхні, що моделюється.

Моделювання різноманітних криволінійних поверхонь на довільно заданих опорних контурах може відбуватись за допомогою статико-геометричного методу (СГМ), який був розроблений професором С.М.Ковальовим [1], і є наочною інтерпретацією методу скінчених різниць. За цим методом всі вихідні дані подаються в дискретному вигляді і не потребують складання диференційних рівнянь. Координати невідомих вузлів дискретного каркасу поверхні оболонки вираховуються шляхом складання та розв'язання системи рівнянь рівноваги вузлів. СГМ дозволяє розв'язувати найрізноманітніші задачі моделювання та формоутворення дискретних образів під дією зовнішніх формоутворюючих зусиль, які можуть відповідати реальним фізичним явищам.

Всі задачі моделювання дискретних каркасів кривих ліній або поверхонь умовно можна розділити на дві групи. У першу будуть входити задачі, в яких зовнішнє формоутворююче навантаження не залежить від координат вузлів дискретного образу. В цьому випадку, зовнішні зусилля задаються як дискретна функція від номерів вузлів. Прикладом буде слугувати формування дискретного каркаса поверхні безмоментного покриття на заданій в плані правильній сітці, де зовнішні зусилля розподіляються рівномірно між вузлами сітки у плані. В цьому випадку, система рівнянь рівноваги вузлів буде складатись з лінійних рівнянь. Результат розв'язання цієї системи дозволить визначити абсциси, ординати та аплікати всіх вузлів сітки.

У другу будуть входити задачі, в яких зовнішні формоутворюючі зусилля будуть залежати від координат ряду суміжних вузлів дискретного образу, що формується СГМ. Оскільки ці координати є невідомими, то рівняння рівноваги вузлів стають нелінійними і виникає задача розв'язання системи нелінійних рівнянь.

В процесі розв'язання такого типу задач весь час необхідно уточнювати величину та напрямок зовнішнього формоутворюючого навантаження та використовувати методи послідовних наближень. З урахуванням специфіки задач формування дискретних каркасів поверхонь СГМ потрібно розробити відповідні способи метода поступових наближень. В залежності від вихідних даних такі способи можуть не мати збіжності, тому виникає ще одна задача – аналізу збіжності способів, що пропонуються у роботі.

**Висновки.** Подальші дослідження планується проводити у напрямі оптимізації сумарного числа ітерацій у ітераційному процесі. Результати роботи можуть бути використані для розв'язання задач моделювання дискретних каркасів різноманітних безмоментних оболонок під дією функціонально-розподіленого навантаження на вузли сітки, параметри якого залежать від координат вузлів, а також при розробці нових алгоритмів побудови дискретних моделей пневматичних оболонок високого тиску.

1. Ковалёв С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций. Дис...докт. техн. наук. 05.01.01 /М.: МАИ, 1986. -348с.

**МЕТОД БЕЗГРАДІЄНТНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ POWELL'64  
В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ**

Розглянуто можливість застосування методу безградієнтної  $n$ -параметричної мінімізації Powell'64 в задачах моніторингу робочого процесу суднових дизелів. Показаний приклад пошуку глобального мінімуму тестової функції Розенброка. За допомогою методу Powell'64 мінімізуються функціонали МНК в задачах синхронізації і моделювання кривих стиснення-розширення в робочому циліндрі. Показані випадки розрахунку синхронізації даних для малообертових двотактних і середньообертових чотиритактних суднових дизелів. Задача синхронізації вирішується на базі рівняння  $P' = 0$ , складеного для ділянки від початку стиснення до початку згоряння в циліндрі. Показаний вибір граничних умов моделювання. Перевагою використання методу Powell'64 є його висока ефективність для квадратичних функціоналів. На відміну від градієнтних методів, метод Powell'64 не вимагає розрахунку похідних і є універсальним для мінімізації складних нелінійних функціоналів загального вигляду.

Ключові слова: безградієнтна мінімізація, функція Розенброка, робочий процес дизеля, політропа стиснення, функціонал, МНК.

С.Г. ВІРЧЕНКО<sup>1</sup>, С.Л. ШАМБІНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup>Російський університет дружби народів

**ДИНАМІЧНЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ЛОНЖЕРОНА КРИЛА ЛІТАКА**

Підвищення якості продукції машинобудування завжди залишається актуальною науковою проблемою. У наш час перспективними засобами для її успішного вирішення вважаються інформаційні технології. У багатьох наведених випадках геометричні дані слугують основою для узгодження параметрів і характеристик проєктованих виробів під час їх багатокритеріальної оптимізації. Тому подальше вдосконалення методів, способів, прийомів та алгоритмів автоматизованого формоутворення є важливою науково-прикладною задачею як у теоретичному, так і практичному плані.

У виконаному дослідженні розглянуто деякі аспекти побудови комп'ютерних динамічних геометричних моделей складаних одиниць машинобудування на прикладі лонжерона крила літака з використанням методології структурно-параметричного формоутворення. Запропоновано комплексний інтегрований підхід відображення технологічного процесу, що включає як суто складальні операції (установлення деталей), так і супутнє їх механічне оброблення, зокрема, різанням (свердління та зенкування отворів) і тиском (клепання), див. рис. 1, де мають місце наступні позначення елементів лонжерона: СТ – стінка; ПС<sub>1</sub> і ПС<sub>2</sub> – пояс верхній і нижній; Зк<sub>j</sub> – заклепки.

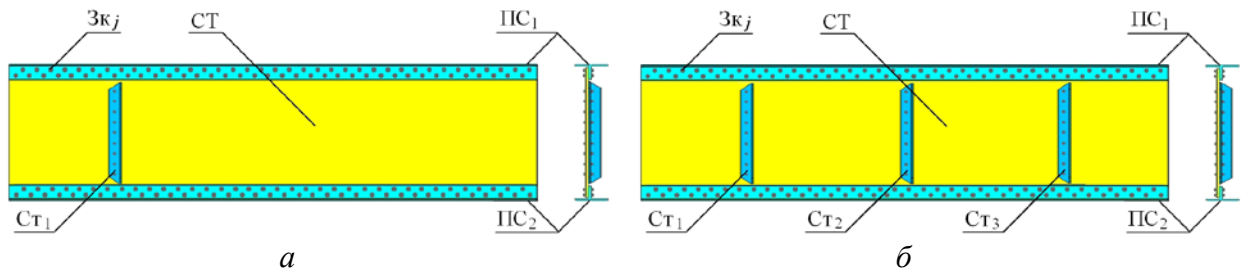


Рис. 1. Виконання технологічних операцій установлення, свердління, зенкування і клепаання куткових стояків: *a* – перший стояк СТ<sub>1</sub>; *б* – остаточний вид лонжерона центральної частини крила

Подана в роботі методика сприяє підвищенню якості продукції машинобудування за рахунок більш досконалого її автоматизованого проектування. Новими особливостями запропонованих динамічних структурно-параметричних геометричних моделей є присутність у них параметрів, що пов'язані з переміщенням елементів (траєкторії руху, швидкості, прискорення тощо) та їх деформуванням (швидкості різання, подачі інструмента і т. п.). Конкретні значення останніх суттєво залежать від використовуваних конструктивних матеріалів, наявного технологічного обладнання та інших факторів і є предметом вивчення відповідних спеціальних дисциплін, таких як оброблення різанням, тиском і т. д.

**Висновки.** Наведений у даній праці підхід відповідає сучасним вимогам до комп'ютерних засобів із боку проектувальників технічної продукції та є одним із перспективних напрямків удосконалення методології структурно-параметричного геометричного моделювання, запропонованої науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Окреслені в дослідженні задачі можуть бути поширені й на інші галузі народного господарства, зокрема, будівництво, енергетику, хімічну, нафтопереробну, металургійну промисловість тощо та потребують свого подальшого поглибленого опрацювання і впровадження безпосередньо у практику.

С.А.ВОЦЕЛКА<sup>1</sup>, С.А.РОЖКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Херсонский государственный аграрный университет

<sup>2</sup>Херсонская государственная морская академия

## МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ИРРИГАЦИОННОГО КАНАЛА

В работе выполнен анализ различных подходов и методов для постановок задач по идентификации коэффициента шероховатости и путевого отбора по данным натурных измерений уровня свободной поверхности или глубины и расхода неустановившегося потока [1 - 4], а также совместное решение этих двух задач [5]. Задача идентификации решается заменой маршевой (эволюционной) координаты время  $t$ , при этом решение уравнения выполняют в частных производных в незамкнутой области при заданных граничных и начальных условиях. Выбрав в качестве маршевой координаты пространственную переменную  $x$  и выделив частные производные глубины потока  $h$  и расхода  $Q$  по координате  $x$ , получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} = -B \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + q \\ \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{gS \cdot (I_0 - I_f) - \frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \cdot B \cdot \frac{\partial h}{\partial t}}{(gS - Bv^2)} \end{cases}$$

Предложенный алгоритм был проверен путем постановки численного эксперимента на модельном канале с морфометрическими и гидравлическими характеристиками, подобными первому бьефу Головного Каховского магистрального канала [2]. В качестве возмущений выбирались синусоидально-изменяющаяся и ступенчато-изменяющаяся нагрузки в пределах  $0,29 \dots 300 \text{ м}^3/\text{с}$ . Параметрическая идентификация выполнялась в диапазонах изменения коэффициента шероховатости  $0,015 < n < 0,03$  и коэффициента полезного действия  $0,50 < \text{КПД} < 1,0$ , что соответствовало диапазону изменений путевого отбора  $0,039 > q > 0 \text{ (м}^2/\text{с)}$ .

**Выводы.** Предложенный новый метод идентификации параметров ирригационного канала с использованием решения обратной задачи динамики по пространственной координате впервые позволил выполнить оценку коэффициента шероховатости канала, путевого отбора и неизмеряемых координат в рамках единой задачи. В качестве модели движения потока воды в ирригационном канале использована полная нелинейная система дифференциальных уравнений гиперболического типа Сен-Венана. Анализ модели позволил свести решение многокритериальной оптимизационной задачи к одному интегральному критерию качества. Проверка метода выполнена на имитационных данных, которые соответствуют реальным значениям объектов идентификации. Реализация метода предполагает полную водомерность граничных створов канала и наличие ретроспективных данных по этим створам, соответствующих реальным значениям объекта идентификации.

1. Атанов Г. А. О задаче идентификации параметров открытых русел / Г. А. Атанов, С. Т. Воронин, В. К. Толстых // Водные ресурсы. – 1986. – № 4. – С. 69–78.
2. Воцелка С.А. Метод восстановления неизмеряемых координат ирригационного канала / С.А. Воцелка, С.А. Рожков // Вісник Херсонського національного технічного університету. – №03(58). – 2016. – С. 331–336.
3. Попов В.М. Ідентифікація параметрів математичних моделей / В. М. Попов, Б. В. Хом'як // Водне господарство України. – 2008. – № 2. – С 21–26.
4. Романов А. В. Обратные задачи математического моделирования неустановившегося движения воды в реках. – М.: Научный мир. 2008. – 184 с.
5. Becker L., Yeh W. W.- G. (1972). Identification of parameters in unsteady open channel flows.– Water Res. Res., v.8, No4, pp. 956 – 965.

В.В. ГНАТУШЕНКО, В.Ю. КАШТАН  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

## КОРЕКЦІЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

Поява нових космічних оптико-електронних комплексів надвисокого просторового розрізнення WorldView-2, WorldView-3, GeoEye-1, що становлять ядро орбітального угруповання дистанційного зондування Землі, забезпечують оперативну геоприв'язку одержуваних ними знімків і здатних виносити лінію візування уздовж, перпендикулярно і поперек траси космічного апарату – кардинально змінило геометрію, спектральну інформацію та інші характеристики космічної зйомки [1].

В роботі досліджуються математичні моделі для різних модифікацій оптико-електронної апаратури, методи фотограмметричного калібрування цифрових камер; методи геометричної та спектральної корекцій знімків. Проведені дослідження показали, що спільною та основною проблемою є поява кольорних спотворень, що знижує точність подальшого розпізнавання та аналізу космічних знімків. Причиною таких спотворень є той

факт, що існуючі алгоритми розроблялися для об'єднання зображень з трьома каналами та є не ефективними для космічних знімків, які мають чотири і більше каналів. Метою дослідження є створення методу геометричної та спектральної корекції аерокосмічних зображень, який враховує специфіку формоутворення багатоспектральних зображень та вибір оптимального вейвлет-дерева.

Розроблений метод складається з:

1. Розкладу відповідного каналу яскравості багато спектрального (БЗС) та панхромного зображень (ПЗ) до шостого рівня декомпозиції пакетного вейвлет-перетворення класу *biort2.2* у відповідності з логарифмічною функцією інформаційної вартості [2].
2. Вибору максимального значення з двох величин, одержаних в п.1.
3. Обчислення логарифмічної функції інформаційної вартості та визначення оптимального вейвлет-дерева на базі БЗС, а вейвлет-дерево ПЗ вирівнюється по отриманому оптимальному дереву та формоутворення нових складових вейвлет-розкладу [2].
4. Зворотнього пакетного вейвлет-розкладу та одержання нового зображення.

Запропонований метод був протестований на супутникових зображеннях Worldview-3. Для кількісного аналізу було проведено обчислення значень показників PSNR. Відповідні результати зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

Кількісні показники	Первинне зображення	Оброблене зображення
PSNR	16,0669	<b>22,5446</b>

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані для підвищення інформативності фотограмметричних зображень, зокрема отриманих БПЛА. Отримані результати свідчать, що запропонований метод адаптований до завдань подальшого розпізнавання об'єктів на аерокосмічних знімках і дозволяє зменшити час обробки даних без втрати точності.

1. Schowengerdt R. (2007). Remote sensing: models and methods for image processing, New York: Academic Press. P.560.
2. Гнатушенко В.В. Інформаційна технологія підвищення інформативності багатоканальних даних на основі пакетних вейвлет-перетворень / В.В Гнатушенко, В.Ю. Каштан // Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". – Луцьк, 2016. – С.77-83.

ВІКТ.В. ГНАТУШЕНКО, І.С. ДМИТРІЄВА  
Національна металургійна академія України

## **РОЗПОДІЛЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВУЗЛАМИ У БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ**

Проектування й реалізація бездротових сенсорних мереж вимагають розв'язання безлічі складних проблем, що відносяться до різних областей досліджень. Однієї з основних проблем є забезпечення високої відмовостійкості й тривалості життя. Це визначається, з одного боку, особливістю їх застосування, а з іншого - високою ймовірністю порушення роботи мережі внаслідок відмов вузлів і каналів зв'язки, що пов'язане як з більшою кількістю вузлів, можливістю зовнішніх несприятливих впливів, так і з обмеженнями в енергоспоживанні вузлами внаслідок обмеженості ресурсу їх джерел живлення. Мережі цього класу становлять великий інтерес із погляду їх застосування в таких важливих

областях, як антитерористична діяльність, військові додатки, автоматизація керування розподіленими об'єктами, виявлення й попередження надзвичайних ситуацій, автоматизація систем життєзабезпечення, контроль і моніторинг транспортних магістралей різної фізичної природи й ін. [1-3]. Конфігурація сенсорної мережі повинна мати можливість видозмінюватися залежно від поточного положення в просторі, можливостей енергоспоживання. Мобільність вузлів, їх відмови, критичні зміни в зовнішньому середовищі вимагають високого ступеня динамічності від сенсорної мережі в цілому. Тому, топологія конкретної сенсорної мережі або її частини може змінюватися багаторазово протягом строку її функціонування. Фрагменти бездротової сенсорної мережі у зв'язку із цим потребують сучасних алгоритмів, які повинні бути працездатними й адекватними до мінливих умов. Сенсорні вузли конструюються так, щоб споживати якнайменше енергії, оскільки вони можуть функціонувати в недружньому зовнішньому середовищі й заміна джерела живлення може бути неможливою. Тому, сенсорний вузол може вийти з ладу як через критичну ситуацію в зовнішньому середовищі, так і внаслідок втрати можливості енергопостачання [4-6].

Існуючі дослідження аналізу часу життя розглядають споживання енергії як основний напрямок забезпечення максимального терміну функціонування мережі. Однак через випадкову природу бездротового середовища, в критично важливих додатках, де потрібна надійна мережа, недостатньо знання тільки середнього споживання енергії і середнього часу життя. Замість середнього споживання енергії і часу життя, необхідно досліджувати їх імовірнісні розподіли. При цьому розподіл споживання енергії і часу життя представляє ймовірність того, що енергія, яка споживається в будь-який даний період, нижче, ніж задане значення, і ймовірність того, що термін служби більше, ніж заданий період. Це дозволяє знайти компроміс між бажаним часом життям і ймовірністю досягнення цього часу.

1. Кучерявый, Е. А. Принципы построения сенсоров и сенсорных сетей [Текст] / Е. А. Кучерявый, С. А. Молчан, В. В. Кондратьев // Электросвязь. – 2006. – № 6. – С. 10-15.

2. Майская, В. Беспроводные сенсорные сети, малые системы – большие баксы [Текст] / В. Майская // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2005. – № 10. – С. 18-22.

3. Nitaigour, P. M. Sensor networks and configuration fundamentals, standards, platforms, and applications [Text] / P. M. Nitaigour. – Springer, 2007. – 510 p.

4. Мочалов, В. А. Алгоритмы оценки надежности структуры сенсорной сети [Текст] / В. А. Мочалов // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 5. – С. 61-66.

5. Hnatushenko, Vikt. The distribution of energy consumption in wireless networks to anycast protocol. Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control – 2016– p. 195-201

6. Vural, S. Probability distribution of multi-hop-distance in one dimensional sensor networks / S.Vural, E. Ekici// Computer Networks. – 2014.– vol.51(13).– p.3727–3749

В.В. ГРИЦИК<sup>1, 2</sup>, А.Я. Дунас<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ РОБОТІВ МАЙБУТНЬОГО**

В останні роки значного розвитку набули технології, що використовують в своїй основі системи штучного інтелекту, зокрема роботизовані системи автоматизації людської діяльності. Особливо актуальною стає потреба у розробці розумного «робозору», тобто

потреба у створенні таких технологій сприйняття машиною – роботом візуального спектру, при яких він би якнайефективніше і найбільш точно розумів навколишнє середовище.

Сегментація зображень – це фундаментальний процес у всіх системах комп’ютерного зору. Найчастіше сегментація використовується для поділу зображення на окремі регіони, що найбільш точно відповідають різним об’єктам реального світу. Це критично важливий крок до аналізу контенту зображень і правильного його трактування[1]. У більшості випадків яскравість пікселів, що промальовують деякий об’єкт на зображенні, значно відрізняється від яскравості пікселів, що промальовують колір фону, на якому розташований об’єкт[2]. Бінаризація зображення – це процес розділення усіх пікселів зображення на дві групи: чорні (для пікселів, що відповідають за розпізнаний об’єкт), і білі (для пікселів, що відповідають за фон)[3]. Використання порогових методів сегментації зображень виступає простим, проте дуже ефективним інструментом для проведення бінаризації. Порогові методи поділяються на різні категорії в залежності від того, на яких математичних апаратах обробки інформації вони ґрунтуються: глобальних порогах, локальних порогах, ентропії, кластеризації, відтінках сірого і гістограмах, попіксельній кореляції. В їх основі лежить проста формула:

$$a_{xy}^{new} = \begin{cases} 0, & \text{if } \frac{r+g+b}{3}(a_{xy}) \leq L \\ 1, & \text{if } \frac{r+g+b}{3}(a_{xy}) > L \end{cases}, \quad (1)$$

де  $a_{xy}^{new}$  – результуюче значення яскравості пікселя (0 – чорний колір, 1 – білий колір);

$a_{xy}$  – вхідне значення яскравості пікселя;

$L(const) \in [0, 255]$  – деякий поріг яскравості;

$r, g, b$  – оригінальні значення червоної, зеленої та синьої складової кольору пікселя  $a_{xy}$ .

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

**Висновки:** результати роботи можуть бути використані для розробки нових систем розпізнавання образів, зокрема для розробки адаптивних систем комп’ютерного зору. Також можливе застосування в області цифрової обробки зображення.

1. Hui Zhang, Jason E.Fritts, Sally A. Goldman, "Image Segmentation Evaluation: A Survey UnsupervisedMethods", 2008.

2. Nir Milstein, "Image Segmentation by Adaptive Thresholding", Spring 1998.

3. Mehmet Sezgin, Bulent Sankur. Journal of Electronic Imaging 13(1), 146–165 (January 2004). – Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation.

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ВИМІРЮВАНЬ І ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ОПТИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

В даний час методи оптичної спектроскопії широко використовуються в медичній практиці з метою діагностики і займають одне з провідних місць поряд з рентгенівськими, акустичними, ядерного магнітного резонансу, радіонуклідними, ендоскопічними та іншими.

Світло видимого та ближнього інфрачервоного (БІЧ) діапазону довжин хвиль є безпечним при малих рівнях щільності випромінювання, людський організм добре адаптований до цього виду випромінювання. Світло цього діапазону довжин хвиль добре проникає в біологічну тканину і, взаємодіючи з різними структурними та динамічними компонентами тканин, несе інформацію про структурні і динамічні зміни, що відбуваються в тканинах при різних захворюваннях. Світло проникає в тканини на глибину кількох сантиметрів, що важливо для просвічування об'ємних людських органів (мозок, молочна залоза і т. ін.). Однак біологічні тканини характеризуються ще досить сильним розсіюванням БІЧ-випромінювання, що заважає отримувати чіткі зображення локальних неоднорідностей, що виникають в тканинах при різних патологіях, таких як утворення пухлин або локальне зростання об'єму крові, обумовлене крововиливом або розростанням мікросудин [1].

При проведенні досліджень важливе значення необхідно приділяти тестуванню обладнання на достовірність отриманих значень, як на початку так і в процесі всього циклу дослідження. В роботі розглянуто основні підходи до побудови інформаційної підсистеми для збору оптичних даних та попередньої обробки результатів вимірювань, діагностування апаратних проблем та візуалізації результатів в режимі реального часу.

Розробка та діагностування інформаційної підсистеми проводилася на базі Інституту біокібернетики і біомедичної інженерії ім. Налеча Польської академії наук, який розробив пристрій дифузної оптичної томографії високої щільності (HD-DOT), здатний до дослідження головного мозку дорослої людини [2].

В якості інструментальних засобів використовувалися: Microsoft Visual Studio та мова програмування C#, система керування базою даних MySQL, .NET Builder для інтеграції підсистеми з пакетом MATLAB при виконанні складних математичних обчислень.

**Висновки.** Розроблена інформаційна підсистема дозволяє (1) записувати дані, що надаються пристроєм HD-DOT, (2) зберігати дані в базі даних і (3) аналізувати якість оптичного сигналу, дифузно-відбитого від тканин людини в режимі реального часу на основі різних геометричних параметрів для різноманітних джерел і сіток детекторів. Якість оптичного сигналу представлено як карти SNR(signal strength map) які включають співвідношення сигнал/шум для комбінацій усіх найближчих і всіх найближчих до найближчих пар-джерел-детекторів. Ці карти наочно демонструють невизначеність, яка пов'язана з поганим оптичним зв'язком світла, що випускається з пучків джерельного світловолокна в тканину, а також світла, вилученого з тканини, у пучки світловолокна детектування. Відображення в режимі реального часу дозволяє виявляти проблеми оптичного сигналу під час фіксації оптичних світловодів на голові. Перспективним є подальше дослідження з інтеграції розробленої підсистеми з потужними системами візуалізації медичних зображень з відкритим кодом, такими як 3D Slicer, NIRFASTSlicer.

1. Tuchin V.V. Handbook of optical biomedical diagnostics / V.V. Tuchin. – Bellingham, Washington. – 2002. – 1093 p.



2. Wojtkiewicz, S. Towards Optical Tomography of an Adult Human Head / S. Wojtkiewicz, P. Sawosz, M. Kacprzak, A. Gerega, K. Bejm, R. Maniewski, A. Liebert, // In *Optical Tomography and Spectroscopy*. – Optical Society of America, 2016. – P. OM4C-2.

А.Н. ДОВБНЯ, А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Н.Г. РЕШЕТНЯК  
Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт»

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ИЗ ОСЕВОГО В РАДИАЛЬНОЕ В СОЛЕНОИДАЛЬНОМ ПОЛЕ ВТОРИЧНОЭМИССИОННОЙ ПУШКИ

В ННЦ ХФТИ был создан ускоритель электронов на основе магнетронной пушки с вторичноэмиссионным катодом. Основное магнитное поле для генерации и транспортировки электронного пучка создается соленоидом, состоящим из 4-х секций. Регулируя ток в катушках можно было изменять амплитуду и продольное распределение магнитного поля вдоль оси пушки. Для локального изменения скорости спада результирующего магнитного поля использовалось рассеянное поле, которое создавалось с помощью постоянного магнита.

Численно проведено изучение динамики движения электронов в суммарном магнитном поле. В работе в качестве результата расчета использовалась итоговая гистограмма распределения частиц по вертикали мишенной стенки, определяемая по выполнении заданного условия – достижение радиальной компонентой траектории частиц заданного значения.

В исследованиях в диапазоне энергий 35...55 кэВ получено, что ток пучка в радиальном и осевом направлениях зависит от амплитуды и распределения магнитного поля вдоль оси системы. На рис. 1 приведены относительные интенсивности потоков частиц, попадающих на цилиндр Фарадея и на стенку мишени, в зависимости от коэффициента вариации  $k$  магнитного поля.

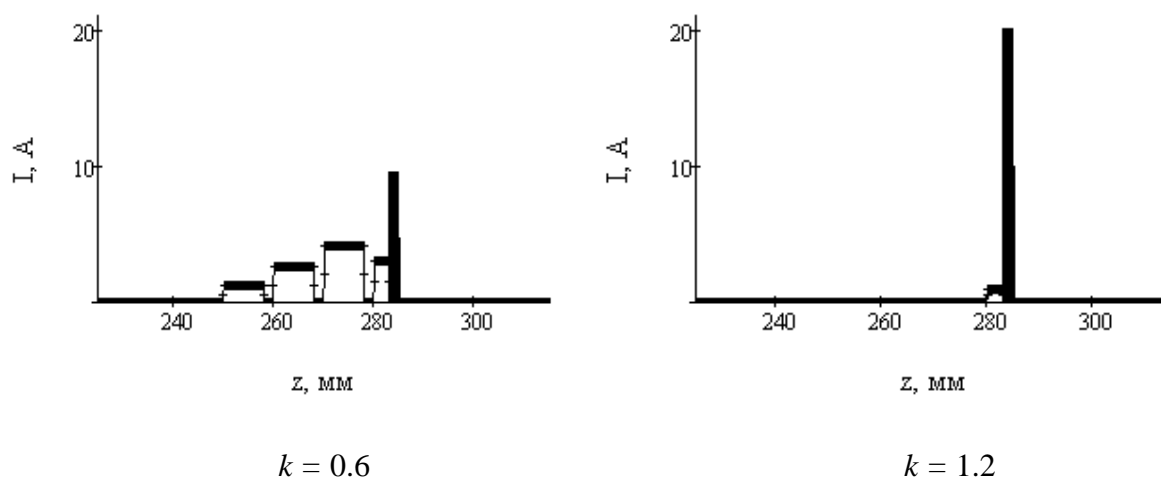


Рис. 1. Распределения токов на ламелях и цилиндре Фарадея, указан коэффициент  $k$  вариации магнитного поля. Черным цветом указано попадание на цилиндр Фарадея

Из проведенных моделирующих расчетов следует, что поток электронов попадает на вертикальный участок, протяженность которого составляет доли миллиметров. Такая концентрация обусловлена спадающим характером магнитного поля соленоида и исходным распределением частиц по радиальной координате. Таким образом, установлено, что возможно устойчивое формирование электронного пучка в радиальном и осевом

направлениях при транспортировке в магнитном поле соленоида. Сопоставление данных эксперимента и численных результатов говорит о достаточно хорошем их соответствии. Также показана возможность регулировки места попадания пучка на вертикальную стенку при вариации амплитуды управляющего магнитного поля.

В.И. ДУБРОВИН<sup>1</sup>, Э.А. ТРОЦЕНКО<sup>2</sup>, С.А. ИКОЛ<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Запорожский национальный технический университет  
<sup>2</sup>ООО «Инфоком ЛТД»

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

При реализации программного обеспечения автономного движения в колонне одним из важнейших модулей является – модель передвижения транспортного средства в пространстве, поскольку на его основе необходимо производить расчеты как в плане управления ведомым автомобилем, так и при отслеживании ведущего автомобиля по видео потоку.

В этой связи в данной работе были рассмотрены существующие подходы к решению задачи моделирования передвижения автомобиля [1,2]. За основу взят линейный плоский одноколейный («велосипедный») подход к моделированию передвижения автомобиля в инерциальной системе координат [3]. Усовершенствована математическая модель передвижения автомобиля Гойя. Усовершенствование состоит в учете вращения автомобиля вокруг своей оси и вокруг начала координат.

Приведен сравнительный анализ точности усовершенствованной математической модели с данными, полученными с датчика GPS. Показатель точности для математической модели составляет меньше 0,9 метров, в то время как для GPS-данных аналогичный показатель составляет 13 метров.

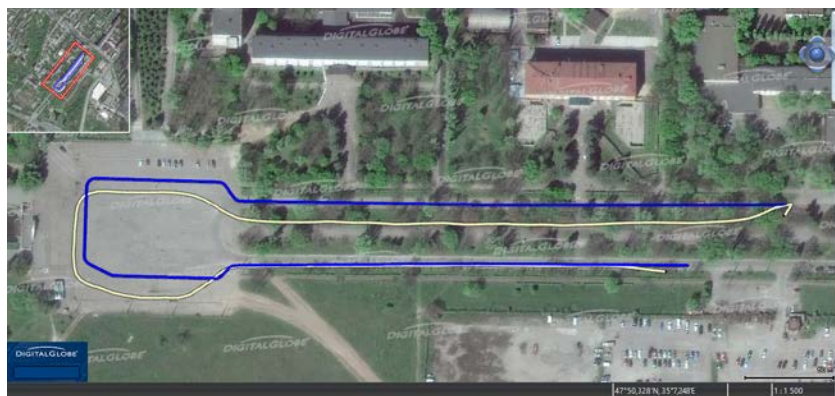


Рис. 1 – Пройденный путь автомобиля (синяя линия – данные, полученные с помощью математической модели; желтая линия – данные, полученные с GPS-датчика)

**Выводы.** На основе результатов экспериментального исследования можно сделать выводы о том, что разработанная математическая модель может использоваться как эмулятор GPS-датчика в режиме «тишины» для автономного передвижения специальной техники. Так и при работе в обычном режиме, данные которые генерируются моделью по радио каналу можно передавать на ведомые автомобили для более точного позиционирования колонны.

1. Rodrigues A.O. Evaluation of an active steering system. Master's degree project. [Электронный ресурс] / Sweden, 2004. 41 p. URL:

[http://www.s3.kth.se/~kallej/grad\\_students/rodriguez\\_orozco\\_thesis04.pdf](http://www.s3.kth.se/~kallej/grad_students/rodriguez_orozco_thesis04.pdf) (дата обращения: 29.06.2017)

2. K. Goi, J. L. Giesbrecht, T. D. Barfoot, and B. A. Francis. Vision-based autonomous convoying with constant time delay. In *Journal of Field Robotics*, volume 27(4), pp. 430-449, 2010.

3. Ходес И.В. Методология прогнозирования управляемости колесной машины: дис. ... докт. техн. наук. 05.05.03. Волгоград. 2006. 377 с.

В.В. ДУМАНСКАЯ, В.С. МАРЧЕНКО  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЛИЯНИЮ ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИЯ ИЗ ФЭМ С ИЗМЕНЕННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ ОСНОВАНИЯ

В последнее время в покрытиях пешеходных дорожек, тротуаров, площадок различного назначения из бетонных фигурных элементов мощения (ФЭМ) наблюдаются различные дефекты, такие, как провалы, разрушение и смещение отдельных элементов и т.п., что вызывает необходимость в преждевременном проведении ремонтных работ. Одной из причин, вызывающих такие нарушения, является неверный выбор конструктивно-технологического решения покрытия. Статья посвящена разработке и исследованию новых эффективных вариантов покрытий.

Все бетонные мелкоштучные элементы, используемые при устройстве покрытий, имеют плоское основание [1]. С целью улучшения эксплуатационных показателей разработаны новые конструкции покрытий из ФЭМ с измененной геометрической формой основания [2]. В статье предлагается исследовать работу двух новых покрытий из ФЭМ с рифленным основанием под воздействием длительной нагрузки. В первом варианте рифленое основание состоит из пяти четырехгранных зубчатых элементов пирамидальной формы, а во втором – из пяти четырехконечных звездчатых элементов пирамидальной формы (Рис. 1). По нашему мнению такие покрытия имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными покрытиями. За счет рифленного основания увеличивается площадь основания плитки, контактирующей с нижележащим конструктивным слоем, а при устройстве плитки происходит дополнительное уплотнение этого слоя, что способствует повышению несущей способности покрытия. За счет формы основания происходит жесткая фиксация плитки, что препятствует ее горизонтальному смещению при воздействии горизонтальных нагрузок.



Рис. 4. Макеты фигурных элементов мощения с плоским основанием, с рифленным основанием из пяти зубчатых и пяти звездчатых элементов пирамидальной формы

Для исследования качественных характеристик разработанных вариантов покрытий под воздействием длительной нагрузки определены наиболее значимые факторы и уровни их варьирования, выходные параметры, подобрано необходимое оборудование и материалы, составлен план эксперимента.

**Выводы.** Проведенные в лабораторных условиях эксперименты по влиянию длительной нагрузки на качественные характеристики разработанных покрытий помогут

выбрать наиболее оптимальный вариант, что поможет в определении дальнейшего направления исследований.

1. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия: ГОСТ 17608-91. – [Действующий от 1992-01-01]. – М.: Государственный строительный комитет СССР. Издательство стандартов, 1991. – 32 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).

2. Dumanska V. Studies of coatings from FEP with corrugated base from toothed elements of pyramidal shape on the horizontal and inclined surfaces / V.Dumanska, L.Vilinska, V Marchenko. // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. : зб. наук. праць. – Полтава : ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2017 – Вип. 1 (48). – С. 265 – 272.

Н. М. ЗАЩЕПКИНА, О. А. НАКОНЕЧНИЙ, Д. В. ЖИЛЯКОВ, М. І. ХАРЧЕНКО

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **КОНТРОЛЬ ІНФОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗАСОБАМИ І МЕТОДАМИ СПЕКТРОМЕТРІЇ**

Розробка та впровадження сучасних методів і засобів вимірювання, для швидкого оцінювання якості харчової сировини природного та штучного походження і готової продукції, а також, для оперативного контролю технологічних процесів, є однією з задач підвищення ефективності виробництва, виготовлення якісної продукції, безпечної для людини. В останній час, у багатьох галузях виробництва, широкого розповсюдження набули експрес-методи контролю інформативних показників об'єктів, що діагностуються.

Метою даної роботи є аналіз методів контролю оптичних параметрів харчових продуктів із застосуванням засобів вимірювання спектральної яскравості зразків, і відповідно, їх відносних коефіцієнтів відбиття і поглинання.

В аналітичних дослідженнях харчових продуктів, першочерговою є можливість проводити комплексну експрес діагностику їх інформативних параметрів, із залученням мінімальної кількості ресурсів і часу. Цим вимогам в повній мірі відповідають оптичні методи аналізу енергетичних і спектральних характеристик випромінювання, який піддається аналізу. Для об'єктивного контролю оптичних показників харчових продуктів найчастіше використовуються спектрометричні та фотометричні методи контролю із застосуванням випромінювання різного спектрального діапазону. Спектроскопія, за визначенням, займається аналізом характеристичних відгуків атомів, іонів, радикалів і молекул на основі реєстрації і розшифровки їх спектрів, які одержують за допомогою різних вимірювальних пристроїв [1, 3].

Спектр поглинання, тобто графічний запис процесу поглинання випромінювання щодо довжини хвилі або, відповідно, частоти світла, дає інформацію щодо того, про яку саме речовину йдеться. Різні речовини, описані через формули хімічної сполуки, розрізняються своїми структурами – атомною, просторовою та електронною. Тому кожна речовина по-своєму реагує на електронне, коливальне або оберতальне збудження, формуючи характерний тільки для неї спектр.

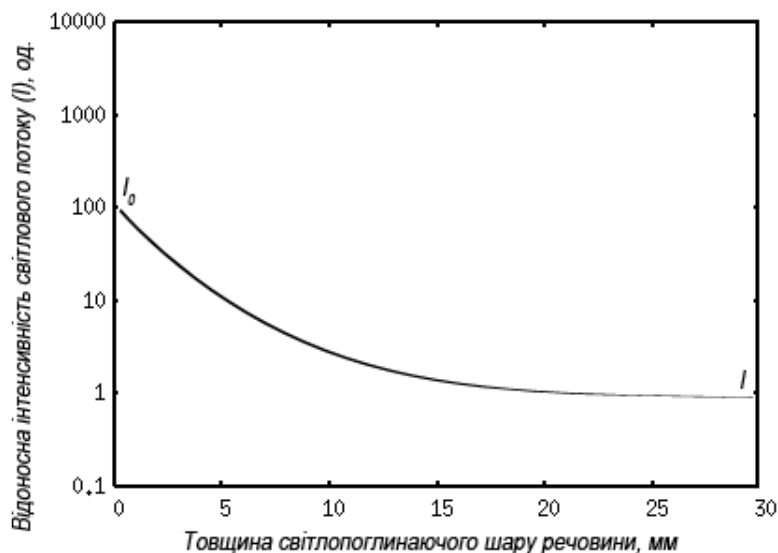


Рисунок 2. Залежність між інтенсивністю світлового випромінювання та його проходженням в речовині

Знаючи оптичну щільність зразка, коефіцієнт послаблення випромінювання і товщину шару досліджуваної речовини та її агрегатний стан, можна визначити концентрацію певного хімічного показника в зразку, якщо відомо спектр, що характеризує величину оптичної щільності в деякому діапазоні довжин хвиль. Таким чином можна визначати концентрації декількох показників, якщо дані показники мають свої характерні смуги поглинання, тобто провести якісний (ідентифікація) та кількісний (визначення концентрації певного хімічного компонента) аналіз зразків (рис. 1) [2, 4].

**Висновки.** Сучасна інструментальна спектроскопія володіє потужними інформаційними можливостями, що дозволяє вирішувати багато аналітичних задач, особливо в поєднанні із електронними обчислювальними засобами та автоматизацією експериментальних досліджень. Суть будь-якого контролю якості має три взаємопов'язаних компоненти: ідентифікація («випробування на справжність») – визначення сортової та видової приналежності досліджуваного зразка, якісний (визначення наявності певної компоненти) та кількісний (концентрація досліджуваної речовини у зразку) аналіз.

1. Кеслер Н. Методы инфракрасной спектроскопии в химическом анализе : учебн. [для студ. высш. учебн. зав.] / Н. Кеслер. – М.: Мир, 1984. – 287 с.
2. Лузанов П. А. Создание градуировочной модели, устойчивой к конструктивным изменениям инфракрасного анализатора / П. А. Лузанов, К. А. Жаринов // Научное приборостроение. – 2006. – Т. 16, №4. – С. 80-84.
3. Норрис К. Х. Приборы для ближней инфракрасной спектроскопии / К. Х. Норрис // Применение спектроскопии в ближней инфракрасной области для контроля качества продукции [4-й сборник научных трудов по ИКС] : тезисы докл. – М.: Интерагротех, 1989. – С. 5-10.
4. Хуршудян С.А. Применение оптических анализаторов в пищевой промышленности / С. А. Хуршудян // Пищевая промышленность. – 2000. – № 11. – С. 76-78.

ЗАЩЕПКИНА Наталя Миколаївна – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри наукових аналітичних і екологічних приладів і систем.

НАКОНЕЧНИЙ Олександр Анатолійович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», асистент кафедри наукових аналітичних і екологічних приладів і систем.

ЖИЛЯКОВ Дмитро Володимирович – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра наукових аналітичних і екологічних приладів і систем.

ХАРЧЕНКО Михайло Ігорович – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра наукових аналітичних і екологічних приладів і систем.

УДК 681.011.56

В.О. КОНДРАТЕЦЬ<sup>1</sup>, О.М. СЕРБУЛ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет

### **МОДЕЛЮВАННЯ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЗРІДЖЕННЯМ ПІСКІВ В ПРИЙМАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ ЗАВИТКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА**

Міцні руди, які підлягають збагаченню, подрібнюються спочатку у стержневому млині, який працює у відкритому циклі, а потім у кульовому млині, що переробляє піски двоспірального класифікатора. Цей кульовий млин, що виконує основну роботу скорочення крупності матеріалу, працює без підтримання необхідного розрідження пульпи. При цьому молотильні тіла працюють не ефективно, що породжує перевитрачання електричної енергії, куль і футеровки та зменшення виходу готового продукту. Такий стан не узгоджується з законодавством України щодо впровадження ресурсозберігаючих технологій в промисловості та енергетиці. Оскільки дана стаття спрямована на розв'язання поставлених задач ресурсо- та енергозбереження, її тема є актуальною.

Відомі системи автоматичного керування, розроблені для кульових млинів з циркулюючим навантаженням, для даного циклу подрібнення не підходять. Пристрій з акумулюванням піскового потоку і наступним вимірюванням об'ємної витрати у пісковому жолобі класифікатора, не гарантує надійної роботи, оскільки його канал може забиватись сторонніми предметами. Використання витратомірів, що сканують поверхню піскового потоку, у даному циклі подрібнення не забезпечує необхідної точності вимірювання об'ємної витрати пульпи. Це примушує задачу стабілізації розрідження пісків вирішувати у приймальному пристрої завиткового живильника кульового млина. Така задача успішно розв'язана застосуванням двоетапного досягнення необхідного значення розрідження пульпи, однак система автоматичного керування виходить достатньо складною.

Метою даної роботи є математичне моделювання самоналагоджувальної системи прямого автоматичного керування розрідженням пісків у приймальному пристрої завиткового живильника з побудовою її функціональної схеми.

Необхідне розрідження пульпи у кульовому млині можливо забезпечувати за допомогою запропонованої системи з частковою інваріантністю, яка забезпечує подачу води в приймальний пристрій завиткового живильника. Задавальне діяння на підтримання того чи іншого значення співвідношення тверде/рідке встановлюється відповідною витратою води у вихідному каналі. В залежності від необхідної точності підтримання співвідношення тверде/рідке встановлюється певне значення перепаду даного параметра. Чим менше значення перепаду, тим більш точнішими повинні бути засоби вимірювання рівня і тиску пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Найменше значення перепаду співвідношення тверде/рідке повинно дорівнювати 0,1. Вибравши величину перепаду співвідношення, розраховують магістралі додаткової подачі води в пісковий жолоб

класифікатора для можливого найбільшого заданого значення цього параметра. Потім параметри магістралей будуть задовольняти умовам всіх менших необхідних при експлуатації задавальних діянь.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше здійснена і теоретично обґрунтована система керування розрідженням пульпи в кульовому млині, що подрібнює піски двоспірального класифікатора, яка реалізує принцип часткової інваріантності і є більш простою порівняно з відомими. Результати зміни керованої величини в ній знаходяться в установлених межах незалежно від транспортного та ємкісного запізнення.

Практична цінність отриманих результатів зводиться до забезпечення значної економії – зменшення витрат електричної енергії, куль і футеровки та підвищення продуктивності технологічного агрегату по готовому продукту.

Перспективою подальших досліджень є розробка окремих вузлів даної системи та методик її налагодження і експлуатації.

В.М.КОРЧИНСЬКИЙ, Д.М.СВИНАРЕНКО

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

### **ІНФОРМАЙНІА МОДЕЛЬ ПОДАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ У ПРОСТОРІ ІНВАРІАНТНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

На даний час одним з основних засобів отримання даних щодо фізичного стану навколишнього середовища є аналіз багатоспектральних зображень дистанційного зондування Землі з аерокосмічних носіїв. (геоінформатика, стан атмосфери, тощо) [1]. Одна з перспективних, але повністю нерозв'язаних проблем інтерпретації таких видових даних полягає у їх ідентифікації, інваріантної до спотворень, зумовлених неминучими у реальних умовах зйомки нестабільностями позиційних умов формоутворення зображень, та просторового розрізнення зображень, отриманих у різних спектральних каналах зондування [2].

У роботі запропоновано систему інтегральних інформаційних ознак багатоспектральних зображень, яка забезпечує аналіз усієї множини зображень спектральних каналів, що утворює єдиний геометричний об'єкт – багатоспектральне зображення (БСЗ), та інваріантна до його афінних перетворень. В основу багатовимірного координатного опису розподілів яскравості БСЗ покладено запропоноване у роботі [3] їхнє подання матрицями  $\mathbf{M}_{nm \times k}$  з ортогоналізованими стовпцями, кожний з яких відповідає зображенню окремого спектрального каналу  $k$ ; рядки – пікселю відповідного растрового зображення, заданого на растрі  $n \times m$  пікселів та упорядкованого за стовпцями / рядками растру; елементи  $\mathbf{M}_{nm \times k}$  подають рівні яскравості відповідних комірок растру.

Власне інваріантні інформаційні характеристики БСЗ означені на множині безрозмірних семіінваріантів зазначених матричних представлень та мають вигляд квадратик у евклідовому просторі  $\mathbf{R}^N$ , де  $N$  – порядок семіінваріанту (парне число).

Численні обчислювальні експерименти стосовно зображень з різним просторовим розрізненням, отримані у різних спектральних каналах зондування свідчать про високий ступінь стабільності до афінних перетворень БСЗ, спричинених нестабільностями позиційних параметрів фіксації зображень, та різною просторовою розрізненістю зображень окремих спектральних каналів.

**Висновки.** У роботі запропоновано новий ефективний метод ідентифікації просторових розподілів яскравості багатоспектральних цифрових зображень, інваріантної до

геометричних спотворень зображень, зумовлених позиційними нестабільностями їх формоутворення та просторової розрізненості. У порівнянні з існуючими методами ідентифікації зображень на основі їх інтегральних інформаційних ознак запропонований метод забезпечує аналіз усієї множини зображень спектральних каналів, яка утворює єдиний геометричний об'єкт – багатоспектральне зображення. Результати роботи можуть бути використані для розробки нових інформаційних технологій ідентифікації багатоспектральних цифрових зображень дистанційного зондування.

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: Пер. с англ. / Р.А.Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

2. Flusser J 2D and 3D image analysis by moments / J.Flusser, Suk T., Zitova B. – N.-Y., London : J.Wiley , 2017. – 530 p.

3. Корчинский В.М. Многомерное векторное представление распределений яркости многоспектральных растровых изображений дистанционного зондирования Земли / В.М.Корчинский // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2014. - № 3 (50). – С. 90-93.

В.Т. КРАВЧУК<sup>1</sup>, М.Г. ДИКТЕРУК<sup>1</sup>, Ю.В. ЧОВНЮК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

### **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ ВИБРОУДАРНЫХ МАШИН ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ/СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ И ГРУНТОВ, ИМЕЮЩИХ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ С КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ УПРУГОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**

В работе проведен анализ движения одномассной виброударной машины для уплотнения бетонных/строительных смесей и грунтов, имеющей в качестве собственного рабочего органа таковой, содержащий кусочно-линейную упругую характеристику (эффективную жёсткость виброударной системы).

В рамках анализа упругого кинематического возбуждения таких машин в зонах основного и суперрезонансов исследовано влияние симметрии/асимметрии упругой характеристики на характер виброударного процесса (т.е. на амплитуды возникающих колебаний и их спектральный состав).

В системах с симметричной «мягкой» кусочно-линейной характеристикой упругой силы рабочего органа вибромашины на суперрезонансах достигает максимума одна из дополнительных (к основной) гармоник. При этом резонирующая супергармоника увлекает за собой более старшие гармоники одинаковой с ней чётности, подавляя гармоники противоположной чётности.

Благодаря обострению при больших значениях нелинейности системы суперрезонансов порядков  $4/3$ ,  $3/2$ ,  $5/3$ ,  $7/4$  становится возможной разработка безредукторных преобразователей частоты виброударной машины не только в целое, но и в дробное число раз.

В системах с асимметричной «жёсткой» кусочно-линейной характеристикой упругой силы рабочего органа вибромашины для уплотнения грунтов/смесей возбуждение суперрезонансных режимов колебаний позволяет формировать в системе поличастотные режимы движения с высоким содержанием кратных гармоник. Изменение т.н. пороговой асимметрии даёт возможность обострять суперрезонансы, возбуждать в системе полигармонические колебания с дробным отношением частот, обогащать и управлять амплитудным спектром колебаний в широких пределах.



Отмеченные свойства суперрезонансов могут оказаться полезными в ряде вибрационных и виброударных процессов (уплотнение грунтов, бетонных/строительных смесей) и повысить их эффективность, тем более, что их применение не требует дополнительного аппаратного оформления, а только соответствующего выбора параметров виброударной системы.

Полученные в работе результаты могут в дальнейшем служить для уточнения и совершенствования существующих инженерных методов расчёта виброударных систем/машин для уплотнения и формования бетонных/строительных смесей, а также грунтов, как на стадиях их проектирования/конструирования, так и в режимах реальной эксплуатации (для достижения наиболее оптимальных режимов функционирования).

Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, О.О. САФЬЯНИК  
Херсонський національний технічний університет

### ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ПІДСИСТЕМА БАГАТОПРИВІДНОЇ КАРКАСНОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Сучасні складні системи різноманітної природи представляють собою комплекс різних підсистем, що виконують певні технологічні функції і пов'язані між собою процесами інтенсивної динамічної взаємодії та обміну енергією, речовиною та інформацією. Зазначені системи є нелінійними, багатовимірними і багатозв'язними, в них протікають складні перехідні процеси і виникають критичні і хаотичні режими. При розробці систем управління сучасним промисловим обладнанням доцільним є впровадження в них інформаційно-вимірювальних систем. Не є виключенням і багатопривідні каркасні установки, які потребують застосування замкнених систем керування, що повинні відслідковувати прискорення та положення робочого органу і навантаження на нього, вібрації, стан кінцевих вимикачів та коригувати траєкторію руху з урахуванням цих факторів [1].

У роботі розглядається проектування інформаційно-вимірювальної підсистеми як складової частини комп'ютеризованої системи управління багато-привідної каркасної установки. Система повинна відслідковувати параметри руху елементів конструкції установки, зокрема її робочого органу (фрези, екструдера тощо), стежити за зміною струму живлення електродвигунів установки, оперативно інформувати про перевантаження обладнання. Проведений аналіз принципів роботи та властивостей датчиків надає можливість для побудови двоконтурної інформаційно-вимірювальної системи для аналізу стану багатопривідної каркасної установки, що містить канали грубого та точного вимірювання [2]. Структура отриманої системи наведена на рис. 1.



Рис. 6. Структура інформаційно-вимірювальної підсистеми

**Висновки.** Проведено аналітичний огляд підходів до побудови інформаційно-вимірювальної системи для контролю стану багатопривідної каркасної установки, моделей, що описують процес формування інформації та виконано їх порівняльну характеристику. Розглянуто особливості задач та функції інформаційно-вимірювальних систем складних

електромеханічних систем, наведено аналіз основних характеристик засобів та методів, що потрібні для здійснення оцінки стану працюючого технологічного обладнання каркасного типу. Виконано аналіз підходів до попередньої обробки сигналів з датчиків, які здатні визначати інформативні параметри віброприскорень, що виникають в процесі функціонування електромеханічного обладнання.

1. Ревенко С.В. Компьютеризированная система управления многоприводной каркасной установкой / С.В. Ревенко, А.В. Рудакова, А.А. Омельчук // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої дню космонавтики, 12 квітня 2017 р., м. Херсон, С. 216-218.

2. Омельчук А.А. Информационно-измерительная подсистема мониторинга параметров и процессов спуска судна на воду / А.А. Омельчук, А.В. Рудакова // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – №4. – С. 11 – 16.

А.В. ЛЫСЮК

Одесский Национальный Политехнический Университет

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСУ БАРАБАННОГО КОТЛА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ИСКУССТВЕННЫХ ГАЗОВ

Для современного украинского государства, с учетом особенностей его географического положения и наличия определенного вида энергоресурсов, перспективным направлением развития энергетической отрасли может стать реализация малозатратных и быстро окупаемых мероприятий, позволяющих без привлечения значительных средств, в кратчайшие сроки уменьшить потребление топлива и электроэнергии [1]. К таким мероприятиям можно отнести использование на существующих парогенераторах, работающих на органическом топливе, новых структурных схем систем автоматического управления [2], которые позволят без существенной модернизации оборудования использовать в качестве топлива горючие искусственные газы.

Для решения поставленной задачи на основании структурного анализа была определена передаточная функция устройства связи (УС), которое должно управлять производительностью газового компрессора таким образом, чтобы после исчерпания пропускной способности РО, компрессор увеличил подачу искусственного газа в топочную камеру по сигналу от регулятора расхода топлива и это не привело бы к снижению качества регулирования:

Расположение компрессора как можно ближе к котельному оборудованию и ввиду малой инерционности газовых компрессоров позволяет упростить передаточную функцию УС:

$$W_{yc}(S) \approx \frac{Q_T^{иг} K_{PO}}{Q_T^{иг} K_K} \cdot$$

Упрощенная передаточная функция УС является пропорциональным звеном, однако наличие в выражении значений теплотворных способностей природного и искусственного газов накладывают определенные ограничения для использования такой АСУ. В качестве топлива должен использоваться один вид искусственного газа или АСУ должна быть дополнена устройством, определяющим химический состав сжигаемого газа, а производительности дымососа и дутьевого вентилятора по нагнетанию воздуха в топку и удалению дымовых газов достаточно для качественного сжигания газо-воздушной смеси.

**Выводы.** Решение проблемы достигается путем повышения давления газа в газопроводе с помощью компрессора. Введение в технологическую схему газового компрессора приводит к необходимости модификации типовой АСУ тепловой нагрузки.

Применение методики классической теории автоматического управления позволило определить вид передаточной функции устройства связи между регулятором топлива и компрессором.

1. Яковлев В.А. Испытания работы газогорелочного устройства с принудительной подачей воздуха и щелевой камерой / В.А. Яковлев // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 9. – С. 299 – 306.

2. Канюк Г. И. Разработка системы автоматического управления паровыми котлами электростанций при сжигании низкосортных топлив / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. В. Сук, И. А. Бабенко, Е. Н. Близниченко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – № 2(84). – С. 44–51.

Н.О. МАТВЄЄВА, Ю.В. ЛАЗОРЕНКО

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

## ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ У КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Розвиток сучасної техніки нерозривно пов'язаний з виробництвом композитних матеріалів та застосуванням їх в різних галузях промисловості. Але ці матеріали сприятливі до пошкоджень, що є однією з основних проблем, пов'язаних зі структурною цілісністю. Композитні матеріали характеризуються шорсткістю поверхні, що ускладнює процес сканування та додає різні види шумів. Виникає задача - аналізуючи сигнали, які отримуються при проведенні неруйнівного контролю, необхідно отримати інформацію щодо наявності та розмірів дефектів. Одним з шляхів обробки експериментальних даних при проведенні неруйнівного контролю є застосування штучних нейронних мереж [1].

Метою роботи є знаходження дефектів на поверхні композитних матеріалів за допомогою нейронної мережі. При скануванні поверхні отримуються електромагнітні сигнали трьох типів. В роботі запропоновано сигнали представляти візуальними графічними образами. Створена структура мережі розпізнає форму сигналів. В ході дослідження обчислюються значення дисперсій правильно розпізнаних сигналів.

При скануванні поверхні композитів отримуються електромагнітні сигнали, які описуються формулою [2]:

$$y(x) = \exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2) \quad (1)$$

де  $k$  змінюється від 0 до 1. Вузкий унімодальний сигнал характеризує довгі тріщини, довжина яких перебільшує зону контролю; бімодальний сигнал мають маленькі тріщини (при  $k = 1$  – точковий дефект)[2, 3].

В роботі [4] запропоновано такі сигнали та шуми, які утворюються при сканування поверхні, представляти зображеннями розміром 21x13.

Для розпізнавання сигналів використовувалась трьохшарова нейронна мережа прямого розповсюдження – багатошаровий пересептрон з 273 нейронами у вхідному шарі (кількість компонентів вхідного вектора), 10 нейронів у прихованому шарі та 2 нейрони у вихідному шарі (за кількістю компонент вихідного вектора).

Поступово на вхід створеної структури нейронної мережі подавались зображення сигналів, які послідовно спотворювали шум-точками від 0 до 40% від загальної кількості

точок на зображенні. Для кожного типу сигналів формувалось 1000 прикладів для навчання, яке проводилось на модельних (мережа 1) та зашумованих (мережа 2) сигналах.

**Висновки.** В роботі обробка експериментальних даних виконується за допомогою створеної структури нейронної мережі. Сигнали та шуми представляються візуальними графічними образами. В роботі оцінюється дисперсія правильно класифікованих сигналів нейронною мережею. Розпізнавання зображень унімодальних сигналів демонструє кращі результати.

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006

2. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. // Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132

3. Матвеева Н.А. Моделирование нейросети для решения задачи классификации в дефектоскопии // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2011. -Вип. 1(72). - С. 37-44

4. Матвеева Н.О. Розпізнавання візуальних образів сигналів за допомогою нейронної мережі / Н.О, Матвеева, Ю.В. Лазоренко // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпро: ДНВП «Системні технології», 2017. -Вип. 1(108). - С. 71-79

А.М. МАЦУЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРІДЖЕНОСТІ ПУЛЬПИ У ПІСКОВОМУ ЖОЛОБІ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА ПРИ НЕЗМІННІЙ ВИТРАТІ ВОДИ**

В Україні існує проблема зменшення собівартості магнетитового концентрату, що зв'язано зі значними перевитратами електроенергії, куль і футеровки, особливо в перших стадіях рудопідготовки. Перевитрати дуже залежать від рівномірності розташування крупного твердого і розрідження пульпи у кульовому млині. Основу пульпи складають піски односпірального класифікатора, тому їх розрідження сильно впливає на стан матеріалу у кульовому млині, однак цю задачу ніхто не досліджував.

Розроблений автором підхід моделювання розвантаження піскового продукту в пісковий жолоб односпірального класифікатора дозволяє здійснити такі дослідження. Моделювання утворення пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора виконувалося на руді густиною  $3300 \text{ кг/м}^3$  за умови, що піски складаються з однакових за розміром сферичних частинок. Враховуючи, що коефіцієнт розпушення руди при утворенні з неї сферичних частинок однакового розміру складає 1,3514, можливо стверджувати, що в масиві такого матеріалу об'єм твердого має частку 0,74, а порожнечи – 0,26. Якщо порожнечи будуть заповнені водою, то її маса в одному кубічному метрі складе 260 кг, а тверде – 2442 кг. Тоді вологовміст такої моделі буде 10,647%. Середнє значення вологовмісту пісків спірального класифікатора, визначене експериментальним шляхом в процесі тривалих досліджень у виробничих умовах, склало 11,7775%. Різниця у вологовмісті пісків з довільною формою і розміром частинок та пісків, поданих сферичними тілами однакового розміру, складає 1,1305%, що гарантує отримання надійних результатів при такому моделюванні.

В процесі моделювання розрідженості пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора при незмінній витраті води в нього встановлено наступне.

Впродовж циклу розвантаження пісків, що надходять у пісковий жолоб, в залежності від значення циркулюючого навантаження їх об'єм може змінюватись в значних межах – в два-дев'ять разів, що впливає на густину пульпи.

При незмінній витраті води у пісковий жолоб густина пульпи в ньому відносно середнього значення змінюється у вигляді від'ємної і додатної півхвиль, тривалість яких наближено однакова і складає 5 с, з формуванням ділянок як з сильно розрідженим, так і занадто згущеним матеріалом.

Ефективність подрібнення руди кульовим млином за таких умов значно зменшується, оскільки кулі потрапляють або в рідке, або у занадто густе середовище, що підтверджує необхідність зміни порядку подачі води у пісковий жолоб односпірального класифікатора, а саме – подавати на постійну, а змінну витрату води для забезпечення незмінної густини пульпи.

В процесі дослідження отримана математична модель, яка дозволяє здійснити відповідно заданій густині пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора автоматичну подачу води в нього за виміряною об'ємною витратою пісків з тим, щоб стабілізувати розрідженість пульпи перед завантаженням у кульовий млин. Залежність має наступний вигляд

$$Q_{VBG} = \frac{0,8288\delta_T - (0,74 + 0,0888\delta_T/\delta_B)\gamma_{PG}}{\gamma_{PG} - \delta_B} \cdot Q_{VP}, \quad (1)$$

де  $Q_{VBG}$  – об'ємна витрата води в пісковий жолоб;  $\delta_T$  – густина твердого (руди);  $\delta_B$  – густина води;  $\gamma_{PG}$  – задане значення густини пульпи у пісковому жолобі;  $Q_{VP}$  – об'ємна витрата пісків у пісковий жолоб.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки системи автоматизованого керування подрібненням руди у кульових млинах з оптимізацією динаміки розрідження пульпи та підвищенням ефективності подрібнення руди в технологічному агрегаті.

А.В. МАЧУЛЯНСКИЙ<sup>1</sup>, Б.Б. БАБЫЧ<sup>1</sup>, В.А. МАЧУЛЯНСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины “КПИ им. И. Сикорского”

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Необходимым условием эффективной работы электронных устройств отображения и защиты информации, аппаратов космического назначения, объектов авиации типа «Стэлс», а также светопрозрачных дисплеев является использование многофункциональных покрытий, которые позволяют одновременно решать несколько задач [1, 2].

Главная функция таких покрытий: прозрачность в видимой области спектра и экранирование электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне.

Среди известных методов реализации покрытий, обладающих вышеупомянутыми свойствами, основным является применение перфорированных проволочных экранов. Однако недостатками таких экранов являются несовместимость с микроэлектронной технологией производства электронных устройств, невысокая прочность, потеря эффективности в процессе использования, нарушение электрического контакта в узлах сетки, сложность применения в устройствах с развитым рельефом [1, 3].

Указанных недостатков можно избежать путем использования экранов в виде пленочных токопроводящих покрытий, нанесенных на прозрачную подложку. Такие экраны могут быть реализованы в виде сплошного металлического покрытия, перфорируемого методом литографии [2, 4, 5].

В работе рассмотрено влияние конструктивных параметров на эффективность экранирования перфорируемых пленочных покрытий.

Проведено моделювання зміни ефективності екранування перфорованого пліночного покриття в залежності від значення періода решітки і відповідних йому значень коефіцієнта прозорості при фіксованій довжині хвилі.

Для оцінки ефективності екранування багаторівневими екранами були виготовлені зразки двохшарових пліночних покриттів. В частині, використовувалися поєднання шарів високопровідних і ферромагнітних металів. В якості високопровідного матеріалу використовувалася мідь, а ферромагнітного – нікель.

**Висновки.** Виконано моделювання ефективності екранування перфорованих пліночних електромагнітних екранів в залежності від їх конструктивних параметрів. Визначено, що ефективність екранування двохстороннього перфорованого екрана має більш виражену залежність від періода решітки, ніж одностороннього. Виготовлені експериментальні зразки перфорованих екранів. Представлені розрахункові залежності коефіцієнта екранування перфорованого екрана з прозорістю 50 %, для різних частот електромагнітного випромінювання.

Проведено комплексне експериментальне дослідження тестових зразків. Представлений порівняльний аналіз експериментальних і теоретичних досліджень електромагнітних екранів. Дані рекомендації по практичному застосуванню розроблених електромагнітних пліночних покриттів прозорих в видимому діапазоні спектра електромагнітного випромінювання.

1. Henry W. Ott. Electromagnetic Compatibility Engineering. New York, I. Wiley & Sons, 2009, 862 p.

2. Machuliansky Aleksandr, Pilinsky Vladimir, Telychkina Oksana, Rodionova Maria, Joskiewicz Zbigniew M., Wieckowski Tadeusz W. Application of Nanostructured Materials Ensuring the Electromagnetic Compatibility of Power Electronic. Int. Symposium EMC Europe, 13-17 September, 2010, Wroclaw, Poland, 2010, pp. 814-817.

3. Крылов Т. В. Юрченкова А. И. Защита от электромагнитных излучений. – М.: Сов. радио, 1972. – 216 с.

Д.С. МІРОНЕНКО

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

## **АВТОМАТИЗОВАНА РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ ГРАФА ІНТЕРЕСІВ**

На сьогоднішній день основний розвиток інформаційних технологій сконцентровано в області розвитку Інтернет технологій. Одним з перспективних напрямів вдосконалення Інтернет ресурсів є використання в їх складі рекомендаційних систем. Актуальність існування рекомендаційних систем обумовлена спостереженнями за реаліями поведінки людей у повсякденному житті. І чим більше Інтернет стає інтелектуальним, тим більше з'являється нових алгоритмів рекомендаційних систем [1].

У дослідницькій роботі запропоновано нове вирішення актуальної проблеми формування рекомендацій на Інтернет майданчиках, і отримала подальший розвиток інтелектуальна рекомендаційна система за вибором Affiliate program в партнерських мережах. Проаналізовано основні алгоритми існуючих рекомендаційних систем (Content-based, Neighbourhood-based (NB), Model-based, matrix factorization (MF)) та виявлено недоліки та проблеми актуальні для розробників програмного забезпечення [2].

Розроблена модель формування рекомендації з вибору партнерської програми, на підставі графа інтересів. Для пошуку подібної рекламної кампанії використовувався алгоритм обходу графа інтересів [3]. Вершини графа розподілені по шарам (рис.1). На шарі  $L_1$  представлені рекламні кампанії, на шарі  $L_2$  представлені параметри рекламних кампаній. Ребра графа бувають трьох видів:  $E^P$  – «параметр – параметр» – показують відношення зв'язку між параметрами;  $E^{AC}$  – «рекламна кампанія – рекламна кампанія» – показує, що дані дві рекламні кампанії є схожими між собою;  $E^{ACP}$  – «рекламна кампанія – параметр» – показує, що даний параметр використовувався при проведенні рекламної кампанії продукту або послуги відповідно.

На графі інтересів рекламні кампанії, які є аналогами, пов'язані між собою ребрами, тому встановивши одну з вершин можна пройти по всьому ланцюгу і обчислити прогноз успішності нової рекламної кампанії.

Наведено основні алгоритми: пошук подібної (аналогічної) рекламної кампанії, пошук максимального значення ROI (Return On Investment) в ланцюзі подібних рекламних кампаній, підрахунок кількості рекламних кампаній, які мають значення показника ROI близьке до максимального, алгоритм оцінки конверсії. Дані алгоритми дають можливість оцінити прогноз успішності рекламної кампанії і сформувати відповідну рекомендацію.

**Висновки.** Розроблена автоматизована рекомендаційна система з вибору партнерської програми у партнерських мережах, проведені експерименти з розробленою системою. Рекомендаційна система справляється з поставленим завданням і спрощує вибір партнерської програми, рекомендує маркетологу найбільш прибуткову партнерську програму з доступних. Рекомендаційна система розроблена на основі графової БД Neo4j, що дозволяє з легкістю використовувати теорію графів для пошуку подібних рекламних кампаній та аналізу ефективності кожної з них. Автоматизована рекомендаційна система економить бюджет рекламної компанії на продуктах, залучення яких обходиться дорожче, і які володіють меншим попитом.

1. Pazzani M.J. Content-based recommendation systems in The Adaptive Web / Pazzani M.J. Billsus D. // Springer Verlag, 2007. – P. 325–341.

2. Takács G. Major components of the Gravity recommendation system. / Takács G., Pilászy I., Németh B., Tikk D. // ACM SIGKDD Explorations Newsletter - Special issue on visual analytics, 2007. – Volume 9, Issue 2.

3. How the Interest Graph will shape the future of the web. The MIT Entrepreneurship Review. 01.04.2011 – Електроний ресурс. Режим доступу: <https://miter.mit.edu/articlehow-interest-graph-will-shape-future-web/>

С.І. ОСАДЧИЙ, Д.М. ЛУЖКОВ, В.О.ЗУБЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький  
(Україна)

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДИЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИПАРНИКА**

Незважаючи на постійне вдосконалення основних показників якості холодильників, морозильників та комбінованих холодильників-морозильників, енергетичні витрати на виробництво холоду залишаються високими. Практичні дослідження холодильних установок [1] показали, що навіть в усталених режимах роботи (коли параметри теплоносія,

холодоагенту, компресору та інших елементів холодильного устаткування є постійними) спостерігаються випадкові коливання зазначених параметрів. Отже, актуальним стає завдання розробки показника ефективності холодильного устаткування в умовах випадкової зміни температур теплоносія та холодоагенту, а також методу його розрахунку.

В роботі запропонована методика розрахунку значення холодильного коефіцієнту  $\varepsilon$  з врахуванням адитивної суміші детермінованої та випадкової складових зміни температури повітря на вході та виході випарника (рис. 1) холодильної вітрини. В якості об'єкта дослідження було обрано холодильне обладнання фірми Danfoss. [2]

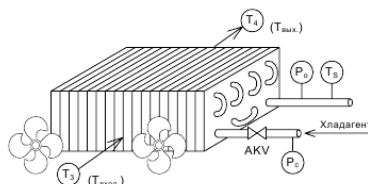


Рисунок 1 – Функціональна схема випарника

З цією метою, скориставшись методом лінеаризації [3], був визначений холодильний коефіцієнт випарника, який має дві складові температури повітря, що проходять крізь нього.

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{k0} + \varepsilon_{k\sim},$$

де  $\varepsilon_{k0}$  – постійна складова холодильного коефіцієнту,  $\varepsilon_{k0} = \frac{T_{40}}{T_{30} - T_{40}}$ ;  $\varepsilon_{k\sim}$  – змінна складова

холодильного коефіцієнту  $\varepsilon_k$ , викликана коливаннями температур,

$\varepsilon_{k\sim} = \frac{T_{30}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{4\sim} - \frac{T_{40}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{3\sim} \cdot T_{40}$ ,  $T_{30}$  – математичні сподівання зміни відповідних

температур,  $T_{3\sim}$ ,  $T_{4\sim}$  – стаціонарні центровані випадкові відхилення відповідних температур від їх математичних сподівань  $T_3$  – температура повітря на вході у випарник,  $T_4$  – температура повітря на виході з випарника.

**Основні результати та висновки.** Отримана залежність (з врахуванням інших складових устаткування) дозволить оцінити економічну доцільність розробляємих автоматизованих систем керування холодильними установками, за умов наявності інформації про числові характеристики випадкових процесів зміни температури повітря на вході то виході випарника.

1. Шляхи модернізації систем автоматики холодильного устаткування з одним терморегулювальним вентилем. С.І. Осадчий, Д.М. Лужков // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кропивницький: ЦНТУ. – 2017. – № 30 – С.15-23.

2. АК-CC550—Контроллер испарителя. Руководство пользователя. – Danfoos – RS.8E.N1.50. – 44 с.

3. Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Нелинейные оптимальные системы стохастической стабилизации // Кибернетика и вычислительная техника. – 2003. – Вып. 139.-С.12-23.



## STEM-ОСВІТА: ПІДВИЩЕННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ, МАТЕМАТИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ

Одним із шляхів розв'язання педагогічного завдання посилення підготовки учнів у галузі природничо-математичної освіти є STEM-освіта – низка чи послідовність курсів або програм навчання, яка готує учнів до продовження освіти після школи або успішного працевлаштування, вимагає різних і більш технічно складних навичок, зокрема із застосуванням математичних знань і наукових понять. Акронім STEM (від англ. Science – природничі науки, Technology – технології, Engineering – інженерія, проектування, дизайн, Mathematics – математика) визначає характерні риси відповідної дидактики, сутність якої виявляється у поєднанні міждисциплінарних практико орієнтованих підходів до вивчення природничо-математичних дисциплін [1].

В роботі досліджуються шляхи підвищення професійної компетентності вчителів фізики, математики та інформатики у STEM-освіті. Метою дослідження було створення методичної системи підвищення професійної компетентності вчителів фізики, математики та інформатики у STEM-освіті.

В роботі проведено теоретичний аналіз методологічних, технологічних та управлінських проблем впровадження STEM-освіти. Розроблено курс Семінар-STEM (<http://ksuonline.kspu.edu/course/view.php?id=1136>), що включає нормативну базу STEM-освіти, каталог програмного забезпечення, методичні рекомендації використання середовища Scratch для навчання основам алгоритмізації та програмування, методичні рекомендації щодо вивчення фізики, математики та інформатики за допомогою робототехнічних рішень LEGO Education, методичні рекомендації з курсу робототехніки на платформі Arduino. В курсі також наведено каталог авторських навчальних програм з робототехніки та комп'ютерного моделювання.

Якість впровадження STEM-освіти багато в чому визначається компетентністю та рівнем професійної діяльності науково-педагогічних працівників, наскільки вони активно використовують новітні педагогічні підходи до викладання й оцінювання, інноваційні практики міждисциплінарного навчання, методи та засоби навчання з акцентом на розвиток дослідницьких компетенцій. У зв'язку з цим, останнім часом посилена увага приділяється здійсненню якісної підготовки педагогів, реалізації довгострокових ініціатив щодо їх професійного розвитку на курсах підвищення кваліфікації [2].

Успішний розвиток STEM-освіти здійснюється через співробітництво у процесі навчання між школами, вищими навчальними закладами, закладами післядипломної освіти та STEM-центрами. Так, [STEM-школою](#) при Херсонському державному університеті спільно з Херсонською академією неперервної освіти проведено семінари для вчителів області, на яких показано, як реалізуються підходи STEM-освіти на предметах природничо-математичного циклу.

**Висновки.** Проведено аналіз методологічних, технологічних та управлінських проблем впровадження STEM-освіти. Відкрито [STEM-школу](https://www.facebook.com/stemschool.ks/) (<https://www.facebook.com/stemschool.ks/>) при Херсонському державному університеті. Проведено семінари зі STEM-освіти з метою підвищення професійної компетентності вчителів фізики, математики та інформатики.

1. STEM-освіта – проблеми та перспективи: анотований каталог / упоряд. О.О. Патрикеева, С.Л. Горбенко, О.В. Лозова, Н.С. Буркіна. – Київ: ДНУ «ІМЗО», 2017. – 13 с.
2. Методичні рекомендації щодо впровадження STEM-освіти у загальноосвітніх та позашкільних навчальних закладах України на 2017/2018 навчальний рік.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ

Изображения высокой и сверхвысокой четкости в настоящее время находят широкое применение и в телевидении, и в мультимедийных приложениях, и в медицине [1,2].

В работе исследуются методы улучшения границ переходов яркостей в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях. Целью моделирования было сравнение оконных функций, устраняющих явление Гиббса и окантовки границ, но не приводящих к заметному размытию изображения. Моделирование обработки изображения проводилось в среде Matlab и на Simulink.

В работе проведен теоретический анализ процесса формирования спектров сигналов изображений как методами двумерного преобразования Фурье, так и методами Wavelet - анализа. Сформулированы критерии выбора оконной функции по количеству отсчетов, приходящихся на полосу спектра сигнала между зоной пропускания и зоной задержания. Предложена математическая модель формирования переходной области и проведено численное решение систем матричных уравнений двумерной свертки, которая описывает процесс обработки изображений оконными функциями в пространственной области с последующим спектральным преобразованием для разных значений параметров оконных функций.

Моделированием и экспериментально показано, что из трех оконных функций, а именно, Кайзера, Хэмминга и Блэкмана наилучшие результаты дает последнее. Определено влияние основных параметров оконных функций на формирование энергии главного лепестка и уровня подавления боковых лепестков. Оптимальность определяется по максимальному значению отношения сигнала к помехе на границах изображения EPSNR, и по значению среднеквадратической ошибки СКО.

Для вычисления отношения сигнала к помехе на границах изображения EPSNR используем градиентный метод выделения границ, применяемый сначала к исходному изображению, а затем к изображению, подвергнутому предварительной фильтрации с применением оконной функции. (рис. 1).

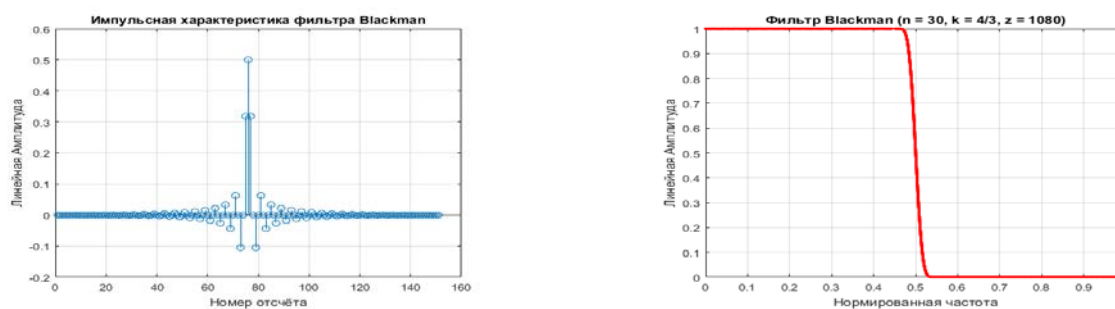


Рис. 1. Результаты фильтрации изображения окном Блэкмана с  $N = 150$

**Выводы.** Результаты работы могут быть использованы для разработки новых технологий обработки цифровых цветных изображений сверхвысокой четкости, для выделения малоконтрастных объектов методом оконтуривания, и как алгоритмическая

основа для пошуку шляхів забезпечення заданих показників якості в телевізійному виробництві

1. Патлаєнко Н.А. Предфільтрація ТВ зображень високої чіткості. / Н.А. Патлаєнко, Е.В. Ошаровська // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. Науковий збірник – 2016'2 – м. Одеса – 2016 р. с. 144-152

О.В. ПОЛИВОДА<sup>1</sup>, В.В. ПОЛИВОДА<sup>2</sup>, Д.Г. ЛИТВИНЧУК<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Херсонський національний технічний університет  
<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА У БОРОШНОМЕЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Вологість зерна є одним із визначальних параметрів на всіх стадіях його зберігання та переробки. При сортовому помелі в процесі гідротермічної обробки зерну надають оптимальну вологість, величина якої залежно від певних показників зерна коливається від 14,5% до 16,5% і зумовлює найкращі результати його переробки, рентабельність роботи млина й конкурентоспроможність борошна з погляду стабільності її хлібопекарських достоїнств [1]. Існуючі методи оперативного й своєчасного вимірювання вологості зерна в потоці є або занадто дорогими, або важко реалізованими у виробничих умовах. Тому виникає необхідність в розробці інтелектуального віртуального датчика, здатного прогнозувати вологість зерна в потоці, використовуючи значення інших параметрів технологічного процесу.

В роботі досліджуються методи й засоби контролю вологості зерна в потоці та розроблений спосіб одержання й обробки первинної інформації в процесі зволоження зерна перед розмелом з використанням інтелектуального датчика вологості, побудованого на алгоритмах штучних нейронних мереж (НМ). Виконана математична постановка задачі автоматизації контролю вологості зерна. Сформульовані основні етапи рішення поставленої задачі.

Для формування вхідного шару нейронної мережі та визначення параметрів навчальної вибірки проаналізовано всі параметри технологічного процесу виробництва борошна, отримані за допомогою контрольно-вимірювальних приладів, параметри, що визначаються конфігурацією обладнання, параметри, що задаються регламентами різних режимів ТП, а також параметри сировини, одержувані у процесі вхідного контролю за допомогою лабораторних вимірювань.

В процесі вибору типу НМ проаналізовані одношарові та багатошарові структури [2]. Аналіз одношарових НМ показав їх непридатність для розв'язку поставленого завдання через низьку обчислювальну здатність, а застосування багатошарових НМ прямого поширення типу багатошаровий перцептрон забезпечує високу точність прогнозування вологості зерна в потоці. Розроблений алгоритм навчання нейронної мережі за допомогою процедури зворотного розповсюдження [2].

В результаті перевірки адекватності НМ-моделі було з'ясовано, що максимальна помилка навчання не перевищила 0,5%, тобто укладається в межі припустимої погрішності.

Розроблений інтелектуальний датчик вологості зерна може бути інтегрований у комп'ютеризовані системи управління на борошномельному виробництві з використанням сучасного програмного й апаратного забезпечення.

**Висновки.** Розроблено метод автоматичного контролю вологості зерна в потоці, заснований на впровадженні в АСУ ТП інтелектуального датчика, побудованого на

алгоритмах штучних НМ. Впровадження системи регулювання вологості зерна з інтегрованим у неї інтелектуальним датчиком дозволить підвищити якість борошна, збільшити продуктивність і надійність функціонування виробничого встаткування, забезпечити безпечні умови праці.

1. Хосни Р.К. Зерно и зернопереработка / Р.К. Хосни; пер. с англ. под общ. ред. Н.П. Черняева. – СПб: Профессия, 2006. – 336 с.

2. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Книга 1. / А.И. Галушкин – М.: ИПРЖР, 2000. – 147 с.

S.V.PRYKHODKO<sup>1</sup>, N.V.PRYKHODKO<sup>1</sup>, L.M.MAKAROVA<sup>1</sup>, O.O.KUDIN<sup>1</sup>,  
T.G.SMYKODUB<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Admiral Makarov National University of Shipbuilding

### CONSTRUCTING NON-LINEAR REGRESSION EQUATIONS ON THE BASIS OF BIVARIATE BIJECTIVE NORMALIZING TRANSFORMATIONS

A normalizing transformation is a good way to construct equations, confidence and prediction intervals of non-linear regressions, and it is often used for that purposes not only in information technology. It is known the application of such normalizing transformations as the decimal logarithm transformation, the Box-Cox transformation, the Johnson translation system. However, known techniques for constructing are based on the univariate normalizing transformations, which do not take into account the correlation between random variables in the case of normalization of bivariate non-Gaussian data.

We propose the techniques for constructing the equations, confidence and prediction intervals of non-linear regressions for bivariate non-Gaussian data in general case, when it necessary to take into account the correlation between the response and the predictor (dependent and independent random variables) in the case of normalization of that variables. As and in [1] the techniques consist of three steps. In the first step, a set of bivariate non-Gaussian data is normalized using a bijective bivariate normalizing transformation. In the second step, the equation, confidence and prediction intervals of non-linear regression for the normalized data are built. In the third step, the equations, confidence and prediction intervals of non-linear regressions for bivariate non-Gaussian data are constructed on the basis of the equation, confidence and prediction intervals of non-linear regression for the normalized data and the normalizing transformation.

Application of the techniques was considered for the bivariate non-Gaussian data set: actual effort (hours) and size (adjusted function points) from 133 maintenance and development software projects [2] after the cutoff of 12 outliers by the technique for detecting bivariate outliers on the basis of the normalizing transformations for non-Gaussian data [3]. Also the non-linear regression, the confidence and prediction intervals were built on the bases of the decimal logarithm transformation.

Accounting the correlation between random variables in the case of normalization of that bivariate non-Gaussian data leads to reduction of the width of confidence and prediction intervals of the non-linear regression compared to the same intervals, which constructed on the bases of the decimal logarithm transformation. At the maximum value of the independent variable the width of prediction interval, which constructed on the bases of decimal logarithm transformation is more by 160 percent compared to prediction interval, which constructed on the bases of proposed techniques.

**Conclusions.** From the examples we conclude that the proposed techniques for constructing the equations, confidence and prediction intervals of non-linear regressions for

bivariate non-Gaussian data are promising. In the future, we intend to try other bivariate non-Gaussian data sets.

1. S.B. Prykhodko, “Developing the software defect prediction models using regression analysis based on normalizing transformations” in “Modern problems in testing of the applied software” (PTAS-2016), Abstracts of the Research and Practice Seminar, Poltava, Ukraine, May 25-26, 2016, pp. 6-7.

2. B. Kitchenham, S.L. Pfleeger, B. McColl, and S. Eagan, “An empirical study of maintenance and development estimation accuracy”, The Journal of Systems and Software, 64, pp.57-77, 2002.

3. S. Prykhodko, N. Prykhodko, L. Makarova, O. Kudin, T. Smykodub and A. Prykhodko, “Detecting bivariate outliers on the basis of normalizing transformations for non-Gaussian data” in “Advanced Information Systems and Technologies”, Proceedings of the V International Scientific Conference, Sumy, Ukraine, May 17-19, pp. 95-97, 2017.

С. О. РОМАНЮК

Вінницький національний технічний університет

### ОСНОВНІ ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

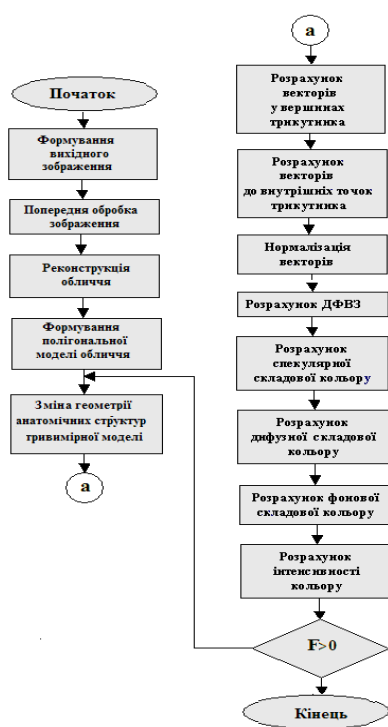


Рис. 1 - Граф-схема алгоритму формування зображення обличчя людини

Цілі та завдання оперативних пластичних втручань на обличчі спрямовані на зміну зовнішнього вигляду з метою задоволення як особистих уподобань, так з метою відновлення зовнішності від травм, швів від перенесених операцій і т.д. При пластичних операціях на обличчі поряд з завданнями відновлення анатомічної будови та функціональної повноцінності велику увагу приділяють реалістичності відтворення всіх складових ділянок обличчя, особливо, кольору. На рис. 1 зображено граф-схему алгоритму формування зображення обличчя людини. З використанням технічних засобів, наприклад, формується вихідне зображення, яке у подальшому обробляється з метою вилучення об'єктів другого плану, які не стосуються до обличчя. Реконструкція може бути реалізована за допомогою зображень від тривимірного лазерного сканера, за стереопарою, за однією фотографії або набори зображень – фотографій. Для формування 3D-зображення обличчя створюється полігональна (скелетна) модель, кількість трикутників у якій залежить від кривизни складових поверхонь. Для кожної вершини трикутника визначаються вектори нормалей, які задають кривизну трикутника, а також вектори напряму до спостерігача  $\vec{V}$  та джерела світла  $\vec{L}$ . Для подальших розрахунків ці вектори нормалізують. Для визначення дифузної та спекулярної складових кольору для всіх точок поверхні, обмеженої трикутником, визначаються вектори, перераховані раніше до всіх внутрішніх точок трикутника. Для визначення спекулярної складової кольору

знаходять дистрибутивну функцію відбивної здатності поверхні за формулою  $(\vec{R} \cdot \vec{V})^n$ , де  $\vec{R} = 2 \cdot (\vec{L} \cdot \vec{N}) \cdot \vec{N} - \vec{L}$ , а для дифузної – скалярний добуток векторів  $\vec{N}$  і  $\vec{L}$ . Для врахування

фонового освітлення можна припустити, що всі поверхні обличчя повністю освітлюються розсіяним світлом  $I_a$ . При цьому фоновий вклад у дифузне відбиття буде дорівнювати  $I_{am} = I_a \cdot k_a$ , де  $k_a$  – коефіцієнт відбиття розсіяного світла. Інтенсивність кольору точок поверхні обличчя визначають за формулою:  $I = I_a \cdot k_a + I(k_d(\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s \cdot (\vec{R} \cdot \vec{V})^n)$ , де  $I$  – інтенсивність джерела світла,  $k_d$ ,  $k_s$  – відповідно, коефіцієнти дифузного та спекулярного відбиття,

#### **Висновки.**

Формування тривимірних зображень обличчя людини є багатоетапним процесом, який характеризується високою трудомісткістю,

1. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.

2. Романюк А. Н. Алгоритми рендеринга / А. Н. Романюк, Т. А. Замковой / Компьютеры+программы. — 1998. — № 6. — С. 54—57.

СВИРИДОВ В.І., ПОПОВ І.М.

Національний університет кораблебудування, Херсонська філія

### **КОНТРОЛЬ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА МЕХАНІЗМІВ ЧЕРЕЗ ВІБРАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ**

Робота судових машин і механізмів супроводжується вібрацією, яка негативно позначається на ресурсі їх роботи. Найбільш навантаженими (з механічною точки зору) є підшипникові вузли, які і визначають ресурс роботи судових машин і механізмів. Підшипники кочення судових машин і механізмів при роботі сприймають сумарне навантаження від ваги ротора і відцентрової сили інерції, яка завжди присутня.

Розглянуті порогові рівні вібрації, перевищення яких можуть дати підставу розглядати судові механізми які знаходяться в поганому технічному стані (ТС).

Питання нормування вібрації різних типів машин детально розглянуті в роботі, де проаналізовано основні національні стандарти, деякі з яких є автентичним текстом однойменних ISO.

Розрахований залишковий ресурс підшипників кочення  $T_{зал}$  забезпечується за умови, що значення  $K_{п}$  в процесі експлуатації судових машин і механізмів не змінюється. Однак ця умова не виконується, тому що коефіцієнт  $K_{п}$  залежить від багатьох конструктивних і експлуатаційних факторів:

- температури;
- технічного стану підшипників кочення;
- кількості та якості мастила;
- якості виготовлення і збірки підшипникових вузлів і ін.
- вібраційного впливу від поруч працюючих машин і механізмів.

Таким чином, коефіцієнт  $K_{п}$  є узагальненим параметром (функцією) ТС підшипників кочення (машин і механізмів) і, природно, не може бути постійним в процесі експлуатації судових машин і механізмів.

Дане положення є дуже важливим, оскільки, здійснюючи стеження за поточними значеннями  $K_{п}$  можна визначити залишковий ресурс підшипників кочення і, як наслідок, всього механізму. Переймаючись довільними значеннями  $K_{п}$  отримаємо залежність ресурсу підшипників кочення від коефіцієнта віброперевантаження.

Використовуючи розрахунки, в роботі запропоновано апробований практичний метод прогнозування залишкового ресурсу підшипників кочення, який розглянемо на практичних прикладах.

### Висновки

1. Можливо практично визначити залишковий ресурс насосних агрегатів в експлуатаційних умовах, показники зручно звести в табличну або графічну форму.

3. Коефіцієнт  $K_p$ , визначається за загальним рівнем віброприскорення, вимірним в діапазоні від 10...20 Гц до 10...20 тис. Гц підшипникового вузла.

Перспективним подальшим продовженням у цьому напрямку є деталізація розрахунку норм вібрації для різних типів насосних агрегатів, розробка методик розрахунку і прогнозування залишкового ресурсу, приладова реалізація даного підходу.

1. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. – СПб.: СПбГМТУ, 2000, 159 с.

2. Абдулаев А.А. Программа комплексного диагностирования судовые ЭМ / Абдулаев А.А. – Сб.: НТК проф. – препод. сост. и др. организаций. – Л.:ВВМИОЛУ им. Ф.Э. Дзержинского, 1985.

3. Абдулаев А.А. Вибрационная оценка величины радиального зазора в ПК судовых ЭМ / Абдулаев А.А. – Сб. НТК им. Крылова: Планирование и разработка технологии организации судоремонтных работ. – Владивосток, 1988.

4. ISO 17359:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines.

5. ISO 13380:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on using performance parameters.

І.М. СІВАК<sup>1</sup>, В.Т. КРАВЧУК<sup>2</sup>, М.Г. ДІКТЕРУК<sup>2</sup>, Ю.В. ЧОВНЮК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

## МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ТА РЕЗОНАНСІВ У ВІБРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ І СУМІШЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОДНОВИМІРНОЇ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЗА НАЯВНОСТІ НЕЛІНІЙНОЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ СИЛИ

У межах одновимірної дискретно-континуальної моделі за наявності у вібраційної системи ущільнення ґрунтів та сумішей нелінійної відновлюваної сили проведений аналіз вимушених коливань та резонансів, що виникають у ній. Визначені основні кінематичні та динамічні характеристики таких коливань в умовах виникнення у системі основних, супергармонічних й субгармонічних коливань.

Визначені умови, амплітуди та частоти, за яких існують коливання основного типу, а також супер- та субрезонанси аналітичним методом. Для ударних вібраційних систем ущільнення ґрунтів/сумішей детерміновані амплітуди коливань при наявності ударних супер- та субрезонансів.

Для визначення амплітуди усталених коливань використаний метод прямої лінеаризації Я.Г. Пановка, який дозволив встановити залежність між частотою виникаючих нелінійних коливань і їх амплітудою, котра зведена до кубічного відносно амплітуди коливань рівняння, що може бути легко розв'язане за допомогою формул Кардано.

Встановлений вплив в'язкості демпферів, через які передається вимушена сила на основу (об'єкт обробки вібраційним полем). При певній частоті нелінійних коливань, їх амплітуді й певному значенні нелінійної жорсткості системи (робочого органу вібромашини) в'язкість демпферів сприяє зниженню загальної сили, яка передається на основу, а при інших

значеннях вказаних параметрів – цю силу збільшує (аналогія з добре амортизованими системами).

Визначені закони руху вібросистеми за різних видів вимушених сил (їх залежностей від часу).

Встановлений вплив процесу повторення ударів (при ущільненні ґрунтів чи сумішей) й уточнені (виправлені помилки) результати, отримані раніше професором Я.Г. Пановкою.

Використання методу гармонічного балансу дозволило встановити аналітичним шляхом основні характеристики (амплітуду й частоту) нелінійних супер- та субгармонічних коливань. При цьому було з'ясовано, що субгармонічні коливання у даній системі можливі лише при досить великих (відносно основної частоти вільних коливань системи) частотах збудження, якщо пружна характеристика робочого органу вібромашини – «жорстка». У разі існування «м'якої» пружної характеристики робочого органу – вказані коливання виникають при доволі незначних значеннях частоти вимушеної сили. Крім того, субгармонічні коливання за «м'якої» характеристики пружної сили робочого органу вібромашини повинні мати амплітуду, яка перевищує певну «порогову» величину. У разі виникнення у системі супергармонічних коливань за «жорсткої» характеристики пружної сили робочого органу їх амплітуда, навпаки, не повинна перевищувати певне «порогове» значення.

У роботі наведені залежності для визначення характеристик нелінійних коливань при врахуванні оброблюваного вібраційним полем середовища (ґрунти/суміші) як системи з розподіленими параметрами.

Отримані у дослідженні результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку вібраційних систем ущільнення ґрунтів та сумішей (бетонних/будівельних), як на стадіях їх проектування/конструювання, так і у режимах реальної експлуатації.

Н.О. СОКОЛОВА, Є.О. ОБИДЕННИЙ  
Дніпропетровський національний університет  
імені Олеся Гончара

## **ТІНЬОВИЙ АНАЛІЗ ЯК ЕТАП РОЗПІЗНАВАННЯ ЗНІМКІВ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ**

При розпізнавання об'єктів міської забудови ефекти затінення відіграють важливу роль: з одного боку використовуються для виділення наземних об'єктів, а з іншого розглядаються як перешкода, яка затуляє важливі деталі об'єктів зображень ДЗЗ. Одним з етапів розробленої нами технології розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення є тіньовий аналіз, який дозволяє виключати сегменти, які не є будівлею. Суміжність між будівлями і їх тіннями - корисні попередні знання для виявлення будівель, проте тіні від суміжних об'єктів можуть перекриватися, в тому числі і бути тіннями дерев. Також сезонна зміна рослинності та різний кут зйомки може впливати на процес розпізнавання. Тіні будівель можуть не з'явитися там, де очікується, через оклюзії сусідній особливості. Крім того, частини будівлі, можуть бути не виявлені через тіні.

Тіні - як правило, найтемніші ділянки зображення. Початкове дослідження наборів супутникових зображень показало, що тіні можуть бути визначені як нижні 20% значень в дисперсії рівнів сірого в зображенні. Падаюча тінь і самостійна тінь об'єкта мають різні значення яскравості. Яскравість всіх тіней в зображенні залежить від відбивної здатності об'єкта, а також освітлення від вторинних джерел світла. Самостійні тіні, як правило, мають більш високу яскравість, ніж падаючі, так як вони отримують більше освітлення від оточуючих освітлених об'єктів.



Після сегментації, яка заснована на аналізі гістограм і проводиться у всіх трьох RGB-каналах, пікселі з певними значеннями групуються в сегменти (сегменти «особливостей» і сегменти тіні). Аналіз тіні заснований на вихідному "тіньовому образі", створеному в результаті тіньової сегментації. Так як тіньовий сегмент і сегмент будівлі є суміжними, буфер створюється навколо сегментованих тіней. Кожен сегмент тіні потім досліджується на предмет можливого перекриття з буферами «особливих» сегментів (оскільки може бути більш однієї тіньової області навколо будівлі). Будь-який сегмент, який перекривається буфером тіні, позначається як потенційна будівля. Далі, розглядається відносне розташування тіні і сегмента, визначається особливості розташування і орієнтації кожного сегмента особливостей і тіньового сегмента, засноване на аналізі моментів зображення. Алгоритм обчислює центральну позицію, еліпс зображення і орієнтацію сегмента. Якщо жоден сегмент-кандидат не перекриває тіньовий буфер, досліджуються топологічні відносини між особливостями. Якщо сегмент з особливостями, у якого немає падаючої тіні, торкається іншого сегмента з особливістю, у якого є тінь, яка падає на правильній стороні, то сегмент особливості залишається. Дотичні сегменти повинні бути однаковими за розміром і орієнтацією, щоб бути класифіковані тіньовим аналізом. Це обмеження знижує можливу плутанину між різного типу особливостями, наприклад, між будівлею і рослинністю.

**Висновки.** Тіньовий аналіз дозволяє вилучати сегменти, які не є будівлями. Звуження діапазону тіні на гістограмі до 15% дозволяє проводити більш чітке розмежування між тінню і особливістю.

1. Vasiliev V.V. Moroz K.Yu. Automated shadow identification for building change detection using space images. //«Передовые методы обработки и анализа космической информации» Международная научно-практическая конференция 3-4 декабря 2015г. Сборник тезисов. – Днепропетровск, 2015. - С.16-19.

2. Y.I.Shedlovska, V.V.Hnatushenko. Shadow removal algorithm with shadow area border processing// II International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF-2016) 10-14 Oct. 2016. Kharkiv, Ukraine. P.164-167

А.С. СОЛОВЕЙ<sup>1</sup>, А.П. БЕНЬ<sup>1</sup>, С.А. РОЖКОВ<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Херсонская государственная морская академия

## **ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МОРСКИХ СУДОВ**

Задачи динамического позиционирования судна отличаются от других задач управления движением прежде всего тем, что объект (судно) в режиме позиционирования имеет незначительные собственные скорости, а гидродинамические силы на корпусе и руле оказывают незначительные воздействия на динамику процессов управления [1].

Рассмотрим простейший случай многомерного динамического объекта [2]. В простейшем случае модель линейного многомерного динамического объекта в пространстве состояний принимает вид:

$$\dot{\mathbf{x}} = A(t)\mathbf{x} + B(t)\mathbf{q} \quad (1)$$

Выделим в (1) матрицу объекта  $A_0$  и корректирующую матрицу пропорционального регулятора  $A_p$ , исходя из желаемых собственных чисел. Для обеспечения отсутствия ошибки статизма введем матрицу  $K_u$  и интеграторы, образуя цепь И-компоненты регулятора:

$$\dot{\mathbf{x}} = A(t)\mathbf{x} + B(t)\left(\mathbf{q} - A_p(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) - K_u \int_0^t (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) dt\right). \quad (2)$$

Для многомерной системы необходимо определить прогнозную модель при ограничениях линейным приближением [2 - 4]. Включив в описание модели старшие производные, например, до вторых приближений, получаем увеличение точности воспроизведения процесса  $\dot{\mathbf{x}}$  (3):

$$\ddot{\mathbf{x}} = A_1(t)\dot{\mathbf{x}} + A_0\mathbf{x} + B(t)\mathbf{q}. \quad (3)$$

Таким образом, получаем многомерный ПИД-регулятор, где система управления описывается моделью (4):

$$\ddot{\mathbf{x}} = A_1(t)\dot{\mathbf{x}} + A_0\mathbf{x} + B(t)\left(\mathbf{q} - A_p\boldsymbol{\varepsilon} - K_u \int_0^t \boldsymbol{\lambda} dt - K_d \frac{d\boldsymbol{\lambda}}{dt}\right). \quad (4)$$

Исходя из представления сигнала временным рядом и основываясь на остатке ряда можно утверждать о точности, где оценку ошибки получаем в виде выражения (5)

$$\Delta\mathbf{x} = \sum_n^{\infty} A_i(t) \frac{d^i \mathbf{x}}{dt^i}. \quad (5)$$

Стремление уменьшить ошибку представления переменной состояния приводит к повышению порядка объекта, и как следствие, к повышению глубины прогноза поведения объекта.

**Выводы.** Закон регулирования для линейной системы однозначно определяется порядком системы. Для многомерной системы, представленной канонической формой, соответствует ПИ-регулятор, а введение Д-составляющей связано с ошибкой в линеаризации системы. Существует простое соответствие между прогнозом измерением фильтрацией и компонентами закона регулирования.

1. Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. –СПб.: АНО НПО Мир и семья, 2001. – 560 с.
2. Егупов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. / Под ред.. Н. Д. Егупова, К. А. Пупкова: Учебник. В 5 т. Том 5. Синтез регуляторов систем автоматического управления. – М.:МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 616 с.
3. Perez T. Ship Motion Control. Monograph. – Berlin: Springer, 2005. – 300 pp.
4. Thor I. Fossen. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. First Edition (2011). John Wiley & Sons Ltd. – 575 p.

Р.О. СУХОМЛИН<sup>1</sup>, О.І. МИХАЛЬОВ<sup>1</sup>, Н.С. ПРЯДКО<sup>2</sup>, К.В. ТЕРНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національна металургійна академія України

<sup>2</sup> Інститут технічної механіки НАНУ і ГКАУ

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕКОМПОЗИЦІЇ SSA ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ МАТЕРІАЛУ

Використовуючи млин УСІ-20 в роботі вирішувалося завдання визначення структури суміші матеріалу в процесі подрібнення лише за отриманими акустичними сигналами. Для цього необхідно порівняти сигнали суміші з сигналами окремих фракцій

матеріалу, які були отримані в результаті експериментів. Проблема полягає в тому, що сигнали подрібнення складаються не тільки з несучих частот, але і з шумових компонент, які необхідно відокремити, до того ж сигнали нестаціонарні. Для декомпозиції сигналів і виділення характерних проміжків частот був використаний метод SSA.

Таблиця I Позначення сигналів

Позначення сигналу	Опис сигналу
d_s01	Фракція розміром 0,01
d_s016	Фракція розміром 0,016
d_s02	Фракція розміром 0,02
d_s0315	Фракція розміром 0,0315
d_s04	Фракція розміром 0,04

Таблиця II Склад суміші

Склад суміші	Вага, %
d_s01	1,96
d_s016	11,2
d_s02	78,8
d_s0315	7,4
d_s04	0,64

Для спектрів всіх сигналів обчислена спектральна щільність потужності (СЩП) і побудована її огинаюча. Потім стандартне відхилення огинаючої СЩП окремих фракцій накладена на сигнал суміші. На графіках наведено накладення на проміжку характерних частот [0-60] кГц, який був отриманий за допомогою методу SSA (довжина вікна  $L=10$ ).

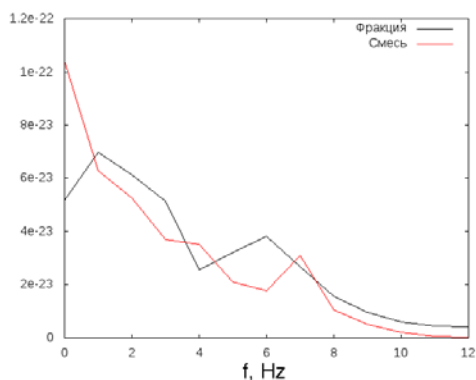


Рисунок 1 – Стандартне відхилення СЩП суміші і d\_s016

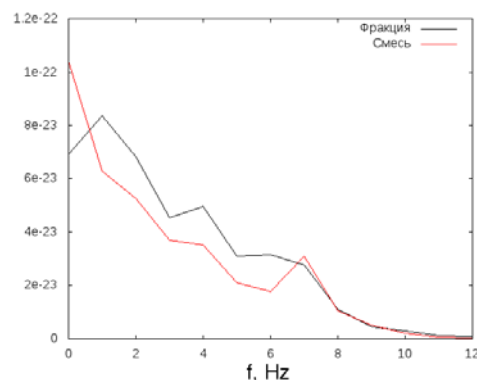


Рисунок 2 – Стандартне відхилення СЩП суміші і d\_s02

**Висновки.** Якщо проаналізувати графіки, то можна помітити, що структура стандартного відхилення сигналів фракцій і суміші приблизно збігаються, саме у фракцій з найбільшим відсотком ваги. Застосування SSA дозволило швидко знайти проміжки з характерними частотами і відокремити їх від шумовий складової, а також взяти до уваги нестаціонарність вихідного сигналу. Найкращий результат виходить при застосуванні SSA з довжиною вікна 10, яким було виділено проміжок частот [0-60] кГц. Отже використовуючи методи аналізу наведені в статі можна визначити основні фракції, що входять у суміш, що дозволить поліпшити якість продукту подрібнення.

Опис до патенту України на корисну модель UA 53772 U МПК(2009) B02C 25/00. Спосіб безперервного контролю гранулометричного складу матеріалу, що подрібнюється у кульовому млині / А.В. Рябушко , В.І. Пермяков, О.О. Кулаєнко.

## ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЇ ВОДНЮ НА ЛІНІЇ ВИСОКОГО ТИСКУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Розчинення - складний гетерогенний процес. Його швидкість залежить від багатьох факторів, причому, як правило, характер зміни цих факторів в ході самого розчинення підпорядковується складним закономірностям. Сучасний стан теорії розчинення дає можливість уявити собі фізико-хімічну картину багатьох існуючих елементів процесу розчинення. Розглянуто абсорбцію водню при змішуванні з дизельним паливом, при якій розчинений газ транспортується від поверхні конвективними потоками рідини. Найбільший інтерес, являє модель оновлення поверхні.

У цій моделі розглядається дискретне в часі заміщення елементів рідини біля поверхні, рідиною з глибинних шарів, які мають локальний склад, який відповідає середньому складу основної маси. Поки елемент рідини знаходиться біля поверхні і стикається з газом, абсорбція газу рідиною і відбувається при таких же умовах, як якщо б він був нерухомий і мав нескінченну глибину заміщення рідини біля поверхні свіжої рідиною основного складу може здійснюватися за допомогою турбулентних пульсацій.

При розрахунку необхідно враховувати, що вся площа  $S_{\Sigma}$  братиме участь в процесі розчинення тільки в першій його фазі. Це можна пояснити наступним чином: тому що обсяг розвантажувального клапана дорівнює обсягу змішувально-акумуляуючої камери, то в момент посадки клапана на сідло під дією тиску газу відбудеться відтік палива з камери повністю. Виходячи з даних розрахунків можна отримати такі залежності (рис. 1, рис. 2).

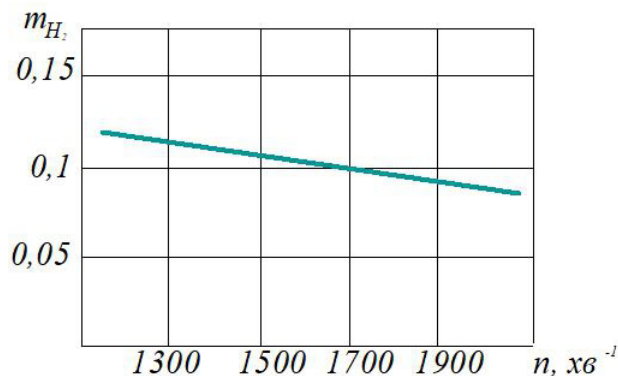


Рис. 1. Розрахункова залежність кількості абсорбованого водню від частоти обертання дизеля

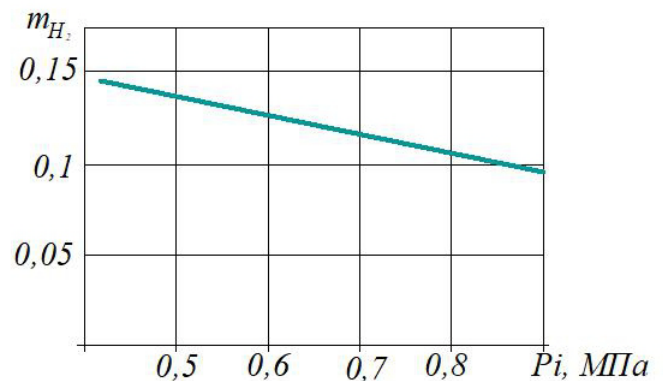


Рис. 2. Розрахункова залежність кількості абсорбованого водню від

При насиченні дизельного палива воднем процес протікає головним чином за механізмом фізичної абсорбції, швидкість процесу визначається концентрацією водню  $K^*$  на поверхні контакту, коефіцієнтом  $D_c$  і часом контакту  $\tau$ .

Проведені розрахункові дослідження та запропонована математична модель насичення дизельного палива воднем в умовах роботи паливної апаратури дизеля дозволяють виконувати аналогічне визначення характеристик розчинення з точністю 5-7%.

1. Вагнер В.А, Пути использования водорода как топлива для дизелей. - В. кн.: Молодые учёный и специалисты Алтая - народному хозяйству. - Барнаул, 1983. - 88 с.
2. Видгорчик Е.М., Штейн А.Б. Математическое моделирование непрерывных процессов растворения. - М.: Химия, 1971. - 245с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКРЫЛКА ГЕРНИ ПРИ ОБТЕКАНИИ НЕСУЩЕГО ПРОФИЛЯ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ**

С развитием численного моделирования позволяющего резко сократить стоимость и затраты времени на исследование аэродинамических характеристик стандартных несущих профилей, в инженерной практике прекратился фактический рост аэродинамического качества профилей для всех специфических направлений применения винтокрылой несущей системы. Дальнейшее исследование обтекания несущих систем заключается в применении статичных геометрических образованиях, таких как предкрылки и закрылки.

В работе предложен метод расчета аэродинамических характеристик профилей, основанный на осредненных по Рейнольдсу уравнениях Навье-Стокса. Изучено влияние закрылка Герни . Рассматривается стационарное турбулентное двухмерное обтекание исследуемого объект, вязким сжимаемым газом. Проведено сравнение численных результатов с натурными экспериментами в аэродинамической трубе при различных углах атаки с использованием закрылка Герни, которое свидетельствует о достоверности разработанного метода и эффективности работы закрылка Герни для стандартных несущих профилей на малых скоростях.

**Выводы.** Рассмотрено стационарное турбулентное двухмерное обтекание профиля AV 216 вязким сжимаемым газом. Проведено сравнение численных результатов с натурными экспериментами в аэродинамической трубе при различных углах атаки, которое свидетельствует о эффективности применения закрылка Герни для повышении качества профиля, работающего на невысоких скоростях, а так же о достоверности и эффективности разработанного численного метода, ранее предложенного в [3].

1. Миль М.Л., Некрасов А.В., Браверманн А.С. и др. Вертолеты. Расчет и проектирование.- М.: Машиностроение, 1966.- Кн. 1- 456 с.
2. Harris,C.D.,Two-Dimensional Aerodynamic Characteristics Of The NACA 0012 Airfoil In the Langley 8-Foul Transonic Pressure Tunnel, NASA TM-81927 (1981)
3. Удовенко В.В., Стрельникова Е.А. Сравнение экспериментальных аэродинамических характеристик профилей с результатами численного моделирования для режима трансзвукового обтекания, Вестник ХНТУ. –Херсон: ХНТУ, №58, 2016.

В.Г. УСЕНКО, Д.Ф. ПОГОРЛИЙ, І.С. УСЕНКО  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## **ЙМОВІРНІСТЬ ЗВ'ЯЗНОСТІ ТРИКІЛЬЦЕВОЇ СТРУКТУРИ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕРЕЖІ З РІЗНОЮ НАДІЙНІСТЮ ЕЛЕМЕНТІВ**

У процесі проектування та оновлення різних комунікацій в містобудуванні, водопровідних, теплових, газових мереж, мереж операторів стільникового зв'язку та інших інженерних мереж знаходження ймовірності зв'язності є актуальним питанням [1].

Складність та комплексність проблеми надійності технічних систем визначає необхідність спільної взаємодії різних наукових напрямів для успішного її вирішення. Результати проведених досліджень вказують на те [2], що окремі розрізнені засоби, методи, моделі, алгоритми не дають можливості суттєво підвищити рівень надійності технічних систем. Збільшення ефективності вирішення кожного питання досягається комплексно з отриманням якісно нових результатів [2].

Розглянемо моделювання надійності структури з трьома кільцями. Вважатимемо, ділянки мають різну надійність:  $r_1^d \neq r_2^d \neq \dots \neq r_n^d$ . Обмеження: надійність вузлів вважатимемо абсолютною  $r_1^v = r_2^v = \dots = r_n^v = 1$ .

Рівняння ймовірності зв'язності паралельної структури  $S^4$  із чотирьох ділянок має вигляд

$$R = M(1 + \sum_{i=1}^p e_i + F), \quad (1)$$

де

$$F = e_h + \sum_{i=1}^{h-1} e_i(1 + e_h) + \sum_{i=1}^j e_i \sum_{i=j+1}^h e_i, \quad e_i = \frac{1 - r_i}{r_i}, \quad M = \prod_{i=1}^n r_i$$

$r_i$  – значення надійності  $i$ -ї ділянки структури  $S^p$ ,  $p$  – число ділянок в структурі

**Висновок.** Отримано вирази надійності мережі, що має різну надійність ділянок зі структурою, що має три цикли. Компактна структура рівнянь надійності є зручною для комп'ютерного моделювання. Формули ймовірності зв'язності трикільцевих структур мереж з ділянками, що мають різну надійність входять до моделей на етапах проектування та реконструкції структурно-складних резервованих систем для прийняття оптимальних рішень.

1. Райншке К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И. А. Ушаков. – М. : Радио и связь, 1988. – 209 с.

2. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1985. – 606 с.

Л.С. ФОНАР

Одеський національний політехнічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ ЧЕБИШЕВА

Для сучасних радіотехнічних систем і пристроїв, які працюють у реальному масштабі часу при параметрах вхідних сигналів, що постійно змінюються, особливо важливим завданням є розробка методів і засобів аналізу нестационарних процесів. При сучасному рівні розвитку техніки необхідне дотримання підвищених вимог до швидкодії та ефективності проведених вимірювань при змінах параметрів сигналів і кіл. Нестационарність проявляється практично при всіх змінах параметрів кіл і сигналів. Незважаючи на важливість відомих напрямків аналізу нестационарних сигналів і корекції динамічних спотворень на сьогоднішній день не отримали належного розвитку методи оцінки частотно-часових характеристик цифрових фільтрів за допомогою метода динамічного коефіцієнта передачі (ДКП) [1].

Були визначені частотно-часові характеристики цифрових фільтрів Чебишева, необхідні для аналізу динамічних режимів їх роботи та визначення їх динамічних похибок. Щоб уникнути недоліків, властивих цифровим фільтрам при синтезі по аналоговому прототипу методом інваріантної імпульсної характеристики - неможливість отримати нескінченно малу смугу пропускання, виникнення ефекту накладення спектрів на краях діапазону за рахунок дискретизації та інш., застосовуємо метод  $z$ -перетворення їх частотних характеристик [2, 3], який дозволяє виключити зазначені недоліки. В динамічному режимі для аналізу відгуку фільтра на сигнал з частотою  $n\Omega$  проводиться порядкове обчислення  $n$ -го рядка, а для визначення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) в динамічному режимі - усічення, починаючи з  $k$ -го стовпця.

Проведено моделювання роботи фільтрів Чебишева третього порядку як фільтрів з високою вибірковою в динамічному режимі. Для аналізу роботи фільтра у динамічному режимі побудовані обвідна фільтра та ДКП (рис.1).

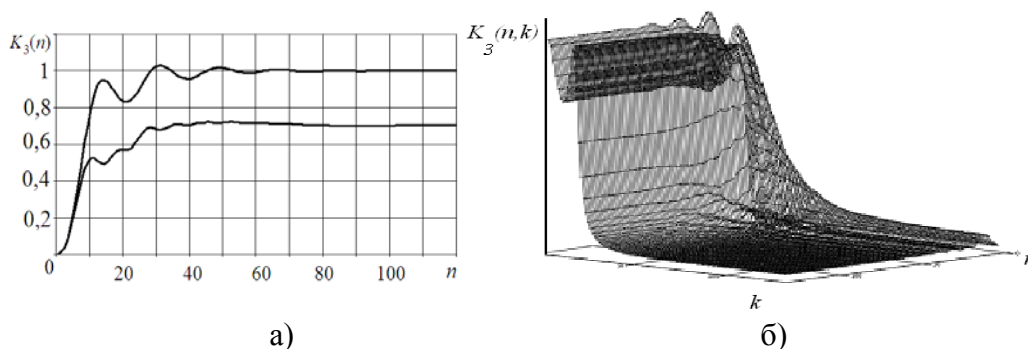


Рис. 1 Зміна обвідної (а) на резонансній частоті (1) і на границі смуги пропускання (2) та ДКП (б).

**Висновки.** Для визначення динамічних характеристик цифрових фільтрів після обчислення вибірок імпульсного відгуку слід використовувати усічену матрицю ДПФ; при частоті  $\Omega = 0$  динамічні коефіцієнти передачі цифрових Чебишева приймають вид перехідних характеристик; динамічні коефіцієнти передачі цифрових фільтрів Чебишева як функція часу при  $t \rightarrow \infty$  плавно переходять до стаціонарного значення.

1. Філіпський, Ю.К. Динаміка сигнальних перетворень / Ю.К. Філіпський. — Одеса: ОДПУ, 2006. — 89 с.
2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов. / А.Б. Сергиенко. — 2-е изд. — СПб.: Питер. — 2007. — 751 с.
3. Гадзиковский, В.И. Методы проектирования цифровых фильтров / В.И. Гадзиковский. — М.: Телеком, 2007, — 416 с.

А.Ю. ХАЛИМОН, І.В. БАКЛАН  
НТУУ “КПІ” ім. І.Сікорського

## ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Сучасний стан науково-технічного прогресу характеризується динамікою економічних, соціальних, науково-технічних та інших процесів. Іншим серйозним викликом є вибухоподібне зростання кількості даних, що накопичуються людством про ті самі ж процеси. Це проявляється в надзвичайному поширенні різноманітної техніки, яка потребує для свого створення і оптимізації достовірні моделі, з іншої ж сторони - з'являється

можливість збирати велику кількість даних про діяльність машин, людей, природи (різноманітного роду датчики - GPS, гіроскопи, акселерометри, термометри, весь Internet of Things (IoT)), і засобів до обробки цих даних (GPU, нейронні мережі, бази даних для часових рядів (InfluxDB), Hadoop та ін.).

В зв'язку з цим постає необхідність дослідження даних процесів з використанням великої кількості вже накопичених і майбутніх даних. Природа самих процесів дуже часто невідома, і для роботи з ними необхідно їхнє моделювання. Більшість таких процесів можна описати з допомогою часових рядів, які переважно моделюються з допомогою методів регресійного аналізу. Незважаючи на простоту даних рішень та їхню ефективність, багато складних процесів не можна дослідити точно з їх допомогою.

Іншим, ще більш складним завданням є дослідження саме внутрішньої структури процесу, його фаз. Лінгвістичне моделювання, на відміну від апроксимації процесу вже відомими функціями, не надає моделі процесу форми вже відомої функціональної залежності, але гнучко описує внутрішню структуру процесу, даючи змогу не тільки проводити екстраполяцію ряду, а і дати досліднику розуміння природи процесу.

На даний момент, моделі, схожі з даною, було успішно застосовано до задач розпізнавання природної мови, однак лінгвістичне моделювання не обмежується цієї областю, і існують підстави вважати, що коло застосування таких Ціллю моделювання є аналіз та передбачення поведінки модельованого об'єкта. Основна проблема моделювання - баланс між точністю моделі та її коректністю. Ускладнюючи модель, ми зменшуємо її загальність - можливість використання для інших часових рядів, а також можемо зробити гіпотези, які не є достовірними. Характерною відмінністю лінгвістичне моделювання є можливість глибокого аналізу причинно-наслідкових зв'язки, що існують в об'єкті, поєднуючи рух і час.

**Висновки.** Описаний метод найкраще підходить для процесів аперіодичних процесів із складною внутрішньою структурою, які мають виражені внутрішні стани – тобто такі, що можуть бути описані прихованими марківськими моделі. Для моделей із структурою, що описуватиметься простими математичними моделями, скоріше за все, лінгвістичне моделювання не матиме подібних переваг.

1. Fu K. S. A step towards unification of syntactic and statistical pattern recognition / K. S. Fu // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – Vol. PAMI-8, № 3 (May). – P. 398–404.
2. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти / І. В. Баклан. // Системные технологии. – 2011. – № 3 (74). – С. 10–19.

Р.І. ЧАПЛІНСЬКИЙ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ МЕХАНІЗМИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕНЬ В АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ МЕДИЧНИХ УСТАНОВ**

Інформаційні технології сьогодні стали невід'ємною частиною організаційної структури медичних закладів. Проте часто значна частина бюджету медичних закладів витрачається на підтримку нефункціональних технологічних інфраструктур [1]. Внаслідок цього залишається мало коштів на впровадження нових технологічних рішень, зокрема проектів.

В роботі досліджуються проблеми, які виникають у процесі розробки та впровадження сучасних медичних інформаційних технологій в діяльність закладів охорони здоров'я та визначення основних перспективних напрямків впровадження інформаційних



технологій в медичну практику. Метою дослідження є проектування гнучкої архітектури програмного забезпечення на основі раціонального уніфікованого процесу розробки, з використанням інтерактивних алгоритмів та механізмів для автоматизованих інформаційних систем медичних установ.

Створення в лікарні потужної інформаційної системи не лише дає змогу забезпечити більшу прозорість процесу лікування для лікарів та пацієнтів, а й також підвищує оперативність роботи медичної установи та відкриває можливості для впровадження нових методів догляду за хворими. Зокрема медичну інформацію можна отримати безпосередньо біля ліжка пацієнта під час обходу, історії хвороб можуть бути доступні для персоналу медичного закладу, лікарів. Таким чином підтримується ефективний обмін інформацією про пацієнтів, які звернулися у медичний заклад.

Для досягнення максимальної гнучкості інформаційної системи в більшості випадків доцільно використовувати архітектуру «клієнт-сервер» (рис. 1).

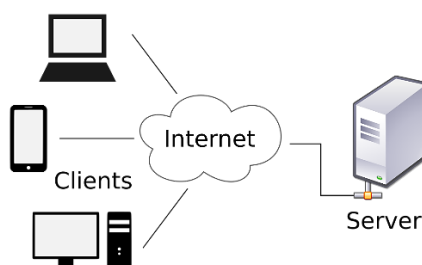


Рис. 1. Архітектура програмного забезпечення «клієнт-сервер»

Обробка інформації має здійснюватися якомога ближче до її застосування. Розподіл застосувань між відповідними частинами системи дозволяє медикам продовжувати роботу на місцях навіть у разі виникнення проблем із загальними комунікаціями. Необхідною умовою забезпечення інтероперабельності та гнучкості таких систем є використання відкритих комунікаційних стандартів [2].

**Висновки.** Отже, підсумувавши матеріали роботи, можна зробити висновок, що автоматизація медичних установ – це створення єдиного інформаційного простору, що у свою чергу дозволяє створювати автоматизовані робочі місця лікарів, створювати бази даних пацієнтів, їхні електронні медичні та амбулаторні картки, вести електронні історії хвороб, організувати роботу відділу медичної статистики, а також об'єднувати в єдине ціле всі лікувальні, діагностичні, адміністративні та фінансові процеси.

1. Ебель В.К. «Нові комп'ютерні технології в медицині» [Текст] / В.К. Ебель, Алмати, 2013. – 112 с.

2. Якобсон А. «Унифицированный процесс разработки программного обеспечения» [Текст] / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – Спб.: Питер, 2010. – 496 с.

D. CHERNIY<sup>1</sup> and S. DOVGYI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kiev National Taras Shevchenko University, Kiev, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunication & Global Information Space, Kiev, Ukraine

## THE TRANSFORMATION of DISCRETE SINGULARITIES for the 2D VORTEX (CIRCULATION) FLOWS "

For quadrature representation of an analytic function having a dependence on the parameter, the proposed conversion of the discrete features, which avoids the problems associated

with multivalued-functions. This conversion allows you to calculate the values of analytic functions and its derivatives in the parameter, the entire area is a curved border region.

The main goal of the report is an application of vortex methods to modeling of the flow with complex geometry of moving boundaries. This problem has a wide application in different branches of hydromechanics.

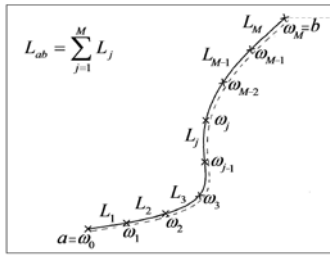


Fig.1.

$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^M \frac{1}{2\pi i} \int_{L_j} f(\omega) \ln(z - \omega) d\omega$$

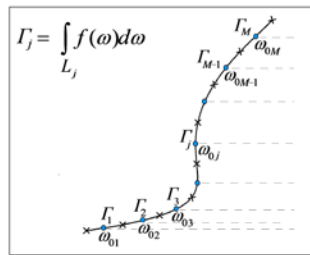


Fig.2.

$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^M \frac{\Gamma_j}{2\pi i} \ln(z - \omega_{0j})$$

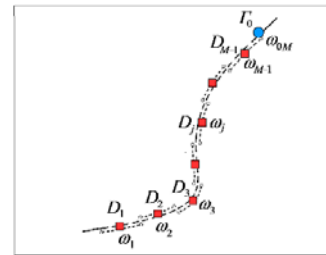


Fig.3.

$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^{M-1} \frac{D_j}{2\pi i(z - \omega_j)} + \frac{\Gamma_0}{2\pi i} \text{Ln}(z - \omega_{0M})$$

In some hydrodynamic problems, vortex flow can be approximated by circulation. In such cases, the unit uses analytic functions. Suppose that an analytic function defined at all in the area and has a representation in the form of a contour integral (1).

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_L f(\omega) \ln(z - \omega) d\omega = \sum_{j=1}^M \frac{1}{2\pi i} \int_{L_j} f(\omega) \ln(z - \omega) d\omega \quad (1)$$

In this case, it is assumed that the line discontinuity coincides with the of the contour line (Fig.1). For a given circuit partitioning conditions, the integral representation (1) can be replaced by quadrature:

$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^M \frac{\Gamma_j}{2\pi i} \ln(z - \omega_{0j}) \quad (2)$$

all the terms of which are multi-valued functions with a dedicated break.

This system covers to the gaps of the area outside the circuit (Fig.2). Representation (2) can be converted into a sum total of dipoles and vortex (Figure 3), with the only possible gap

$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^{M-1} \frac{D_j}{2\pi i(z - \omega_j)} + \frac{\Gamma_0}{2\pi i} \text{Ln}(z - \omega_{0M}), \quad (3)$$

$$\text{when } \Gamma_0 = \sum_{j=1}^M \Gamma_j \neq 0 \quad (4)$$

Deforms the flow region, changing its geometry with moving boundary is a dynamic system. In this case

$$\Phi(z, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{L_d(t)} f_d(\omega, t) \ln(z - \omega) d\omega + \frac{1}{2\pi i} \sum_{p=1}^P \int_{L_p^v(t)} f_v(\omega, t) \ln(z - \omega) d\omega \quad (5)$$

The characteristic feature of separated unsteady flow, defined by a moving boundary is shown in Fig.4.

Then, the real part of the quadrature representation

$$\Phi(z, t) = \sum_{p=2}^P \frac{\Gamma_j(t)}{2\pi i} \ln(z - \omega_{0j}(t)) + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^{n(t)} \frac{\gamma_s^p}{2\pi i} \ln(z - \omega_{0s}^p(t)) \quad (6)$$

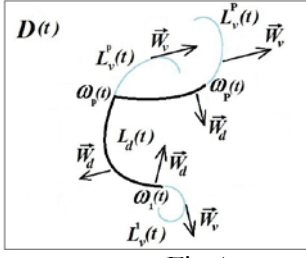


Fig.4.

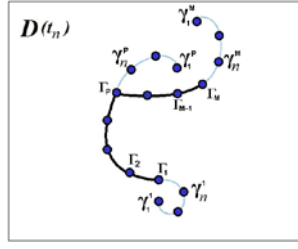


Fig.5.

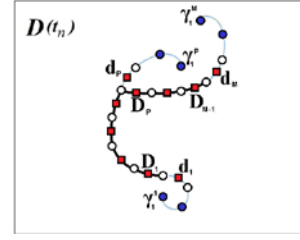


Fig.6.

It has the form 
$$\varphi(x, y, t) = \sum_{j=1}^M \frac{\Gamma_j(t)}{2\pi} \text{Arctg}\left(\frac{y - y_{0j}(t)}{x - x_{0j}(t)}\right) + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^{n(t)} \frac{\gamma_s^p}{2\pi} \text{Arctg}\left(\frac{y - y_{0s}^p(t)}{x - x_{0s}^p(t)}\right) \quad (7)$$

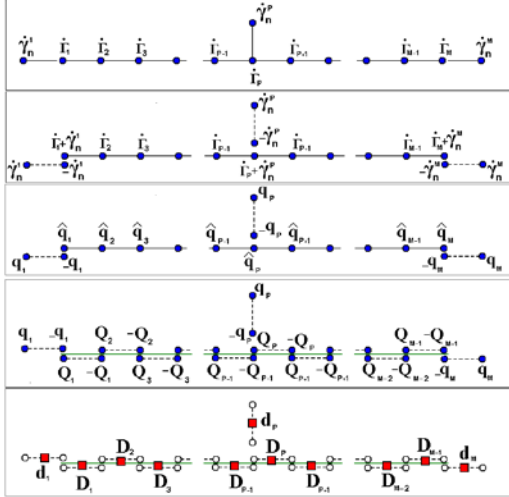


Fig.7.

Converted to the form (through unambiguous function):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x, y, t)}{\partial t} = & \sum_{j=1}^{M-1} (\bar{D}_j \cdot \bar{V}_j(x, y, \bar{x}_j(t), \bar{y}_j(t))) + \sum_p (\bar{d}_p \cdot \bar{V}_p(x, y, \bar{x}_p^p(t), \bar{y}_p^p(t))) - \\ & - \sum_{j=1}^M \Gamma_j(t) (\bar{V}_j(x, y, x_{0j}(t), y_{0j}(t)) \cdot \bar{W}_d(x_{0j}(t), y_{0j}(t))) - \\ & - \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^n \gamma_i^p (\bar{V}_i(x, y, x_i^p(t), y_i^p(t)) \cdot \bar{W}_v(x_i^p(t), y_i^p(t))) \end{aligned} \quad (9)$$

The conversion algorithm from the vortex to the dipole representation is shown in Fig. 7. Transformation systems discrete vortices to system of discrete singularities higher order allows to obtain the distribution of continuous dynamic system characteristics in the entire region of its borders flow is at any given time.

1. D.Cherniy, S.Dovgiy, O.Lebid *Proc. XIV International Symposium "Discrete Singularities Methods in Mathematical Physics"*, 90-91 (2015).
2. D.Cherniy, S.Dovgiy, V.Meleshko *Proc. IUTAM Symposium "Vortex Dynamics: Formations, Structure and Function"*, Fukuoka, Japan, 126-127(2013).
4. D.I.Cherniy *Proc. XIV International Symposium "Discrete Singularities Methods in Mathematical Physics"* 185-187 (2009).
5. S.A.Dovgiy, I.K.Lifanov, *Naukova dumka, Kiev*, (2004).

## МЕТОДИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ Й АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУДЖЕНЬ ТА РЕЗОНАНСІВ ЗА ПЕРІОДИЧНИМ КУСКОВО-ПОСТІЙНИМ ЗАКОНОМ В УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ/БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Визначені умови виникнення та існування параметричних резонансів в ударно-вібраційних системах ущільнення бетонних/будівельних сумішей при періодичному кусково-постійному законі зміни жорсткості робочого органу.

Проведений аналіз стійкості коливань віброударної системи за відсутності й при наявності сил в'язкого тертя.

Зокрема, визначені умови, за яких параметричний резонанс віброударної системи (ВУС) виникає при будь-якій малій глибині пульсації жорсткості робочого органу ВУС. При цьому основне значення має випадок, коли середнє значення власної частоти ВУС вдвічі менше частоти параметричного збудження. При значній глибині пульсації й суттєвій відмінності коефіцієнта, який характеризує цю глибину, від нуля параметричний резонанс ВУС виникає у цілих областях значень  $\alpha$ , розміщених поблизу значень  $\alpha \approx n/2$ , де  $n=1,2,3,4,\dots$ , а  $\alpha$  – є відношення середнього значення власної частоти ВУС до частоти пульсації параметра жорсткості ВУС, а саме її робочого органу. З цієї причини віддалитись від зони параметричного резонансу важче, ніж від звичайного резонансу. Крім того, лінійне демпфування лише дещо звужує області нестійкості функціонування ВУС у зонах параметричного резонансу, але не здатне обмежити зростання амплітуд параметричних коливань у цих областях.

Встановлені умови існування й деяких інших станів ВУС: 1) стан, за якого параметричні коливання у ВУС затухають з плином часу; 2) стан, за якого у ВУС існують стаціонарні параметричні коливання.

Визначені умови, за наявності у ВУС в'язкого тертя, котрі детермінують значення коефіцієнту в'язкого тертя, що відповідає певному пороговому значенню, перевищення якого призводить до виникнення й існування у ВУС параметричних резонансів.

Отримані у даній роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку ВУС для формування/ущільнення бетонних або будівельних сумішей об'ємним чи поверхневим способом, в яких враховані їх дискретні та континуальні властивості.

В.Н.ШУТЬ

Брестский государственный технический университет

## МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Наиболее распространенным способом дорожного регулирования является светофор с фиксированным временем фазы. При данном способе организации дорожного движения все светофоры настроены четким последовательным алгоритмом, который не изменяется в течение дневного времени. Поскольку алгоритм управления светофором статичен, а транспортный поток динамичен, подобного рода светофор будет оптимально управлять транспортным потоком лишь в течении небольшого промежутка времени[1].

Более эффективным способом работы светофоров является адаптивная система, которая подразумевает под собой непрерывную возможность получения данных о входном

потоке механических транспортных средств. Т.е. в зависимости от количества транспортных средств, пересчитывается и корректируется время фазы светофора. Также наряду с разработкой систем и алгоритмов, обеспечивающих адаптивное регулирование, в последнее время стали популярны системы, осуществляющие прогнозирование будущего состояния дорожной сети на основе ранее собранных данных и текущей дорожной обстановки[2,3].

Предлагается новый способ дорожного регулирования, базирующийся на синхронизации движения транспортных потоков. Разрабатываемый способ управления подразумевает под собой систему, в которой информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений), а также воздействие на поведение водителей выполняются постоянно и решение о передвижении автотранспортных средств (АТС) принимается в реальном времени.

Любая система осуществляющая регулирование дорожного движения должна в определенной степени учитывать характеристики транспортного потока (ТП), чем больше особенностей ТП учтено при проектировании системы управления, тем эффективнее будет осуществляться регулирование. По своей природе транспортный поток не является однородным, поскольку состоит из различных транспортных средств с различными динамическими характеристиками, под управлением водителями с разным опытом и квалификацией. Основные параметры, которыми можно охарактеризовать транспортный поток являются: *интенсивность  $N$ , средняя скорость  $V$  и плотность  $D$ . Уравнение транспортного потока выражается как  $N = DV$ .*

При определенной плотности транспортного потока его интенсивность начинает замедляться. Многие исследователи сравнивают подобное поведение транспортного потока с движением воды в канале. Если быстро преградить путь потоку воды в канале, то он мгновенно остановится и по поверхности пробежит обратная волна. Эффект обратной волны применительно к транспортному потоку выражается в резком снижении скорости вдоль колонны и сокращении интервалов между автомобилями. При дальнейшем увеличении плотности потока происходит снижение интенсивности и как следствие возникает дорожный затор. В работе предлагается способ избежать данного негативного эффекта.

1. Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, – М.: Транспорт, 1981. – 84-116с.

2. Шуть В.Н. Адаптивное управление транспортными потоками в улично-дорожной сети города / В.Н.Шуть – Брест: Издательство Бр.ГТУ, 2015-188с

3. Anfilets, S.V. Shut Evaluating The Effectiveness Of The Adaptive Control System In Brest Region / S.V. Anfilets // International Congress Of Heavy Vehicles, Road Trains And Urban Transport. – Минск, 2010. – С. 222–226

**СЕКЦІЯ:**  
**ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ.**  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНІ НАУКИ.**

## ЗАСТОСУВАННЯ Б-ЛІНІЙ ТА Б-ПОВЕРХОНЬ У КОМПОЗИЦІЙНОМУ МЕТОДІ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В теперішній час, при впровадженні енергозберігаючих технологій, часто виникає проблема поєднання великої кількості фізично різнорідних факторів, що значно ускладнює прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Існуючі алгебраїчні методи кореляції вихідних факторів висувають певні обмеження за кількістю та якістю вихідних факторів. Усунення таких обмежень є актуальною проблемою, яку можна розв'язати з використанням композиційного методу формалізованого геометричного моделювання.

Підґрунтям для розробки композиційного методу геометричного моделювання стало точкове числення Балюби-Найдиша (БН-числення) [1, 2]. Точкове рівняння сегменту поверхні  $M$ , побудованої на дев'яти вихідних точках  $A_{ij}$ , з урахуванням функцій-параметрів  $a_{ij}$  буде мати вигляд:

$$M = \sum_{i,j=1}^3 A_{ij} a_{ij}; \quad (1)$$

Цей сегмент поверхні (1), який складається із чотирьох чарунок, нами названо Б-поверхнею (Балюби поверхнею), щоб відрізнити геометро-математичний спосіб його утворення. Сегмент Б-поверхні має одне рівняння поверхні, яка проходить через дев'ять, наперед заданих точок.

В роботі показано, що точкове БН-числення надає новий спосіб побудови ліній і поверхонь, який полягає у тому, що кожній точці з множини, що утворює певну геометричну фігуру, відповідає свій набір часток від базових точок симплексу. При цьому, необхідною умовою є рівність одиниці суми цих. Такий підхід щодо визначення геометричних фігур нами було названо композиційним. Композиційний метод геометричного моделювання не потребує розв'язання системи рівнянь для визначення коефіцієнтів, які забезпечують їхнє проходження через наперед задані точки. Це має велике практичне значення для геометричної формалізації багатфакторних ситуацій та процесів. Точкові рівняння геометричних фігур отримані шляхом встановлення внутрішніх зв'язків між базовими точками симплексу і змінюваної точки фігури без використання аналітичних методів моделювання, тобто, без встановлення геометричних зв'язків між елементами фігури. Такий підхід нами названо «геометро-математичним апаратом» формалізації розв'язку задачі.

**Висновки.** Наведені вище особливості точкового БН-числення при застосуванні у композиційному методі геометричного моделювання багатфакторних процесів дозволяють: 1) включати до моделі необмежену кількість вихідних факторів, через відсутність алгебраїчних методів кореляції; 2) розв'язувати задачі одразу у просторі, з можливістю подальшого їх аналізу на проєкціях, як одно-, так і двомірних; 3) зменшувати мірність простору шляхом розкладання багатовимірної задачі на необхідну кількість одно-, двох- або тримірних, що робить процес моделювання набагато простішим і дає можливість зручної алгоритмізації для використання у інформаційних системах.

1. Найдыш В.М. Методы и алгоритмы формирования поверхностей и обводов по заданным дифференциально-геометрическим условиям: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Владимир Михайлович Найдыш; Мелитопольский институт механизации сельского хозяйства, - 1982. - 512 с.

2. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий на основе точечного исчисления: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Иван Григорьевич Балюба. - К.: КГТУСА, 1995. - 36 с.

## ИНВАРИАНТНЫЕ МЕРЫ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Рассмотрена система магнитной гидродинамики – одна из моделей космической плазмы:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - \sum_{i=1}^3 u_k \frac{\partial u}{\partial x_k} - \frac{\pi}{\rho} \sum_{i=1}^3 H_k \frac{\partial H}{\partial x_k} - \nu \Delta u &= \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} \left( p + \frac{\pi H^2}{2} \right) + \mathcal{F}, \\ \operatorname{div} u &= 0, \\ \operatorname{rot} E &= -\pi \frac{\partial H}{\partial t}, \\ \operatorname{rot} H &= \sigma(E + \pi[u, H]) + j, \\ \operatorname{div}(\pi H) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $u(x, t)$  – скорость течения жидкости в точке  $x = (x_1, x_2, x_3)$  в момент времени  $t$ ;  $H(x, t)$  и  $E(x, t)$  – векторы магнитной и электрической напряженностей,  $p(x, t)$  – давление;  $\mathcal{F}(x, t)$  – внешние гидродинамические силы;  $j(x, t)$  – заданные токи;  $\pi$  – магнитная проницаемость;  $\sigma$  – проводимость;  $\rho$  – плотность;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости.

Систему (1) будем рассматривать в области  $G = G_1 \cup G_2 \cup G_3$ , где  $G_1$  и  $G_3$  – ограниченные области, а  $G_2 = R^3 \setminus (G_1 \cup G_3)$ , причем

$$H|_{|x|=\infty} = H_\infty, \quad E|_{|x|=\infty} = 0,$$

где  $H_\infty$  – постоянный вектор. Кроме того, во всем объеме заданы начальные условия

$$u|_{t=0} = u_0(x), \quad H|_{t=0} = H_0(x).$$

Функции  $\sigma(x)$  и  $\pi(x)$  являются разрывными функциями в  $G = G_1 \cup G_2 \cup G_3$ :

$$\sigma(x) = \begin{cases} \sigma_1 = \text{const} > 0, & x \in G_1 \\ 0 & , x \in G_2 \\ \sigma_3(x) & , x \in G_3 \end{cases}$$

$$\pi(x) = \begin{cases} \pi_1 = \text{const} > 0, & x \in G_1 \\ \pi_2(x) & , x \in G_2 \\ \pi_3(x) & , x \in G_3 \end{cases}$$

$\sigma_1, \sigma_3 \geq \sigma_0 > 0$ ;  $\pi(x) \geq \pi_0 > 0$ . В дальнейшем  $\sigma_k$  и  $\pi_k$  будем считать постоянными.

Вектор  $j(x, t)$  зададим так



$$j(x,t) = \begin{cases} 0 & , x \in G_1 \cup G_2 \\ j(x,t) & , x \in G_3. \end{cases}$$

Предполагается, что система рассматривается в неограниченной области с неограниченной энергией. Для такой модели на множестве обобщенных решений системы построена мера Радона, инвариантная относительно сдвигов по пространству.

Результаты могут быть использованы в теоретических исследованиях, связанных с вопросами усреднения в турбулентных плазменных средах.

В.О. БАРАНЕНКО, Д.Л. ВОЛЧОК

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

### ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ СТИСКАЮЧОЇ СИЛИ, ЩО ДІЄ НА ЦИЛІНДРИЧНУ ОБОЛОНКУ В УМОВАХ ПАРАМЕТРІВ НЕЧІТКО-ВИПАДКОВОЇ І ВИПАДКОВО-НЕЧІТКОЇ ПРИРОДИ

У доповіді подано оцінки максимального значення осьової сили, діючої на циліндричну оболонку, в умовах невизначеності параметрів і трьох граничних станів (місцевої та загальної втрати стійкості і міцності) [1]:

$$g_1(x) = F^{\max} - F_{KP}^M \leq 0; \quad g_2(x) = F^{\max} - F_{KP}^C \leq 0; \quad g_3(x) = F^{\max} - F_R \leq 0. \quad (1)$$

У співвідношеннях (1) уведено такі позначення:

$$F_{KP}^M = Dh^2; \quad F_{KP}^C = Bh R^3; \quad F_R = ChR; \quad B = \pi^3 E / L^2; \quad C = 2\pi\sigma_T; \quad D = 2\pi E / \sqrt{3(1-\nu^2)},$$

де  $L$  - довжина твірної циліндра;  $h, R$  - відповідно товщина і радіус оболонки;  $E, \nu$  - відповідно модуль Юнга і Пуассона;  $\sigma_T$  - величина границі текучості матеріалу оболонки.

У роботі сформульована детермінована задача оптимізації:

$$F^{\max} = \arg \left\{ \max_{F^- \leq F \leq F^+} F \mid g_i(L, E, \nu, \sigma_T, R, h) \geq F^{\max}; i=1,2,3 \right\}. \quad (2)$$

Перше обмеження ( $i=1$ ) в співвідношеннях (1)-(2) визначає можливість місцевої втрати стійкості оболонки, друге обмеження ( $i=2$ ) лімітує значення параметрів  $h$  і  $R$  з урахуванням можливості загальної втрати стійкості, третє обмеження ( $i=3$ ) в (2) установлює значення  $h$  і  $R$  з урахуванням можливості руйнування оболонки при стисненні її силою  $F^{\max}$ . Нехай геометричні параметри  $h$  і  $R$  мають невизначену природу: випадково-нечітка і нечітко-випадкова [2-4]. Задача зводиться до нечіткого та імітаційного моделювання. Наводяться обчислювальні алгоритми і чисельні ілюстрації. Зроблено висновки.

1. На прикладі задачі про знаходження максимальної величини стискаючої сили, діючої на ідеальну циліндричну оболонку, яка знаходиться в умовах трьох граничних станів і невизначеній інформації про параметри конструкції, показано синтез теорії нечітких множин і теорії ймовірності.

2. Запропоновано обчислювальні підходи реалізації оптимізаційної задачі в умовах завдання різнорідної – випадково-нечіткої і нечітко-випадкової інформації про радіус оболонки.

3. Виконано ряд чисельних експериментів, результати яких показують, що збільшення „акценту” невизначеності в задаванні радіусу (в більшу сторону від

детермінованого) веде до збільшення величини стискаючої сили і навпаки (в меншу сторону) веде до зменшення величини сили.

4. Включення безпосередньо невизначеності в апарат дослідження представляє собою нову область математики, що розвивається. Це дозволяє:

- проаналізувати вплив неповноти інформації на шукані параметри проекту, оцінити отриманий розв'язок;
- провести аналіз чутливості проекту до зміни параметрів невизначеності.

1. Тетерс Г.А., Рикардс Р.Б., Нарусберг В.Л., Оптимизация оболочек из слоистых материалов.-Рига :« Зинанте».- 1978.-240 с.

2. Lui B. Random fuzzy variables and random fuzzy programming, Technical report, Tsingua University, 2000.

3. Lui B. Random fuzzy dependent – chance programming and its hybrid intelligent algorithm, Information Science, Vol. 141, №3-4, 259-271.

4. Lui B. Fuzzy random chance constrained programming, IEEE, Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 9, №5, 2001, 713-720.

С.Г. БЛАЖЕВСЬКИЙ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

### ПРО ОДНУ ЗАДАЧУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ДВОШАРОВОГО СИМЕТРИЧНОГО ПРОСТОРУ ІЗ СИМЕТРИЧНОЮ ПОРОЖНИНОЮ

Задача про структуру нестационарного температурного поля в двошаровому симетричному просторі із симетричною порожниною радіуса  $R_0$  математично приводить до побудови обмеженого в області

$$D_1 = \{(t, r) : t \in (0, \infty), r \in I_1 = (R_0, R_1) \cup (R_1, \infty); R_0 > 0\}$$

розв'язку сепаратної системи  $B$ -параболічних рівнянь теплопровідності [1]

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} - a_j^2 B_{\alpha_j} [T_j] = a_j^2 f_j(t, r), r \in (R_{j-1}, R_j), \quad j = \overline{1, 2} \quad (1)$$

за початковими умовами

$$T_j(t, r)|_{t=0} = g_j(r), \quad r \in (R_{j-1}, R_j); R_0 > 0, R_2 = \infty, j = \overline{1, 2}, \quad (2)$$

крайовими умовами

$$(\alpha_{11}^0 \frac{\partial}{\partial r} + \beta_{11}^0) T_1(t, r)|_{r=R_0} = g_0(t), \quad \frac{\partial T_2}{\partial r}|_{r=\infty} = 0, \quad (3)$$

та умовами неідеального контакту

$$\begin{cases} [(b_1 \frac{\partial}{\partial r} + 1) T_1 - T_2(t, r)]|_{r=R_1} = 0, \\ (\lambda_1^* \frac{\partial T_1(t, r)}{\partial r} - \lambda_2^* \frac{\partial T_2(t, r)}{\partial r})|_{r=R_1} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

тут  $B_\alpha$  – диференціальний оператор Ейлера:  $B_\alpha[\dots] = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2\alpha+1}{2} \frac{d}{dr}$ .

Розв'язок задачі, побудований методом гібридного інтегрального перетворення Вебера [2], має вигляд:

$$T_j(t, r) = \int_0^t W_{(\alpha); 1j}(t-\tau, r) g_0(\tau) d\tau + \sum_{k=1}^2 \int_{R_{k-1}}^{R_k} \square_{(\alpha); jk}(t, r, \rho) g_k(\rho) \sigma_k \rho^{2\alpha_k+1} d\rho +$$

$$+ \sum_{k=10}^2 \int_{R_{k-1}}^t \int_{R_k} \square_{(\alpha);jk}(t-\tau, r, \rho) a_k^2 f_k(\tau, \rho) \sigma_k \rho^{2\alpha_k+1} d\rho d\tau \equiv \sum_{m=1}^3 T_{jm}(t, r), j = \overline{1,2}. \quad (5)$$

Проаналізовано розв'язок для випадку двошарового осесиметричного простору із циліндричною порожниною.

1. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. – М.: Физматгиз, 1956. – 468 с.
2. Блажевський С.Г., Ленюк М.П. Термопружний стан багат шарових симетричних тіл. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2000. – 130 с.

Ю.В. БРАЗЛУК, Р.А.ШУЛЬГА  
Днепровский национальный университет имени Олеса Гончара

## РЕГУЛЯРНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

Методы вычислительной теории потенциала занимают особое место в современной вычислительной математике, поскольку они ориентированы на решение линейных задач эллиптического и параболического типов в областях сложной геометрической формы, в то время как традиционные методы, например, метод конечных разностей, ориентирован, прежде всего, на численное решение нелинейных краевых задач параболического и гиперболического типов в областях относительно простой геометрической формы. Вычислительная теория потенциала предполагает решение граничных интегральных уравнений при помощи разнообразных алгоритмов – методов дискретных особенностей, панельных методов, методов граничных элементов. Специфика формулировки теории потенциала и соответствующих алгоритмов вынуждают проводить специальное исследование для совершенствования применяемых расчетных схем. Так, начиная с 80-х годов прошлого века, весьма существенный прогресс был достигнут в методе граничных элементов, что касается методов дискретных особенностей и, в частности, метода дискретных вихрей, то в этом направлении успехи были намного скромнее. Причины скептического и пренебрежительного отношения к методам дискретных особенностей видятся в неправильном позиционировании данного метода как универсального, а не как средства быстрого, оценочного расчета, а также во множестве специфических приемов, обоснованных преимущественно техническими соображениями и, в результате, применявшихся без надлежащего математического обоснования, исследований точности и тестирования. Преодоление указанных недостатков может быть обеспечено сравнительным анализом соответствующих алгоритмов методов дискретных особенностей, граничных элементов, конечных элементов и конечных разностей с целью более точного позиционирования первых; отказа от непрямых формулировок в методах дискретных особенностей в пользу прямых, то есть, прямо следующих из исходной дифференциальной постановки задачи; критическим анализом алгоритмов регуляризации; переходом к регулярным алгоритмам метода дискретных особенностей.

Одним из существенных недостатков большинства алгоритмов вычислительной теории потенциала является необходимость работы с сингулярными граничными интегральными уравнениями, что вынуждает проводить дополнительный анализ поведения интегралов в окрестностях сингулярности, усложняет структуру программы и методику программирования, существенно сужает алгоритмическую базу метода. Разрабатываемые в последнее время регулярные алгоритмы вычислительной теории потенциала с точками коллокации внутри области решения свободны от указанных недостатков, поэтому вполне естественной представляется попытка использовать их в методе дискретных особенностей. В настоящей работе предложены и протестированы регулярные алгоритмы метода дискретных

особенностей с точками коллокации внутри области решения. Тестирование проводилось на плоских внутренних и внешних краевых задачах для уравнения Лапласа, имеющих известное аналитическое решение в квадратурах. Тестирование показало весьма многообещающие результаты.

В.В. ВАНІН, Г.А. ВІРЧЕНКО, А.Й. НЕЗЕНКО  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОСОБЛИВОСТІ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ КРИЛА В АСПЕКТИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЛІТАКА

Створення складної промислової продукції потребує дослідження її характеристик на різних етапах життєвого циклу. Так, наприклад, літак на стадії технічної пропозиції опрацьовується в польотній конфігурації, під час підготовки виробництва – у стапельній конфігурації, а на етапі експлуатації – в польотній та стоянковій конфігурації. У всіх зазначених випадках крило літака приймає різну форму. У польоті під дією аеродинамічних сил вигинається вгору, у стапельній конфігурації вважається недеформованим, у стоянковій конфігурації під вагою конструкції згинається вниз (див. рис. 1). Змінювання крила впливає на всі аспекти проектування літака. Однак процеси, що відбуваються при зазначених деформаціях, вивчені недостатньо й тому потребують ретельного подальшого дослідження, основою якого, в багатьох випадках, є геометричне моделювання.

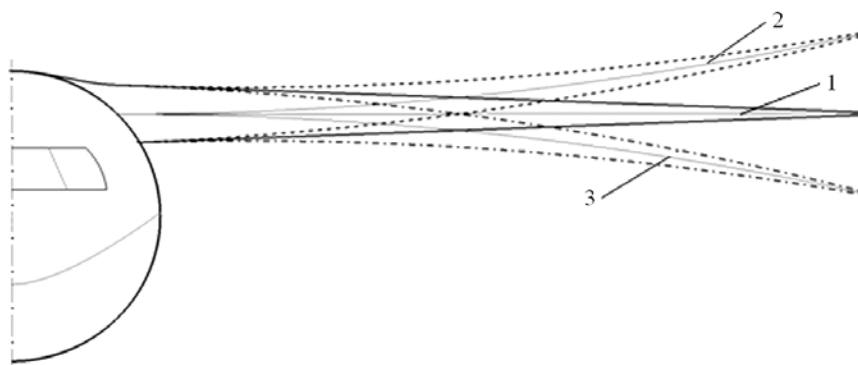


Рис. 1. Форма крила літака в різних конфігураціях: 1 – стапельній; 2 – польотній; 3 – стоянковій.

Розробка методик автоматизованого формоутворення крила літака для різних конфігурацій на протязі життєвого циклу, з урахуванням наявної великої кількості його конструктивно-силових елементів, функціональних систем та обладнання, становить важливу науково-прикладну задачу, розв'язання якої дозволить суттєво покращити якість даного складного технічного об'єкта.

Побудова поверхонь у розглянутих вище випадках здійснюється переміщенням твірних аеродинамічних профілів уздовж напрямних, якими є вісь жорсткості, передня та задня кромки крила. При цьому реалізується належне неоднорідне масштабування профілів, що забезпечує необхідне змінювання не тільки їх хорд, а й відносної товщини та угнутості. У такий спосіб формується потрібна серединна поверхня крила. Характер його скруту визначається напрямними, а розташування площин поточних аеродинамічних профілів – відповідними дотичними до осі жорсткості як перпендикулярами до цих площин.

Проаналізована науково-прикладна задача має певні висвітлені в роботі особливості, що вимагає не тільки покращення наявних у літературних джерелах методів,

способів, прийомів та алгоритмів формоутворення, а й розробки нових, більш пристосованих для успішного вирішення викладеної технічної проблеми.

**Висновки.** У даній праці подано узагальнену постановку задачі інтегрованого автоматизованого структурно-параметричного геометричного моделювання поверхні крила на протязі життєвого циклу літака з урахуванням її деформацій у процесі експлуатації. Визначено потрібний для цього математичний апарат, окреслено перспективні напрямки його подальшого удосконалення та розробки належного комп'ютерного програмного забезпечення.

В.О. ВАХНЕНКО<sup>1</sup>, Е.Дж. ПАРКЕС<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Страсклайдський університет, Глазго, Великобританія

## ПРОСТИЙ ПОЛЮС ТА ПОЛЮС ДРУГОГО ПОРЯДКУ У ДИСКРЕТНОМУ СПЕКТРІ ДЛЯ ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ РОЗСІЯННЯ

Низка задач, що досліджуються в різноманітних галузях фізики: оптиці, гідродинаміці, фізиці плазми [1,2], приводить до рівняння Вахненка-Паркеса (the Vakhnenko-Parkes equation (VPE)) [1–4]

$$W_{XXT} + (1 + W_T)W_X = 0. \quad (1)$$

Детальний опис властивостей рівняння VPE (1) можна знайти в огляді [3]. Подальший розвиток у вивченні рівняння VPE пов'язаний із дослідженням двократних полюсів у методі оберненої задачі розсіяння (ОЗР) [4]. Запропонований нами підхід в [4] суттєво розширює стандартну процедуру ОЗР, в якій розглянуті тільки прості полюси. Мета дослідження полягає у вивченні взаємодії солітона зі збуреннями, що відповідають полюсам другого порядку в спектрі для ОЗР.

**Двократні полюси.** В [4] розглянуті двічі вироджені полюси для дискретної частини спектральних даних. Розв'язки рівняння (1) підпорядковуються співвідношенню

$$W(X, T) - W(-\infty) = 6 \frac{\partial}{\partial X} \ln(F(X, T)) \quad (2)$$

через допоміжну функцію

$$F(X, T) = F_{2p}(X, T) = 1 + c_2(1 + gh)\exp(\theta_2) + p_2 \exp(2\theta_2), \quad (3)$$

$$g = \frac{1}{2\xi_1} - \frac{\sqrt{3}}{2} \left( X + \frac{T}{3\xi_1^2} \right), \quad c_2 = \frac{\beta_1}{2\sqrt{3}\xi_1}, \quad \theta_2 = \sqrt{3}\xi_1 X - \frac{T}{\sqrt{3}\xi_1}, \quad p_2 = -\frac{h^2 c_2^2}{3 \cdot 2^4 \xi_1^2}.$$

Сталі  $\xi_1$ ,  $h$  – дійсні. Існує одна довільна стала  $\beta_1$ .

**Двократний та простий полюси.** У цьому дослідженні проаналізована взаємодія солітона з хвилею, що асоціюється з двократним полюсом. Вважаємо, що солітону відповідає простий полюс з  $\xi_3$  та характеризується величинами  $c_3 = \frac{\beta_3}{2\sqrt{3}\xi_3}$ ,  $\theta_3 = \sqrt{3}\xi_3 X - \frac{T}{\sqrt{3}\xi_3}$ .

Доповнюючи збурення (3) солітоном, можна отримати розв'язок у вигляді (2) з допоміжною функцією

$$F(X, T) = F_{2ps}(X, T) = 1 + c_2(1 + gh)\exp(\theta_2) + c_3 \exp(\theta_3) + p_2 \exp(2\theta_2) + b_{13}[1 + (g + g_3)h]c_2c_3 \exp(\theta_2)\exp(\theta_3) + p_2b_{13}^2c_3 \exp(2\theta_2)\exp(\theta_3), \quad (4)$$

$$\text{де } g_3 = -\frac{1}{2\xi_3} \frac{b_{13p}}{b_{13}}, \quad b_{13} = \frac{(y-1)^3 y^3 + 1}{(y+1)^3 y^3 - 1}, \quad y = \frac{\xi_1}{\xi_3}, \quad b_{13p} = \frac{db_{13}}{dy}.$$

**Висновки.** Для дискретної частини спектральних даних у методі оберненої задачі розсіяння враховані двократні полюси та простий полюс. Цей підхід може бути використаний для інших інтегровних нелінійних рівнянь.

1. Kuetch V. K. Inhomogeneous exchange within ferrites: Magnetic solitons and their interactions // J. Magnetism Magnetic Materials. – 2016. – V.398. – P. 70–81.

2. Сазонов С. В., Устинов Н. В. Нелинейное распространение векторных предельно коротких импульсов в среде симметричных и несимметричных молекул // ЖЭТФ. – 2017. – Т. 151, вып. 2. – С. 249–269.

3. Vakhnenko V. O., Parkes E.J. Approach in theory of nonlinear evolution equations: the Vakhnenko-Parkes equation // Advances in Mathematical Physics. – 2016. – V.2016. – 39 p.

4. Vakhnenko V. O., Parkes E.J. The inverse problem for some special spectral data // Chaos, Solitons & Fractals. – 2016. – V.82. – P. 116–124.

Т.Г. ВОЙТИК<sup>1</sup>, Г.С. ПОЛЕТАЕВ<sup>2</sup>, С.А. ЯЦЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный морской университет

<sup>2</sup>Одесская государственная академия строительства и архитектуры

<sup>3</sup>Национальный университет "Одесская морская академия"

### РОДСТВЕННЫЕ ТИПУ РИМАНА-ГИЛЬБЕРТА-ПРИВАЛОВА ЗАДАЧИ С ВЗАИМНО ОБРАТНЫМИ РАЦИОНАЛЬНЫМИ ПРАВИЛЬНО ФАКТОРИЗУЕМЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Рассматриваются две задачи, родственные задачам типа Римана-Гильберта-Привалова из теории аналитических функций. Опирающиеся на строящуюся теорию уравнений в кольцах со специальными факторизационными парами подколец, ранее неизвестные, подходы позволяют упростить исследование [1]. Целью работы является доказательство теоремы о разрешимости сразу двух моделирующих уравнений (1), (2) и соответствующих им поставленных ниже двух взаимосвязанных задач [2]. Именно, задач о нахождении двух рациональных функций с полюсами из разных полуплоскостей по линейным уравнениям, на сомкнутой вещественной оси, с правильно факторизуемыми взаимно обратными рациональными коэффициентами, вида:

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

$$A^{-1}(x)X_1^+(x) + Y_{1-}(x) = B(x); x \in \{-\infty; \infty\}. \quad (2)$$

Постановка задач следующая. **Задача 1.** «Для заданных рациональных функций – коэффициентов  $A(x), B(x)$ ,  $-\infty < x < \infty$  найти пару рациональных функций  $X^+(z) \in \mathcal{R}^+$ ,  $Y_-(z) \in \mathcal{R}_-$ , все полюсы первой из которых, при существовании, расположены в нижней, а второй – в верхней полуплоскостях, соответственно, и удовлетворяющих на сомкнутой вещественной оси линейному уравнению (1)». **Задача 2.** «Для заданных рациональных функций – коэффициентов  $A(x), B(x)$ ,  $-\infty < x < \infty$  найти пару рациональных

функцій  $X_1^+(z) \in \mathcal{R}_r^+$ ,  $Y_{1-}(z) \in \mathcal{R}_-$ , все полюсы первой из которых, при существовании, расположены в нижней, а второй – в верхней полуплоскостях, соответственно, и удовлетворяющих на сомкнутой вещественной оси линейному уравнению (2) ». Для этих двух задач, с правильно факторизуемыми рациональными взаимно обратными коэффициентами, установлена теорема существования, ряд формул решений, следствия, общее свойство решений. Приведены примеры. Общее свойство характеризует связь между решениями рассматриваемых двух задач.

**Выводы.** Результаты могут быть использованы при решении конкретных примеров в изученной ситуации. При правых частях уравнений из соответствующего подкольца рациональных функций, они, в частности, позволяют исчерпать вопрос о нахождении решения *Задачи 2*, с взаимно обратными коэффициентами по известному решению *Задачи 1*. Аналогично для соответствующих уравнений. Результаты дают также основу дальнейших исследований разрешимости и связи решений.

1. Полетаев Г.С. Об уравнениях и системах одного типа в кольцах с факторизационными парами. – Киев, 1988. – 20 с. – (Препринт / АН УССР. Институт математики:88.31).

2. Полетаев Г.С. Общее свойство решений родственных Римана-Гильберта-Привалова задач с взаимно обратными рациональными коэффициентами // НАУКОВІ НОТАТКИ. – Вип. 56. - Луцьк, 2016. – С. 187-192.

О.В. ВОРОНЦОВ, Л.О. ТУЛУПОВА, І.В. ВОРОНЦОВА

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка

## ДИСКРЕТНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБРАЗІВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ ДВОВИМІРНИХ ТОЧКОВИХ МНОЖИН

Управління формою дискретних моделей геометричних образів вимагає чіткого уявлення про зміст процесу формування, параметри форми моделей, можливості оперативного змінення ходу розрахунків модельованої поверхні. Крім того формування дискретних моделей поверхонь та процесів передбачає залучення методів, що вимагають використання значних обчислювальних ресурсів. Тому необхідно проводити дослідження нових методів формування геометричних образів які дозволяють забезпечити мінімальні витрати на отримання результату.

Ефективність методик формування геометричних образів (ГО) у великій мірі залежить від ефективності алгоритмів переходу від неперервної форми представлення ГО до їх дискретних аналогів і навпаки.

У всіх відомих методах дискретної інтерполяції координати вузлів модельованих дискретних аналогів ГО визначаються за відомими координатами суміжних вузлів. Дискретно представлені геометричні образи (ДПГО) подаються координатами вузлів із рівномірним кроком по осях. Геометричний апарат суперпозицій дозволяє підвищити ефективність даних алгоритмів за рахунок економії обчислювальних ресурсів при формуванні ДПГО вузлами із довільними кроками по осях за даними координатами довільних вузлів.

Дослідження геометричного апарату суперпозицій у поєднанні із класичним методом скінчених різниць, статико-геометричним методом, математичним апаратом числових послідовностей сприятиме подальшому розвитку і удосконаленню математичних моделей у процесі конструювання.

Метою даної роботи є дослідження питань дискретної інтерполяції ГО двовимірними числовими послідовностями за координатами вузлових точок взятих із довільними кроками по координаційних осях, а саме – визначення поліномів двох змінних  $n$ -го степеня довільними дискретними значеннями; зокрема – виведення формул обчислення коефіцієнтів суперпозицій двовимірних точкових множин що дозволяють визначати аналітичні вирази дискретних аналогів двовимірних ГО у загальному вигляді.

**Висновки.** Для дискретного моделювання ГО можуть бути застосовані дані дослідження визначення поліномів двох змінних  $n$ -го степеня за довільними дискретними значеннями. Одержані в даній роботі формули обчислення коефіцієнтів суперпозицій двовимірних точкових множин дозволяють визначати аналітичні вирази дискретних аналогів двовимірних ГО у загальному вигляді.

1. Воронцов О. В. Властивості суперпозицій точкових множин. / Олег Вікторович Воронцов. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА.. – 2010. – №86. – С. 345–349.

2. Воронцов О. В. Моделювання об'єктів будівництва та машинобудування довільними дискретними значеннями числових послідовностей / Олег Вікторович Воронцов. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ. – 2013. – №4. – С. 25–35.

Е.А. ГАВРИЛЕНКО<sup>1</sup>, Ю.В. ХОЛОДНЯК<sup>1</sup>, А.В. НАЙДЫШ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Таврический государственный агротехнологический университет

<sup>2</sup>Мелитопольский государственный педагогический университет им. Б. Хмельницкого

## ВАРИАТИВНОЕ ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБВОДОВ С ЗАДАНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Формирование одномерных обводов по заданным условиям – одна из наиболее востребованных задач геометрического моделирования. Задача решается вариативным дискретным геометрическим моделированием, которое предполагает формирование для исходного ряда промежуточных точек сгущения [3]. Дискретная модель кривой состоит из точечного ряда, заданных геометрических характеристик и алгоритма сгущения.

Каждые три последовательные точки дискретно представленной кривой (ДПК) определяют прилегающую плоскость (ПП). Четыре ПП, проходящие через две последовательные точки ограничивают тетраэдр. Цепочка последовательных тетраэдров, определенных на всех участках, является областью расположения гладкой кривой линии постоянного хода, интерполирующей исходный точечный ряд [1]. Кручение на участках ДПК оценивается величиной отношения угла между соседними ПП к длине соответствующей хорды сопровождающей ломаной линии. Точка сгущения назначается внутри тетраэдра расположения ДПК. В результате последовательных сгущений получим непрерывный обвод постоянного хода, в каждой точке которого существует единственное положение основного трёхгранника. Точка сгущения назначается таким образом, чтобы значения кручения в точках ДПК изменялись монотонно.

При формировании кривых постоянного хода, вдоль которых радиусы соприкасающихся окружностей и сфер монотонно возрастают или убывают, кривая линия рассматривается, как траектория движения точки, принадлежащей нормальной плоскости, обкатывающей полярный торс, ребро возврата которого – кривая постоянного хода.

Существует восемь различных вариантов сочетаний направления возрастания радиусов кривизны, радиусов соприкасающихся сфер и хода вдоль монотонных кривых. Все варианты можно определить тремя параметрами: направление хода ребра возврата полярного



торса кривой; направление обкатывания полярного торса нормальной плоскостью кривой; расположение в нормальной плоскости точки, описывающей при своем движении монотонную кривую.

**Выводы.** Предложенный способ формирования ДПК с регулярным изменением кручения, радиусов соприкасающихся окружностей и сфер предполагает формирование обвода по участкам, вдоль которых обеспечивается монотонное изменение геометрических характеристик кривой.

Монотонные участки формируются сгущением исходного точечного ряда и не требуют аналитического представления. Определение области возможного по условиям задачи расположения кривой позволяет оценивать максимальную абсолютную погрешность, с которой ДПК представляет формируемый обвод.

1. Гавриленко Е.А. Вариативное дискретное геометрическое моделирование одномерных обводов с заданными дифференциально геометрическими свойствами / Е.А. Гавриленко // Вісник Херсонського національного технічного університету / ХНТУ. – Херсон, 2015. – Вип. 3 (54). – С. 555-559.

2. Гавриленко Е.А. Формирование геометрических характеристик монотонной кривой линии / Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, В.А. Пахаренко // Вісник Херсонського національного технічного університету / ХНТУ. – Херсон, 2016. – Вип. 3 (58). – С. 492-496.

3. Найдиш В.М. Дискретна інтерполяція: навчальний посібник / В.М. Найдиш – Мелітополь: Люкс, 2008. – 250 с.

О.М. ГУМЕН<sup>1</sup>, Є.В. МАРТИН<sup>2</sup>, Н.А. СПОДИНЮК<sup>3</sup>, С.Є. ЛЯСКОВСЬКА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

<sup>3</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

## ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОСТОРІВ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ

Підвищення результативності у технологічному процесі вирощування птиці м'ясних порід залежить першочергово від умов її утримання. Промислові будівлі, пташники, побудовані за умови, в переважній більшості, перебування птиці у клітках. Необхідний температурний режим, комфортний у кожній клітці перебування птиці, забезпечують з використанням нагрівачів, а видалення шкідливих газів з приміщення відбувається за рахунок використання вентиляційних систем різного типу [1]. Аналіз літературних джерел підтвердив, що незайнятою ще науковою нішею є завдання узагальнення експериментальних досліджень у напрямку розбудови інформаційних графічних засобів подання геометрії простору температурного поля промислових будівель на прикладі пташників.

Реалізація завдання забезпечення належного рівня функціонування агропромислових комплексів потребує проведення геометричного аналізу виконаних експериментальних досліджень інфрачервоної системи опалення з побудовою геометричних образів, що моделюють температурне поле в зоні знаходження кліток з птицею. Вимагає геометричного обґрунтування експериментально знята картина ізотерм у поперечному перерізі зони дії інфрачервоного випромінювача для підвищення результативності роботи при зниженні енергозатрат, зокрема, дослідження геометричної картини ізотерм як складової частини фазового багатовимірного простору [2] температурного поля у загальному об'ємі промислової будівлі.

Аналіз температурного поля, яке створюють у промислових будівлях, проводився з використанням експериментальної установки, яка імітувала реальні теплові процеси в

приміщенні. Проведені експериментальні дослідження у робочому просторі з використанням інфрачервоного нагрівача показали обмеженість можливостей одержання в лабораторних умовах окремих залежностей параметрів теплового процесу. Встановлено, що тепловий процес є чотирипараметричним, і його модель реалізується багатовидом у чотиривимірному фазовому просторі  $Oxhty$ . Практичне значення мають його проєкції у тривимірних підпросторах  $Oxht$  і  $Oxhy$ . Одержаний комплексний кресленник дає змогу будувати ізотерми, побудова яких за умов і можливостей проведення експерименту важкодоступна. Комплексні кресленники поверхні температурного поля є повними, дають змогу визначати температуру в будь-якій точці площини перерізу 1-1, а використання додаткового поля дозволяє будувати залежності  $h = f(t)$  для заданого значення координати  $x_i = const$ .

**Висновки.** Подальші зміни умов проведення експериментальних досліджень, зокрема, увімкнення вентилятора для витягування газів, подають нову якісну картину процесів, які відбуваються в робочому просторі. Запропоновані графічні засоби багатовимірної прикладної геометрії дозволяють побудувати вхідні графічні залежності для комп'ютерної візуалізації поверхонь теплових полів з ізотермами як утворюючими примітивами відповідних проєкцій багатовидів фазових просторів різної вимірності.

1. Сподинюк Н.А. Дослідження ефективності роботи витяжного зонта конструкції інфрачервоного нагрівача / Н.А. Сподинюк, В.М. Желих // Теорія і практика будівництва: Вісник НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – №664. – С. 235-238.

2. Гумен О.М. Геометрія проєктивних  $n$ -просторів щодо перебігу технологічних процесів у дослідженнях багатопараметричних систем / О.М. Гумен, С.Є. Ляковська // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 4. – Т. 49. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 89-94.

О.В. ДУБІНІНА<sup>1</sup>, Є.А. ГАВРИЛЕНКО<sup>2</sup>, Ю.В. ХОЛОДНЯК<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б.Хмельницького

<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

## КОНТРОЛЬ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ КРИВИНИ НА ДІЛЯНЦІ КУБІЧНОГО В-СПЛАЙНУ

Формування складних поверхонь, заданих дискретним лінійчатим каркасом є важливим завданням геометричного моделювання. Більшість сучасних пакетів геометричного моделювання для побудови одновимірних обводів, які є лінійними елементами каркасу, використовують кубічний В-сплайн. Метою дослідження є розробка способу формування ділянки кубічного В-сплайну із забезпеченням монотонної зміни кривини через контроль параметрів базисних трикутників, які обмежені дотичними до В-сплайну та хордою, що з'єднує кінцеві точки його ділянки.

В роботі [2] досліджено положення дотичних у вихідних точках, а також форма базисного трикутника, при якій задача формування обводу з монотонною зміною кривини має розв'язок. В роботі [1] розглянуто поділ сплайну за допомогою алгоритму де Кастельжо.

Запропоновано спосіб визначення закону зміни кривини вздовж кубічного В-сплайну, заданого вихідними контрольними точками. Розроблено спосіб корегування положення точок, що задають В-сплайн, з метою забезпечення монотонної зміни кривини вздовж кривої.

В роботі запропоновано спосіб формування ділянки кубічного В-сплайну із забезпеченням монотонної зміни кривини вздовж кривої при накладених граничних умовах: координати граничних точок та положення дотичних в них.

Запропоновано спосіб, який дозволяє визначити закономірність зміни кривини вздовж кубічного В-сплайну, що визначається контрольним багатокутником. Запропоновано способи корегування контрольного багатокутника з метою забезпечення монотонної зміни кривини вздовж кривої. (рис.1).

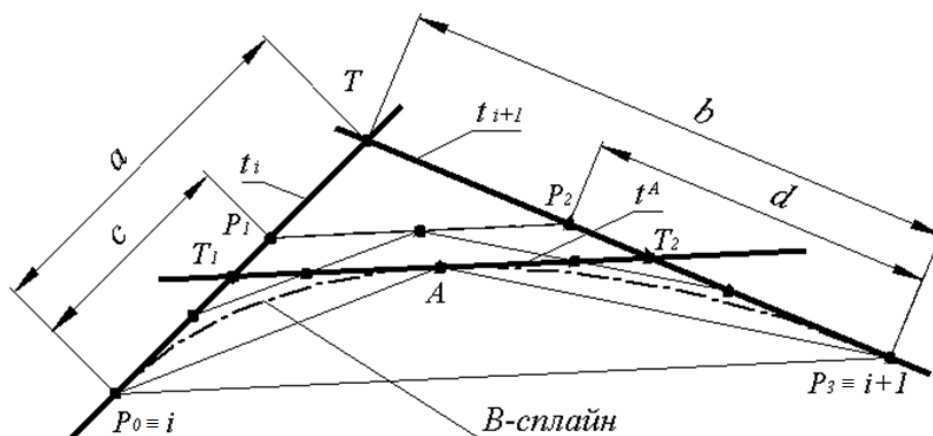


Рис. 1 Оцінка характеристик В-сплайну через параметри базисних трикутників

**Висновки.** Результати досліджень можуть бути використані для розробки інструмента, який дозволить в автоматизованому режимі забезпечити заданий характер зміни кривини вздовж кубічного В-сплайну. Це надасть можливість ефективно моделювати поверхні із заданими функціональними властивостями.

Ли Кунву. Основы САПР CAD/CAM/CAE / Кунву Ли. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.

Холодняк Ю.В. Вариативное дискретное геометрическое моделирование обводов на основе базисных треугольников по заданному изменению кривизны: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Холодняк Юлия Владимировна. – Мелитополь, 2016. – 178 с.

В.И. ДУБИНКО<sup>1</sup>, А.С. МАЗМАНИШВИЛИ<sup>1</sup> Д.В. ЛАПТЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный Научный Центр «ХФТИ» НАНУ

<sup>2</sup>Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАНУ

## РЕКУРРЕНТНЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ КВАНТОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ В ВОЗМУЩЕННОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

Рассматривается квантово-механическая задача о движении частицы в квадратичном потенциале, который подвержен квадрупольному воздействию, периодически меняющимся с течением времени. Подобная постановка возникает в задачах, когда возмущение представляет собой траекторию одномерного или двумерного процесса, моделирующего изменения потенциала при движении частицы. В этом случае роль времени  $t$  в задаче играет глубина проникновения частицы, а функция возмущения, описывает вынужденные колебания кристаллической решетки. На основе нестационарного уравнения Шредингера построены рекуррентные алгоритмы расчета динамики волновой функции. В настоящей работе рассмотрена временная эволюция частицы с исходной волновой функцией  $\psi(x_0, 0) = (m\omega / \pi\hbar)^{1/4} \exp(-m\Omega(0)x_0^2 / 2\hbar)$  в потенциале  $V(x, t) = m\Omega^2(t)x_t^2 / 2$ , где  $\Omega(t)$  – некоторая заданная функция. Такой потенциал является обобщением параболического потенциала с  $V(x, t) = m\omega^2 x^2 / 2$  с постоянной частотой  $\omega$ . В работе рассмотрен случай

параметрического резонанса,  $\Omega^2(t) = \omega_0^2(1 + g \sin(2\omega_0 t))$ , где  $\omega_0$  – собственная частота,  $g$  – индекс модуляции, достаточно малый по сравнению с 1. В общем случае зависящей от текущего времени частоты  $\Omega(t)$  для расчета динамики квантово-механических волновых функций в возмущенном потенциале возможно построить рекуррентный алгоритм. Это основано на том, что для любого  $t$  волновая функция  $\psi(x_t, t; x_0, t_0)$  имеет нормальный вид относительно  $x_t$  и  $x_0$ . Поэтому является достаточным построить алгоритм для вычисления первых двух её моментов. Получено основное рекуррентное выражение, связывающее текущую дисперсию  $s_k^2$  в момент  $t_k$  с предыдущей дисперсией  $s_{k-1}^2$ : в момент  $t_{k-1}$

$$s_k^2 = \frac{1}{\eta_k} \frac{\sin(\Omega_k \tau) + i \eta_k s_{k-1}^2 \cos(\Omega_k \tau)}{i \cos(\Omega_k \tau) + \eta_k s_{k-1}^2 \sin(\Omega_k \tau)}, \quad \eta_k = \frac{m}{\hbar} \Omega_k \equiv \frac{m}{\hbar} \Omega(t_k), \quad (1)$$

где  $q_k = \exp(i \Omega_k \tau)$ ,  $\Omega_k = \Omega(t_k)$  – значения частоты на каждом из временных интервалов.

Найденное решение уравнения (1) позволяют найти искомую зависимость размера волнового пакета от текущего времени:

$$s^2(t) = \frac{1}{\eta(t)} \frac{\eta(0) s^2(0) \exp\left(\frac{1}{2} g \omega_0 t\right) + i \operatorname{tg}\left[\frac{g}{8} \sin^2(\omega_0 t)\right]}{1 + i \eta(0) s^2(0) \exp\left(\frac{1}{2} g \omega_0 t\right) \operatorname{tg}\left[\frac{g}{8} \sin^2(\omega_0 t)\right]}. \quad (2)$$

Размер волнового пакета по координате:

$$\langle \hat{x}_t^2 \rangle_\psi = \frac{1}{2\eta_t} \exp\left(-\frac{1}{2} g \omega_0 t\right) \left( \cos^2\left[\frac{g}{8} \sin^2(\omega_0 t)\right] \exp(g \omega_0 t) + \sin^2\left[\frac{g}{8} \sin^2(\omega_0 t)\right] \right). \quad (3)$$

Средняя энергия:

$$W_t = \frac{1}{2m} \langle \hat{p}_t^2 \rangle_\psi + \frac{m}{2} \Omega_t^2 \langle \hat{x}_t^2 \rangle_\psi = \frac{\hbar \Omega(t)}{2} \cosh\left(\frac{g \omega_0 t}{2}\right). \quad (4)$$

Найденные выражения позволяют для известной функции частоты  $\Omega(t)$  и заданном размере (дисперсии)  $s_0^2$  исходной волновой функции волновую функцию  $\psi(x_t, t)$  для произвольного количества периодов вынуждающих колебаний.

С.М. КОВАЛЬОВ, С.І. БОТВИНОВСЬКА, А.В. ЗОЛотоВА, С.О. ЛОСЬ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ФОРМУВАННЯ ДИСКРЕТНОГО РЯДУ ТОЧОК СКЛАДЕНИХ КРИВИХ ЛІНІЙ ПІД ДІЄЮ НОРМАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Застосування пневматичних конструкцій в архітектурі і будівництві обумовлюється можливістю, за їх допомогою, перекидати великі прогони конструкціями з малою вагою, компактністю пневматичних конструкцій в транспортному (неробочому) стані та коротким терміном монтажу таких конструкцій та інш.

Поверхні пневматичних оболонок збиткового високого тиску, в ідеалі, формуються під діями нормальних до поверхні зусиль та зусиль власної ваги. Як правило – це м'які оболонки, що характеризуються малою жорсткістю на згин. Несуча спроможність таких

конструкцій підвищується за рахунок накладання на них підсилюючих канатів або тросових елементів. Стабільність форми пневматичних оболонок забезпечується внутрішнім тиском, в результаті чого в оболонці виникають розтягуючі зусилля.

Мета роботи – змодельовати дискретний каркас кривої лінії, яка є двовимірною інтерпретацією пневматичної оболонки високого тиску з урахуванням власної ваги матеріалу оболонки та зусиль, які виникають у затяжках.

За основу дискретного моделювання поверхонь пневматичних конструкцій збиткового високого тиску в роботі приймається площинна задача формування кривих ліній у дискретному вигляді. Дискретні каркаси кривих ліній формуються як натягнуті нитки під дією зосереджених зусиль, прикладених до їх вузлів, за наперед заданими умовами. В якості останніх можуть обиратись: вузли, спільні для декількох кривих ліній; одна або декілька внутрішніх затяжок, що будуть сприяти жорсткості конструкції; коефіцієнти напруження у ланках (стиску або розтягнення); апліката одного із вузлів.

В такому випадку, зусиллям збиткового внутрішнього тиску на вузли поверхні будуть відповідати нормальні зусилля, прикладені до вузлів дискретної моделі кривої лінії. Власній вазі матеріалу пневматичної оболонки у двовимірній моделі будуть відповідати вертикальні зусилля, пропорційні довжинам в'язей дискретної моделі кривої лінії.

Для розрахунків координат вузлів дискретної кривої лінії обрано статико-геометричним методом (СГМ), згідно якого складається систему рівнянь рівноваги вузлів. Оскільки, зовнішні зусилля, які імітують надлишковий тиск, прикладені до вузлів є нормальними і будуть залежати від невідомих координат суміжних вузлів дискретної кривої, система рівнянь рівноваги вузлів є нелінійною [1]. В роботі запропонований алгоритм постійного уточнення напрямків зовнішнього формоутворюючого навантаження у вузлах та коефіцієнтів пропорційності, методом поступових наближень. Правильна організації ітераційних процесів дозволяє отримати ціленаправлений результат з довільною допустимою похибкою. Всі розрахунки виконуються за допомогою системи MathCAD.

**Висновки.** Площинна інтерпретація тривимірної задачі формування пневматичної оболонки високого тиску дозволила сконструювати і проаналізувати алгоритм визначення дискретного точкового каркасу кривої лінії за методом поступових наближень. Аналіз результатів розв'язання тестових прикладів показав, що ітераційний процес збігається до четвертого десяткового знаку. В перспективі, запропонований алгоритм буде перенесений на розв'язання тривимірної задачі формування дискретного точкового каркаса пневматичної оболонки.

1. Ботвіновська С.І. Нелінійні задачі формування дискретних образів статико-геометричним методом [Текст] // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В.Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Вип. 3. – С. 21 – 27.

Л.І. КОРОТКА

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ

Технології обчислювального інтелекту застосовуються у різних предметних областях, у тому числі штучні нейронні мережі (НМ), як її елементи. Вибір визначеної топології мережі, як відомо, залежить від розв'язуваної задачі.

У роботі створена функціональна підсистема, яка дозволяє вибрати з декількох шарових нейронних мереж ту, яку особа, що приймає рішення, вважає кращою. Для функціональної підсистеми було використано наступне програмне забезпечення: скриптова мова програмування для написання web-сторінок – JavaScript; бібліотека JavaScript з відкритим сирцевим кодом – jQuery; скриптова мова програмування для генерації HTML-сторінок – php; відкритий web-сервер Інтернет – Apache HTTP-сервер; мова для структурування та подання вмісту – HTML; спеціальна мова відображення web-сторінок, написаних мовами розмітки даних – CSS3; вільний набір інструментів для створення сайтів та web-додатків – Twitter Bootstrap.

За допомогою web-орієнтованої підсистеми її користувач має можливість проводити чисельні експерименти з різними архітектурами нейронних мереж. У роботі детально розібрано проблемні аспекти навчання НМ та евристичні рекомендації щодо вибору параметрів: коефіцієнту навчання та похибки нейронної мережі [2, 3]. Згідно теореми про повноту [3] розглядаються тільки одно та дво шарові нейронні мережі. Передбачено роботу як зі стандартними функціями активації (ФА) – сигмоїд або гіперболічний тангенс, так і специфічними – введення з консолі користувачем нестандартної ФА. Зауважимо, що згідно теореми про повноту, функція активації повинна бути диференційованою. Так як у роботі реалізовано алгоритм зворотного розповсюдження помилки, то для нестандартних функцій активації використовується чисельне диференціювання.

Перед безпосереднім використанням НМ необхідно навчити мережу узагальнювати отримані нею знання, але цей процес не є простим [1, 2]. Від проектувальника мережі, як зазначалося раніше, залежить багато факторів, у тому числі вибір архітектури НМ та її параметрів. Тому у роботі є можливість працювати з декількома нейронними мережами та обирати різні ФА (а саме чотири). Звісно, що є можливість варіювання параметрів навчання.

Для наочності процесу навчання нейронних мереж алгоритмом зворотного розповсюдження помилки будуються графіки значень похибки, які дозволяють особі, що приймає рішення, спостерігати цей процес та бачити якість його навчання, у тому числі і випадки перетренування НМ [3].

**Висновки.** У створеній функціональній підсистемі реалізовано практично всі етапи ходу навчання нейронних мереж. Розроблений нейроемулятор дозволяє: створювати, проектувати та налаштовувати штучні нейронні мережі різної архітектури; за необхідності отримувати вибірку для нейронних мереж будь-якої складності та розміру; використовувати чисельне диференціювання неперервних функцій активації; здійснювати візуалізацію процесу навчання та тестування нейронних мереж; визначатися особі, що приймає рішення, щодо раціональної архітектури мережі.

1. Зеленцов Д.Г. Нейронные сети как средство модификации метода скользящего допуска / Д.Г. Зеленцов, Л.И. Короткая // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/4 (52). – С. 21 – 24.

2. Короткая Л.И. Использование нейронных сетей при численном решении некоторых систем дифференциальных уравнений / Л.И. Короткая // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/4 (51). – С. 24 – 27.

3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

## ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОЖЕЖНИМ РИЗИКОМ

На теперішній час відбувається процес реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій [1], мета якого – забезпечення належного рівня безпеки життєдіяльності населення, його захисту від надзвичайних ситуацій, пожеж та інших небезпечних подій. Результатом проведення реформ має бути забезпечення належного рівня безпеки життєдіяльності населення, захисту суб'єктів господарювання і територій від загрози виникнення надзвичайних ситуацій, створення ефективної сучасної європейської системи запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та профілактики пожеж, удосконалення системи реагування на пожежі, надзвичайні ситуації та інші небезпечні події, зменшення збитків національної економіки та населення у разі виникнення пожеж, надзвичайних ситуацій, небезпечних гідрометеорологічних явищ, створення оптимальної системи управління єдиною державною системою цивільного захисту та підвищення ефективності її функціонування. При цьому важлива роль відводиться застосуванню саме ризик-орієнтованого підходу для обґрунтування заходів у сфері цивільного захисту. Разом з тим, існує актуальна науково-практична проблема, яка полягає у розробці теоретичних основ управління техногенними, зокрема пожежними, ризиками, оскільки у сучасній літературі практично відсутні наукові дослідження, в яких чітко визначалися б важелі, які впливають на рівень того чи іншого ризику, та були побудовані моделі управління відповідними ризиками.

Однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню зазначеної проблеми, є побудова математичної моделі та методів управління інтегральним пожежним ризиком, що дозволить здійснити обґрунтування заходів стосовно нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні.

Таким чином, виникає наступна задача, а саме мінімізація ризику для людини загинути від пожежі за одиницю часу в області за рахунок визначення додаткової кількості пожежно-рятувальних підрозділів (дані райони являють собою багатокутники зі змінними метричними характеристиками), при цьому мають виконуватись такі обмеження:

- мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів;
- належність районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів області;
- мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів з областями заборони;
- належність об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) та потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) області перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів, що забезпечують реагування на надзвичайну ситуацію (пожежу) на ОПН або ПНО відповідно до номеру виклику;
- час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до найвіддаленішої точки району виїзду, має не перевищувати заданого;
- розміщення пожежно-рятувальних підрозділів здійснюється з урахуванням існуючих;
- розміщення пожежно-рятувальних підрозділів здійснюється з урахуванням обмежених ресурсів.

**Висновки.** Наведені обмеження стануть основою для побудови математичної моделі управління інтегральним пожежним ризиком гибелі людини під час пожежі за одиницю часу.

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.01.2017 р. №61-р «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-p>.

Л.М.КУЦЕНКО<sup>1</sup>, Л.Л.ЗАПОЛЬСЬКИЙ<sup>2</sup>

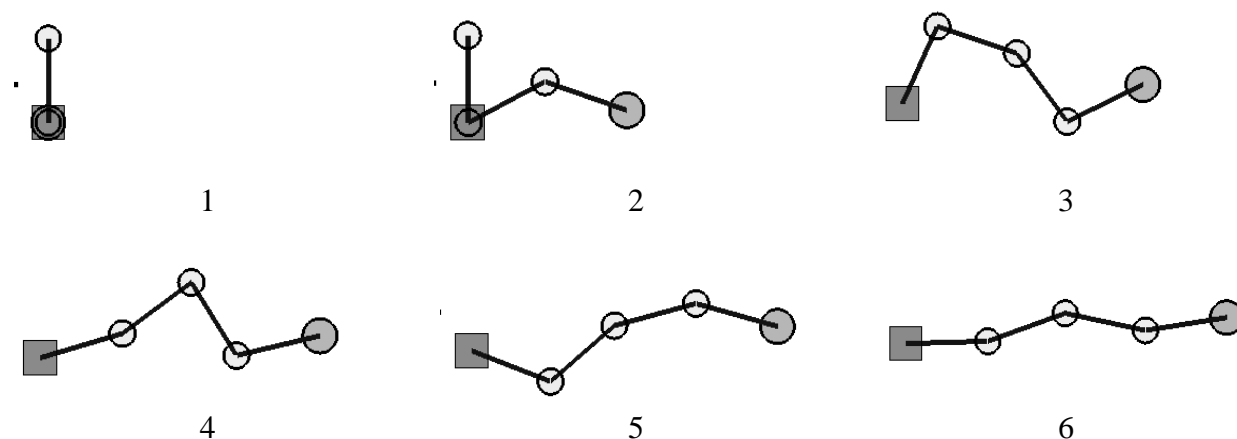
<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України

<sup>2</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗГОРТАННЯ У НЕВАГОМОСТІ БАГАТОЛАНКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ІНЕРЦІЙНИМ РОЗКРИТТЯМ

Роботу присвячено геометричному моделюванню коливання багатоланкового маятника в умовах невагомості. Матеріал викладено на прикладі моделі процесу розгортання багатоланкової конструкції (каркасу) космічного сонячного дзеркала, яка ототожнюється з багатоланковим маятником на уявній площині. Ініціювання коливань пропонується здійснювати за допомогою реактивного двигуна для надання імпульсу (типу «кляцання») одному з вузлових елементів багатоланкового маятника. В результаті одержано інерційний спосіб розкриття багатоланкової конструкції. Використовуючи лише один реактивний двигун можна розрахувати геометричну форму і забезпечити прогнозоване взаємне положення ланкам маятника. Опис розгортання каркасу сонячного дзеркала (як коливання багатоланкового маятника) здійснено за допомогою рівняння Лагранжа другого роду.

На рисунку зображено послідовні положення ланок маятника для випадку, коли реактивний двигун розташований на місці четвертого вантажу (зображено темним кольором). Вектор напрямку надання імпульсу розташований перпендикулярно четвертій ланці маятника у прикінцевій точці. Тобто вектор визначає швидкість зміни кута розкриття четвертої ланки. Квадратом позначено нерухому точку закріплення маятника, яка приєднана до космічного апарату, маса якого на порядки більша маси вантажів у вузлах.



Послідовні положення ланок маятника в процесі коливань

При аналізі одержаних анімаційних зображень був помічений ефект, який можна використати для подання команди на фіксацію елементів маятничкової конструкції. А саме, на прикінцевій фазі «розпрямлення» конструкції спостерігаються поперечні коливання вузлів маятника. Коливання вузлів можна використати для сигналу спрацювання датчиків замків фіксації положення суміжних ланок маятника. На основі інерційного способу розкриття можна утворювати схеми з багатьма променями зі спільним вузлом кріплення.



**Висновок.** Побудовано геометричну модель розгортання у невагомості багатоланкової конструкції з інерційною системою розкриття, яка ототожнюється з багатоланковим маятником на уявній площині. Для ініціювання коливань пропонується застосовувати реактивний двигун з метою надання імпульсу (типу «кляцання») одному з вузлових елементів багатоланкового маятника. Перевага інерційного способу розгортання багатоланкової конструкції у невагомості полягає у відсутності необхідності синхронізувати якісь дії по зміні кутів в окремих вузлах.

Л.М.КУЦЕНКО<sup>1</sup>, Л.Л.ЗАПОЛЬСЬКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України

<sup>2</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

### ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ MAPLE ЕФЕКТУ ДЖАНІБЕКОВА З ВИКОРИСТАННЯМ КВАТЕРНІОНУ

При відкручуванні на орбіті гайки з «вушками» (рис. 1) космонавт В.Джанібеков помітив, що у разі її зіскоку з різьбового гвинта, вона продовжувала летіти за інерцією, обертаючись як пропелер. Але вражаючим було те, що пролетівши у невагомості приблизно 40 сантиметрів «вушками» вперед, гайка робила раптовий переворот на 180 градусів і продовжувала летіти у тому ж напрямку, але вже «вушками» назад і обертаючись у іншу сторону. Потім процес повторювався. Із проведених експериментів (у тому числі, і в умовах земного тяжіння з тенісною ракеткою) слідує, що ефект Джанібекова виникає тоді, коли обертання відбувається навколо осі із середнім значенням моменту інерції тіла.

Робота присвячена створенню maple-програми моделювання процесу обертання твердого тіла за умови врахування ефекту Джанібекова. Диференціальні рівняння для опису обертання об'єкта було складено з використанням кватерніонів [1]. Як приклад твердого тіла обертання обрано прямокутний паралелепіпед та його еліпсоїд інерції.

На рис. 2 залежно від значень початкових швидкостей  $u(t)$ ,  $v(t)$  і  $w(t)$  обертання навколо відповідних осей  $x$ ,  $y$  і  $z$  зображено траєкторії сигнальної точки, яка обертається синхронно з паралелепіпедом і еліпсоїдом.



Рис. 1. Гайка з «вушками» експерименту В.Джанібекова

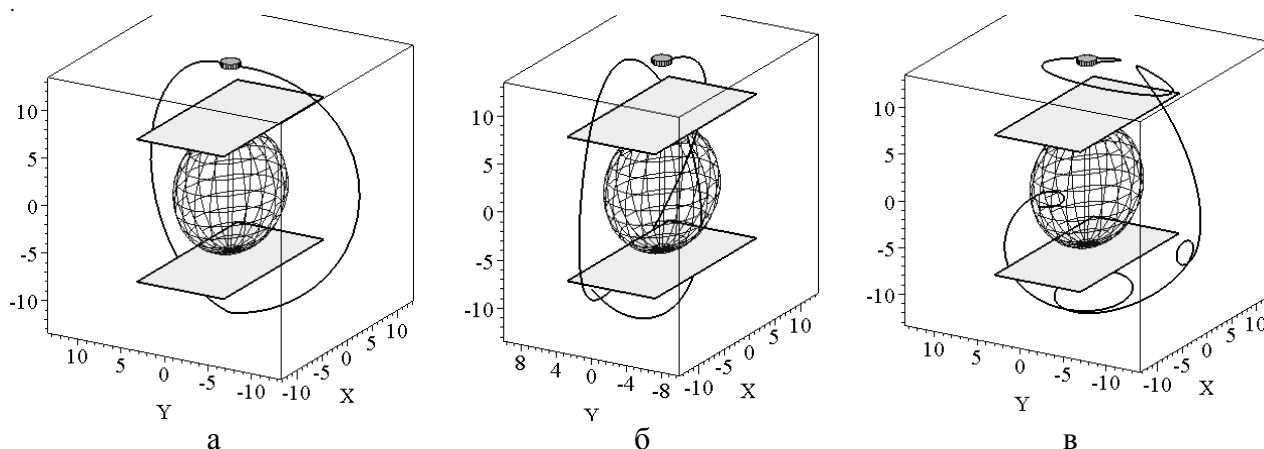


Рис. 3. Траєкторії сигнальної точки залежно від початкових швидкостей обертання:

а)  $u_0 = 0,01$ ;  $v_0 = 0,01$ ;  $w_0 = 1$ ; б)  $u_0 = 0,01$ ;  $v_0 = 0,1$ ;  $w_0 = 0,03$ ;

в)  $u_0 = 0,01$ ;  $v_0 = 0,01$ ;  $w_0 = 0,03$ .

**Висновок** Розроблена Maple-програма дозволяє ілюструвати за допомогою анімаційного фільму процес обертання твердого тіла з врахуванням ефекту Джанібекова. Є можливість спостерігати і аналізувати траєкторію переміщення сигнальної точки з одного крайнього нестійкого положення до іншого залежно від значень початкових швидкостей обертання навколо відповідних осей. Показано, що ефект Джанібекова виникає тоді, коли обертання відбувається навколо осі із середнім значенням моменту інерції тіла.

1. Притыкин В. Магия тензорной алгебры: Часть 18 — Математическое моделирование эффекта Джанибекова. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/264381/>

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 факультет Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

<sup>3</sup> Тернопільський національний економічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІКИ МЕТОДОМ СКІНЧЕННОГО ГІБРИДНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ ЛЕЖАНДРА-БЕССЕЛЯ-ФУР'Є НА СЕГМЕНТІ

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

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

В [1] побудовано скінченне гібридне інтегральне перетворення (СГП), породжене на сегменті  $(0, R_3]$  з двома точками спряження гібридним диференціальним оператором (ГДО) Лежандра-Бесселя-Фур'є.

У даній роботі побудовано розв'язок задачі динаміки на трискладовому сегменті  $(0, R_3]$  з двома точками спряження за допомогою СГП типу Лежандра-Бесселя-Фур'є.

Задача динаміки на трискладовому сегменті математично приводить до побудови обмеженого розв'язку системи рівнянь гіперболічного типу за відповідними початковими умовами, умовами спряження та крайовими умовами.

Застосувавши до даної крайової задач СГП типу Лежандра-Бесселя-Фур'є, ми одержуємо задачі Коші.

Знайшовши розв'язок задачі Коші, застосовуємо до нього обернене СГП типу Лежандра-Бесселя-Фур'є. 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., Шинкарик М.І. Скінченне гібридне інтегральне перетворення типу Лежандра-Бесселя-фур'є на сегменті з двома точками спряження / О.М. Нікітіна, М.І.

В.Ф. МИРГОРОД<sup>1</sup>, І.М. ГВОЗДЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Військова академія (м. Одеса)

<sup>2</sup> Національний університет “Одеська морська академія”

## ПІДХІД ДО ВСТАНОВЛЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ВОЛЬТЕРРИ З СЕПАРАБЕЛЬНИМИ ЯДРАМИ

Вирішення прикладних завдань дослідження процесів керованої зміни стану складних динамічних систем (ДС) здійснюється на основі створення адекватних математичних моделей (ММ) у вигляді диференціальних рівнянь простору стану. Проте далеко не усі процеси в реальних ДС можуть бути описані вказаними ММ простору стану, а обчислювальна реалізація таких ММ вимагає значних обчислювальних ресурсів, що перешкоджає їх застосуванню в системах управління реального часу.

Важливе науково-прикладне завдання полягає у відшукуванні таких ММ, для яких, за умови збереження високої міри адекватності реальним процесам, може бути здійснена їх обчислювальна реалізація в реальному часі. Відомі переваги з даної точки зору мають моделі у вигляді інтегральних рівнянь Вольтерри II -го роду, теорія яких розглянута у ряді фундаментальних робіт [1–3]. Довідкова література [3] присвячена методам і алгоритмам їх обчислювального рішення. Для окремих випадків інтегральних рівнянь Вольтерри II-го роду в [4,5] пропонуються деякі аналітичні рішення для ряду важливих прикладних завдань.

Метою роботи є розробка підходу до аналітичного і обчислювального рішення ряду класів дискретних аналогів систем інтегральних рівнянь Вольтерри II-го роду на основі відшукування рішень відповідних рівнянь, що зв'язують ядро і резольвенту

В роботі розглядається система інтегральних рівнянь Вольтерри II роду [3] з сепарабельними ядрами, що описує зміни стану динамічної системи з векторним входом і векторним виходом, здійснюється перетворення вказаної ММ до систем еквівалентних диференціальних та різницевих рівнянь, встановлена взаємозалежність резольвентних рішень інтегральних рівнянь і фундаментальних рішень еквівалентних диференціальних і різницевих рівнянь. Запропонована модифікація операційного методу рішення дискретних аналогів систем інтегральних рівнянь Вольтерри II роду може використовуватися як ММ процесів в системах з дискретними станами, наприклад, в цифрових системах управління. Знаходження аналітичного рішення дозволяє уникнути проблем обчислювального рішення рівнянь зі змінною верхньою межею інтегрування.

**Висновки.** Пропонований підхід до встановлення рішень систем інтегральних рівнянь Вольтерри II-го роду дає можливість досліджувати нові класи рішень таких рівнянь з різною правою частиною і спростити алгоритми обчислювальної реалізації при таблично заданих вихідних даних, що визначає істотні переваги пропонованих моделей при дослідженні зміни станів складних динамічних систем.

1. Gorenflo, R. and Vessella, S., Abel Integral Equations: Analysis and Applications, SpringerVerlag, Berlin–New York, 1991. – 215 p.
2. Polyanin, A. D. and Manzhirov, A. V. Handbook of Integral Equations, Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2008. – 1108 p.

3. Верлань А.Ф. Справочник по интегральным уравнениям / А.Ф. Верлань, В.С. Сизиков. – К.: Техника, 1986. –700 с.
4. Миргород В.Ф. Обобщение методов аналитического решения некоторых типов интегральных уравнений Вольтерра второго рода / В.Ф. Миргород // Искусственный интеллект. – 2009. – №3. – С. 68–80.
5. Миргород В.Ф. Аналитическое решение систем интегральных уравнений Вольтерры с сепарабельным ядром / В.Ф. Миргород, И.М. Гвоздева, Е.В. Деренг // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон. – 2016.– Вып. 3(58).– С. 380–383.

Р.С. МУСІЙ, Х.Т. ДРОГОМИРЕЦЬКА, О.Г. ОРИЩИН  
Національний університет «Львівська політехніка»

### **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО ЦИЛІНДРА ЗА НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДІЇ ЗА ВРАХУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМОПРУЖНОГО РОЗСІЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ**

Елементи конструкцій сучасної техніки зазнають високоінтенсивних і швидкоплинних фізичних дій – механічних, теплових та електромагнітних. При цьому в них виникають нестационарні взаємозв'язані фізико-механічні поля, які зумовлюють значні рівні напружень, що можуть спричинити втрату несучої здатності конструкції. У літературі відомі дослідження впливу імпульсних та раптових теплових і механічних дій та усталених і квазіусталених електромагнітних полів (ЕМП) на поля деформації і температури в електропровідних тілах. Проте, вплив нестационарних ЕМП імпульсного характеру, які широко використовуються в інженерній практиці [1], на теплові і механічні процеси в електропровідних елементах конструкцій за врахування термопружного розсіювання енергії вивчений недостатньо.

У роботі досліджуються закономірності термомеханічної поведінки електропровідного циліндра, який часто використовується як складовий елемент відповідних пристроїв, за нестационарної електромагнітної дії імпульсного характеру за врахування процесу термопружного розсіювання енергії. Для опису математичної моделі використано співвідношення Максвелла і рівняння зв'язаної динамічної задачі термопружності в переміщеннях для циліндричних тіл. Сформульовано плоску осесиметричну зв'язану динамічну задачу термомеханіки для електропровідного циліндра [2].

Дія нестационарного ЕМП задається значенням дотичної осьової компоненти  $H_z$  вектора напруженості магнітного поля на поверхні циліндра. Ця дія зумовлює в циліндрі два фізичних чинники – джоулеві тепловиділення  $Q$  та пондеромоторні сили  $\vec{F}$ , які викликають появу в циліндрі нестационарних температури  $T$  і тензора динамічних напружень  $\epsilon$ . Поля температури та деформацій є взаємопов'язаними. Метою даного дослідження є встановити вплив нестационарного ЕМП імпульсного характеру на термомеханічну поведінку розглядуваного циліндра за врахування процесу термопружного розсіювання енергії та визначити параметри цього ЕМП, за яких процесом термопружного розсіювання енергії можна знехтувати і температурні поля та напруження в циліндрі знаходити з незв'язаної динамічної задачі термомеханіки для даного циліндра.

Як приклад розв'язано задачу термомеханіки для електропровідного циліндра за дії електромагнітного імпульса (ЕМІ) і чисельно проаналізовано температуру і напруження у циліндрі на основі розв'язків зв'язаної і незв'язаної задач термомеханіки для даного циліндра.

Встановлено, що за тривалостей ЕМІ, які використовуються в технологіях імпульсної електромагнітної обробки електропровідних елементів конструкцій, вплив

термопружного розсіювання енергії на величину температури і напружень є неістотний. Отже, для обчислення температури і напружень в електропровідних циліндрах можна використовувати розв'язки незв'язаної задачі термомеханіки. Результати роботи можуть бути використані для розробки нових технологій магнітно-імпульсної обробки електропровідних матеріалів та побудови раціональних режимів імпульсної електромагнітної обробки циліндричних електропровідних елементів конструкцій.

1. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Л.Т. Хименко – Харьков: МОСТ – Торнадо, 2003. – 288 с.

2. Мусій Р. С. Динамічні задачі термомеханіки електропровідних тіл канонічної форми. – Львів.: РАСТР-7, 2010. – 211с.

О.В. НЕСВІДОМІНА

Національний університет біоресурсів і природокористування України

### ПОБУДОВА ПЛОСКИХ ІЗОМЕТРИЧНИХ СІТОК ЗА НАПРЯМНИМИ ВИХІДНИМИ КРИВИМИ

Базовою властивістю ізометричних (або ще ізотермічних) плоских та просторових сіток (поверхонь) є те, що їх елементарні комірки мають форму квадратів – крайні коефіцієнти 1-ої квадратичної форми однакові [1]. Застосування ізометричних сіток має місце при моделюванні поширення тепла, нанесенні зображень на криволінійні форми з мінімальними спотвореннями [2] тощо. В цих задачах формоутворення плоскої ізометричної сітки доцільно здійснювати, задаючи наперед задану напрямну плоску криву її параметричним рівнянням.

В роботі показано, що для будь-якої плоскої кривої на дійсній площині, параметричне рівняння якої:

$$r(t)=r[x(t),y(t)], \quad (1)$$

на комплексній площині відповідає ізотропна крива - крива нульової довжини, якщо її параметричне рівняння записати у наступному вигляді:

$$r_c(t)=r_c[x(t)\pm y(t)\cdot I, y(t)\mp x(t)\cdot I]. \quad (2)$$

Ізотропна плоска крива дозволяє отримати дві ізометричні сітки. Для цього потрібно у рівнянні (2) підставити замість змінної  $t$  комплексну змінну  $u + v \cdot I$ :

$$R_c(u,v)=R[x(u+v\cdot I)\pm y(u+v\cdot I)\cdot I, y(u+v\cdot I)\mp x(u+v\cdot I)\cdot I], \quad (3)$$

звідки виразити дійсну та уявну частини  $R_{re}(u,v)=\text{Re}(R_c(u,v))$  та  $R_{im}(u,v)=\text{Im}(R_c(u,v))$ .

За допомогою розробленого програмного забезпечення в середовищі символічної алгебри було проведено обчислювальні експерименти з побудови та дослідження плоских ізометричних сіток з такими напрямними плоскими кривими, як-то пряма лінія, коло, еліпс, парабола, гіпербола, циклоїда та інші.

**Висновки.** Плоскій кривій з параметричним рівнянням  $r(t)=r[x(t),y(t)]$  на дійсній площині відповідає ізотропна крива  $r_c(t)=r_c[x(t)\pm y(t)\cdot I, y(t)\mp x(t)\cdot I]$  на комплексній площині. Дві плоскі ізометричні сітки  $R_{re}(u,v)$  та  $R_{im}(u,v)$ , які одержані відокремленням дійсної та

уявної частин рівняння сітки  $R_c(u, v)$  на комплексній площині, є конгруентними та повернутими одна відносно іншої на прямий кут.

1. Аушева Н.М. Геометричне моделювання об'єктів дійсного простору на основі ізотропних характеристик: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 [Текст] / Н.М. Аушева.– К.: КНУБА, 2014.– 38 с.

2. Кремець Т.С. Перетворення плоских зображень шляхом нанесення їх на різні ізометричні сітки [Текст] / Т.С. Кремець, В.М. Несвідомін, Т.С. Пилипака // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 4. – Т. 56. – Мелітополь:ТДАТУ, 2013. – С. 158-163.

Ю.І. НИКОЛАЄНКО<sup>1</sup>, Р.О. ЄВДОКИМОВ<sup>1</sup>, С.В. МОІСЕСЬНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Херсонський фізико-технічний ліцей при ХНТУ і ДНУ

<sup>2</sup>Херсонський національний технічний університет

### РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ХРОНОМЕТРУВАННЯ В СЕРЕДНЬОМУ ВИПАДКОВИХ БЛУКАНЬ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Однією з важливих задач є задача хронометрування в середньому випадкових блукань [2], т.б. визначення середньої кількості кроків, які зробить частинка до потрапляння у вузол-пастку. Цю задачу було запропоновано розв'язати у посібнику [1] для одновимірного кристалу методом статистичних випробувань. В даній роботі вище зазначена задача розв'язується на двовимірній сітковій області за допомогою ітераційної процедури обчислення апіорних перехідних ймовірностей з звичайних вузлів області у вузли-пастки.

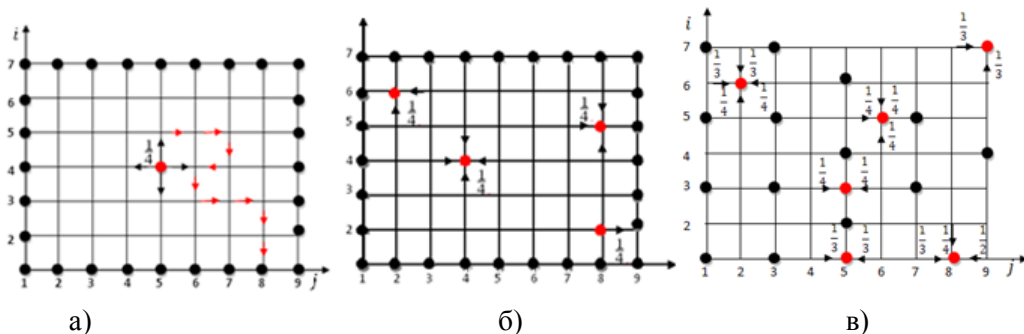


Рис. 1 Схеми випадкових блукань з пастками

а) на межі області методом статистичних випробувань; б) на межі області для ітераційної процедури; в) довільно розподіленими по всій решітці для ітераційної процедури.

Проведено порівняльний аналіз результатів отриманих методом статистичних випробувань (рис.1а) та методом, заснованим на ітераційній процедурі (рис.1 б). В результаті з'ясовано, що для збільшення точності результату на одну точну значущу цифру методом статистичних випробувань треба збільшити кількість іспитів у 100 разів; для отримання результату з трьома точними значущими цифрами необхідно  $10^7$  іспитів та машинний час 113,213 секунд, в той час, як за допомогою ітераційної процедури необхідно 75 ітерацій та машинний час 0,006 секунд при розрахунку на тому ж самому комп'ютері. Встановлено, що абсолютна похибка  $\Delta \bar{S}(i, j)$  при збільшенні числа ітерацій зменшується за експоненціальним

законом:  $\Delta \bar{S}(i, j) \approx \frac{1}{10^{\lambda} - 1} \cdot 10^{-\lambda N}$ . У випадку, коли вузли-пастки розподілені довільно по всій

решітці алгоритм розв'язку майже не змінюється, за винятком значень перехідних ймовірностей із звичайних вузлів на межі області і граничних вузлах (рис.1в).

Для визначення середнього часу блукання необхідно середнє число кроків помножити на час одного кроку  $\tau$ , в двовимірному випадку  $\tau = \frac{h^2}{4D}$ , де  $h$  – крок сітки,  $D$  – коефіцієнт дифузії [3].

**Висновки.** Отже, за допомогою методу, заснованого на ітерційній процедурі, вдалося розрахувати середню кількість кроків частинки до поглинання у вузлу-пастці на порядки швидше, ніж за допомогою методу статистичних випробувань. В перспективі планується знаходження інших ефективних методів розв'язання розглянутої задачі.

1. Гулд Х. Компьютерное моделирование в физике: часть 2 / Х. Гулд, Я. Тобочник – М.: «Мир», 1990. - 399 с.
2. Хомченко А. Н. Явление «сверхсходимости» в задачах Прандтля для уравнение Пуассона / А.Н. Хомченко, Н.В. Колесникова // ААЭКС, №2. -2008. - С.15-18.
3. Зельдович Я.Б. Элементы математической физики / Я. Б. Зельдович, А. Д. Мышкис - М.: «Наука», ГРФМЛ, 1973. -352 с.

Ю.І. ПЕРШИНА<sup>1</sup>, В.О. ПАСІЧНИК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Українська інженерно-педагогічна академія

<sup>2</sup>Харківська державна академія дизайну і мистецтв

## МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ ВІДНОВЛЕННЯ ТОЧОК РОЗРИВУ ФУНКЦІЇ ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ

Існує багато практично важливих наукових та технічних галузей, в яких об'єкти дослідження математично описуються величинами, що зазнають розрив. Такі об'єкти часто виникають в задачах, які використовують дистанційні методи і, зокрема, в задачах томографії. Той факт, що на сьогоднішній день не існує загальної теорії описів вказаних явищ та процесів, говорить про актуальність створення теорії наближення розривних функцій розривними конструкціями та розробки методів виявлення точок або ліній розриву функції, оскільки вказані явища відіграють величезну роль в житті людства. В роботі [1] авторами запропонований, обґрунтований та досліджений метод відновлення розривної лінійної функції однієї змінної та алгоритм виявлення точок  $\varepsilon$ -розриву. В даній роботі пропонується модифікований алгоритм відновлення нелінійної розривної функції однієї змінної.

Нехай задана функція однієї змінної  $f(x)$  (не обов'язково лінійна) на інтервалі  $[0;1]$  з можливими розривами першого роду в точках  $x_k, k = \overline{1, n}$ . Задані вузли розбивають інтервал  $[0;1]$  на  $n-1$  частин. Треба побудувати та дослідити метод відновлення розривної функції  $f(x)$  та виявити точки  $\varepsilon$  - розриву.

Модифікований алгоритм базується на понятті розривного апроксимаційного сплайну та  $\varepsilon$ -неперервності функції.

Будемо називати розривним інтерполяційним лінійним сплайном на відріжку  $[x_k, x_{k+1}]$ ,  $k = \overline{1, n-1}$  функцію  $S(x) \in C^{-1}[a, b]$ , яка визначається наступним чином

$$S(x) = C_k^+ \frac{x - x_{k+1}}{x_k - x_{k+1}} + C_{k+1}^- \frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k}, \quad k = \overline{1, n-1}, \quad (1)$$

де  $C_k^+, C_{k+1}^-$ ,  $k = \overline{1, n-1}$  – параметри сплайну  $S(x)$ , що визначаються у вигляді односторонніх

$$\text{границь } C_k^+ = \lim_{x \rightarrow x_k + 0} f(x), \quad C_{k+1}^- = \lim_{x \rightarrow x_{k+1} - 0} f(x).$$

Розривним апроксимаційним лінійним сплайном на відрізку  $[x_k, x_{k+1}]$ ,  $k = \overline{1, n-1}$  будемо називати розривну функцію, визначену формулою (1), де коефіцієнти  $C_k^+$ ,  $C_{k+1}^-$  сплайна знаходяться методом найменших квадратів в інтегральній формі:

$$\sum_{k=1}^{n-1} \int_{x_k}^{x_{k+1}} (f(t) - S(t))^2 dt \rightarrow \min_C.$$

В роботі наведений та проаналізований модифікований алгоритм наближення розривної нелінійної функції, який виявляє її точки  $\varepsilon$ -розриву.

**Висновки.** Автори вважають перспективним розвиток теорії наближення розривних функцій багатьох змінних розривними сплайнами та побудову математичних моделей розривних процесів на основі розробленої теорії, оскільки, як вже було зазначено, задачі дослідження процесів, що мають розриви, виникають досить часто. Наступним кроком автори планують обґрунтувати метод відновлення розривних функцій двох, використовуючи розбиття області визначення функції двох змінних на прямокутні елементи, з метою оптимізації кількості обчислень.

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

M.PETRYK, D.MYKHALYK, O.PETRYK, I.KORDIAK  
Ternopil National Ivan Pul'uj Technical University

## CONSOLIDATION COEFFICIENTS IDENTIFICATION OF SOLID-LIQUID EXPRESSION FROM SOFT PLANT MATERIALS

Solid-liquid expression of biological materials is an important unit operation in the food, chemical, energy and related industries, which is used for the extraction of vegetable oils, dehydration of fibrous materials, dewatering of waste water sludge and so forth. During expression, the porous layer formed by a whole grain or fragmented material is subjected to compression in industrial presses. Such compression can be carried out under constant or variable parameters. Raw biological materials contain liquid filled cells, hydrated cell walls, micro-channels between cells and intercellular spaces containing air, i.e. are a porous media with different types of pores and channels [1].

In this paper we consider the sliced cellular particles containing liquid as a porous layer subjected to unidimensional pressing. The liquid flows occurs inside the particles of intraparticle space, outside the particles of extraparticle space and between these two spaces. The sliced particles are rectangular parallelepipeds separated by the porous network. The layer of sliced particles is considered as a double-porosity medium. The extraparticles network forms the first porosity with low storage capacity and high hydraulic permeability. The sliced liquid containing particles form a second porosity with high storage capacity and low hydraulic permeability. Flow occurs separately through the two porosities and between them.

Numerical modeling and parameter identification based on the proposed direct and conjugate problems are conducted. Figure 1 illustrates the process of convergence model curves dimensionless liquid flow distribution at the outlet of the compressed water-containing particulate layer on the measurement surface  $z = 0$  to the observation curve for implementing stepwise procedure of identification consolidation coefficients in extraparticle and intraparticle spaces, and



respectively. The values of the input parameters, the properties of the particles and the observation data taken from [2], since this work is the development outlined in these results.

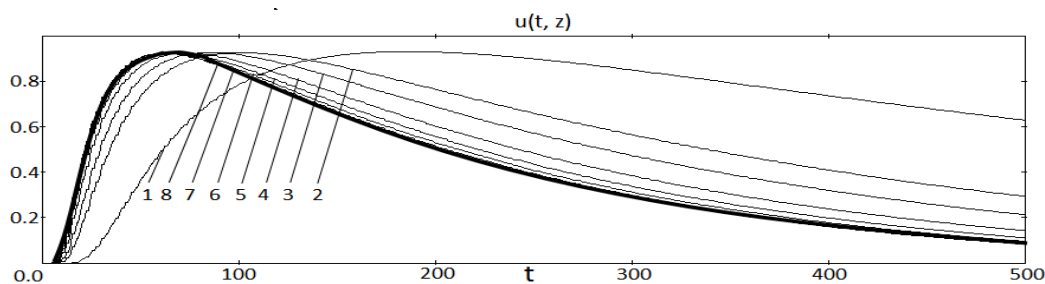


Figure 1 - Process of convergence model curves dimensionless liquid flow distribution at the outlet of the soft plant materials

**Conclusion.** In this work the coefficients identification problems of solid-liquid expression from liquid containing plant materials of micro-porous particles using residual functional, taking into account the total liquid flow changes on the measurement surface is formulated. Highly productivity methods of identification problems implementation based on the analytical solutions of the direct and inverse problems is proposed. Numerical identification of consolidation coefficients in extraparticle and intraparticle space versus time for different layer sections was done for real plant material with two different compressibility-permeability characteristics corresponding to different degrees of tissue destroying.

1. Schwartzberg, H.G. Expression of fluid from biological solids. Separation and Purification Methods, 1997.- 26 (1), 1–213.

2. Petryk M., Vorobiev E. Numerical and Analytical Modelling of Solid-Liquid Expression from Soft Plant Materials. AIChE J. Wiley USA., 2013 - 59(12), 4762–4771.

С.Ф. ПИЛИПАКА<sup>1</sup>, Т.С. КРЕМЕЦЬ<sup>1</sup>, М.Б. КЛЕНДІЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

<sup>2</sup>Бережанський агротехнічний інститут НУБіП України

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОВЗАННЯ ЧАСТИНКИ ПО ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА, ЯКИЙ ЗДІЙСНЮЄ ПОСТУПАЛЬНІ КОЛИВАННЯ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Рухома площина або поверхня є універсальним конструктивним елементом багатьох сільськогосподарських машин [1]. В процесі обробки по них переміщується технологічний матеріал. Найбільш дослідженим є рух частинок по горизонтальній або похилій площині, яка здійснює коливальний прямолінійний або коловий рухи. Дослідження руху матеріальної частинки по шорсткій поверхні циліндра, всі точки якого описують кола в горизонтальних площинах, розглянуто в праці [2].

В роботі розглянуто рух частинки по внутрішній поверхні циліндра, який здійснює поступальні коливання у вертикальній площині. Всі точки циліндра описують еліпси у вертикальних площинах. Якщо півосі еліпсів рівні, то точки циліндра описують кола, якщо одна із них дорівнює нулю, то циліндр здійснює зворотно-поступальний рух. Складено диференціальні рівняння відносного руху частинки, які розв'язано чисельними методами. Побудовано траєкторії відносного руху частинки по поверхні циліндра. Наведено графіки інших кінематичних характеристик у функції часу. Розглянуто часткові випадки, коли вісь циліндра розташована горизонтально або під кутом до горизонтальної площини.

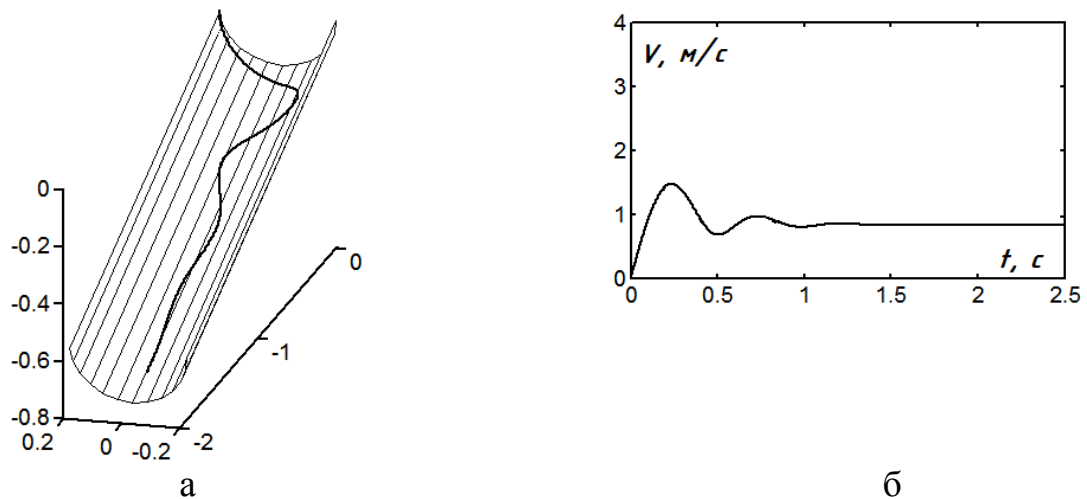


Рис. 1. Графічні ілюстрації до руху частинки по нерухомому циліндру, нахиленому під кутом тертя: а) траєкторія частинки, яка починає рух із стану спокою; б) графік зміни швидкості  $V$  руху частинки

Достовірність отриманих результатів перевірено на окремому випадку, коли циліндр нерухомий і нахилений під кутом тертя до горизонтальної площини. Якщо частинка починає свій рух із нижньої твірної з початковою швидкістю  $V$  в напрямі цієї твірної вниз, то подальший її рух продовжується із цією ж швидкістю вздовж твірної. Якщо ж частинка розпочинає свій рух із стану спокою, але із бічної твірної циліндра, то її траєкторія буде криволінійною (рис. 1,а), а швидкість змінною, яка з часом стає постійною (рис. 1,б) і частинка продовжує рух по нижній прямолінійній твірній циліндра вниз.

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані для проектування поверхонь рухомих робочих органів машин, які взаємодіють із технологічним матеріалом.

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – Киев: Изд-во Укр. акад. сельск. наук, 1960. – 283 с.

2. Пилипака С.Ф. Рух частинки по поверхні циліндра, всі точки якого описують кола в горизонтальних площинах / С.Ф. Пилипака, М.Б. Клендій // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 195-201.

С.Ф. ПИЛИПАКА, М.М. МУКВИЧ  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

### НЕПЕРЕРВНЕ ЗГИНАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ УЯВНОЇ ЦИКЛОЇДИ

Геометрична форма мінімальної поверхні забезпечує рівномірний розподіл зусиль в оболонці та додаткову жорсткість, тому аналітичний опис мінімальних поверхонь є важливою проблемою геометричного моделювання поверхонь технічних форм та архітектурних конструкцій.

У дослідженнях авторів роботи знайдено аналітичний опис мінімальної  $X(u, v)$ ,  $Y(u, v)$ ,  $Z(u, v)$  та приєднаної мінімальної поверхні  $X^*(u, v)$ ,  $Y^*(u, v)$ ,  $Z^*(u, v)$ , побудованих за допомогою уявної циклоїди, заданої комплексним натуральним рівнянням. Вказані поверхні мають рівні відповідні коефіцієнти першої квадратичної форми, тому допускають

неперервне згинання одна на одну. Аналітичний опис однопараметричної множини асоційованих мінімальних поверхонь, утворених при їх неперервному згинанні, дозволяє керувати параметрами цих поверхонь при розв'язуванні різноманітних прикладних задач.

Метою роботи є знаходження аналітичного опису однопараметричної множини асоційованих мінімальних поверхонь, побудованих за допомогою уявної циклоїди, заданої комплексним натуральним рівнянням.

Рівняння однопараметричної множини асоційованих мінімальних поверхонь мають вигляд ( $\varphi \in [0, 0,5\pi]$  – параметр згинання):

$$\begin{aligned} X_\varphi(u, v) &= X(u, v) \cdot \cos \varphi + X^*(u, v) \cdot \sin \varphi, & Y_\varphi(u, v) &= Y(u, v) \cdot \cos \varphi + Y^*(u, v) \cdot \sin \varphi, \\ Z_\varphi(u, v) &= Z(u, v) \cdot \cos \varphi + Z^*(u, v) \cdot \sin \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

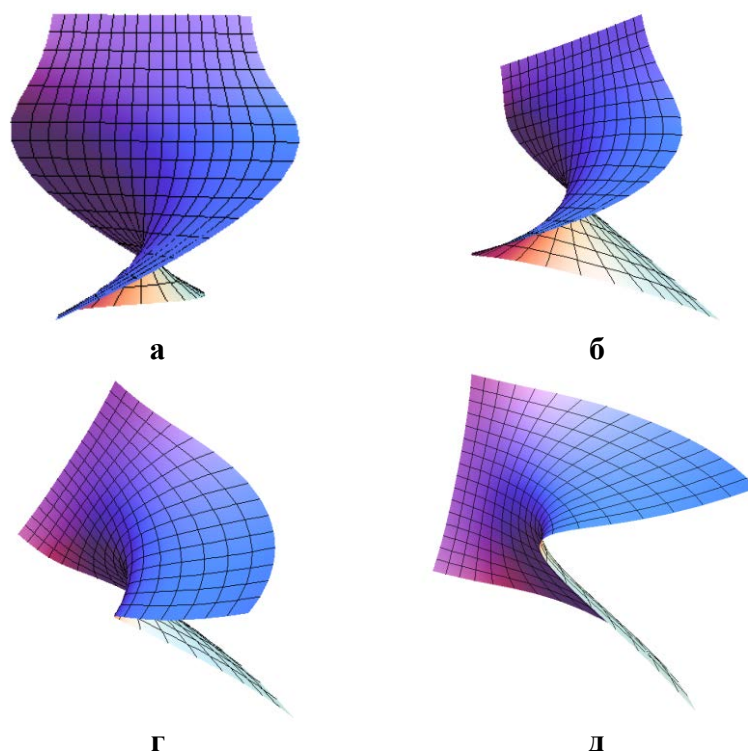


Рис. 1. Відсіки множини асоційованих поверхонь, отриманих

із (1) при: а)  $\varphi = 0$ ; б)  $\varphi = \frac{\pi}{8}$ ; в)  $\varphi = \frac{\pi}{3}$ ; г)  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ .

**Висновки.** Здійснено аналітичний опис однопараметричної множини асоційованих мінімальних поверхонь, побудованих за допомогою уявної циклоїди, заданої комплексним натуральним рівнянням.

1. Пилипака С.Ф. Утворення ізотропних ліній та міні-мальних поверхонь за допомогою плоских кривих, заданих функціями натурального параметра [Електронний ресурс] / С.Ф. Пилипака, М.М. Мук-вич // Наукові доповіді НУБіП України. – 2016. – №7 (64). – Режим доступу до журн.:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7734>

## ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПЛОСКОЇ ДИСКРЕТНОЇ КРИВОЇ

При моделюванні процесів і явищ використовують експериментальні дані, які, як правило, мають дискретний характер. Тим самим замість деякої неперервної кривої  $t$ , що відображає неперервну зміну процесу, маємо її дискретний аналог, тобто *дискретно представлену криву* (ДПК). Геометричною основою ДПК є *дискретний точковий ряд* (ДТР), а сама ДПК це ДТР та алгоритм побудови довільних проміжних точок між вузлами відомого ДТР з метою як можна точнішого представлення шуканої неперервної кривої [1]. Данні алгоритми складають основу дискретної інтерполяції, одним з напрямків якої є варіативне дискретне геометричне моделювання (ВДГМ) – напрямок, який починаючи з 80-х років ХХ століття розробляється в рамках Мелітопольської школи прикладної геометрії, завданням якого є встановлення взаємозв'язків між різними характеристиками і параметрами модельованого явища шляхом дослідження адекватних геометричних схем і розробки відповідних розрахункових алгоритмів. Однак, перш ніж розробляти адекватні геометричні схеми та розробляти відповідні розрахункові алгоритми, необхідно обрати відповідний спосіб дискретного подання вихідної дискретно представленної кривої, оскільки подальші дослідження та точність отриманих результатів напряму будуть залежати від цього.

Тому в роботі розглядається різні способи подання дискретно представленної кривої, а саме: значеннями координат вузлів, перевищеннями ординат сусідніх точок, кутами нахилу ланок супровідної ломаної лінії (СЛЛ) до осі  $Ox$ , кутами суміжності, довжиною ланок СЛЛ. При цьому в якості параметрів моделювання використовуються як лінійні, так і кутові параметри, які у порівнянні з лінійними мають ряд переваг.

Означені способи є досить дієвими при завданні однозначних ДПК. Для багатозначних ДПК вони також придатні, але не завжди однаково ефективні. Тому в роботі розглянуто представлення багатозначних ДПК двома однозначними параметричними рядами ( $x=f(i)$  та  $y=f(i)$ ) на цілочисловій рівномірній сітці, де в якості параметра виступає номер точки  $i$ . Параметричне представлення кривої дозволяє спростити процес моделювання неоднозначних ДПК як за рахунок рівномірної сітки, так і за рахунок застосування методів моделювання однозначних ДПК. Головною перешкодою при моделюванні багатозначних ДПК є наявність вертикальних дотичних, яким відповідають точки екстремуму графіка  $x(i)$ . При моделюванні на нерівномірній сітці, у порівнянні з рівномірною, виникають деякі обчислювальні труднощі [1]. Одним із можливих рішень даної задачі є точне аналітичне визначення характеристик ДТР. Тому в роботі запропоновано дієвий спосіб визначення геометричних характеристик вихідного ДТР, заданого сукупністю точок  $(x_i, y_i), i = \overline{0; n}$  в декартовій системі координат, однаково ефективний для однозначних і неоднозначних ДПК. При цьому не буде необхідності в візуальній корекції кутових характеристик кривої для неоднозначних кривих.

**Висновки.** В роботі розглянуто основні способи представлення ДПК на основі лінійних та кутових параметрів, які можуть використовуватись як для однозначних так і для неоднозначних кривих. Було запропоновано ефективний спосіб представлення ДПК довільної конфігурації на основі кутових параметрів, необхідних для завдання ДПК. Правильно обраний спосіб представлення ДПК дозволить підвищити точність та спростити процес побудови довільних проміжних точок між вузлами відомого ДТР з метою як можна точнішого представлення шуканої неперервної кривої.

1. Найдиш В.М. Основи прикладної дискретної геометрії / В.М. Найдиш, В.М. Верещага, А.В. Найдиш, В.М. Малкіна. – Мелітополь: ТДАТУ, 2007. – 194 с.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В ОБРОБЦІ МАМОГРАФІЧНИХ ЗНІМКІВ

Одним із найпоширеніших видів онкологічних захворювань серед жінок за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я є рак молочної залози. Для діагностики онкологічних захворювань застосовують мамографію [1] – неінвазивний рентгенологічний метод дослідження молочних залоз. Існує багато видів мамографії, кожен з яких має свої переваги та недоліки, та орієнтований на конкретну область. Аналіз знімків при цьому не дає однозначного діагнозу, оскільки залежить від кваліфікації лікаря та його суб'єктивної думки. Використання алгоритмів кластеризації [2] при аналізі мамографічних зображень дозволить знизити ризики встановлення хибного діагнозу пацієнтам та усунути суб'єктивну складову людського фактору.

Зараз використовується безліч методів кластеризації, що істотно відрізняються між собою за різними показниками: тип вихідних даних, чутливість, швидкість дії, кількість управляючих параметрів та ін. [2]. Серед підходів, що найбільш часто використовуються для виконання кластеризації виділяють нечітку логіку, нейронні мережі та нейро-фаззі алгоритми (включають переваги як методів нечіткої логіки так і нейронних мереж). Слід відзначити, що неоднозначність процедури дефазифікації нечітких методів та нейро-фаззі алгоритмів істотно впливає на ефективність та якість кінцевого результату [3]. В даній роботі здійснено аналіз мамографічних зображень на основі алгоритмів кластеризації (k-means, FCM, HCM, GK, FAFCM, FCM-SOM, алгоритм гібридної кластеризації) при різних параметрах (експоненційна вага, вибір метрики при динамічному стисненні), та досліджено ефективність даних алгоритмів для виявлення новоутворень у молочній залозі та мікрокальцинатів (відкладення солей кальцію).

Результат аналізу показав неефективність роботи алгоритмів k-means та FAFCM в порівнянні з іншими алгоритмами, що пояснюється низькою якістю отриманого результату. Стосовно швидкодії запропонованих алгоритмів кластеризації: швидкість дії найвища у алгоритма k-means, при найгіршому результаті якості отриманого зображення; далі за швидкістю відзначимо алгоритми HCM та GK (в 2-3 рази швидше за стандартний FCM), які також ефективно виділяють область новоутворення молочної залози. Щодо алгоритмів, які мають у своїй архітектурі нейронну мережу – швидкість дії найнижча, що пояснюється складним механізмом роботи. В роботі експериментально показано, що збільшення значення експоненційної ваги для базового алгоритму FCM знижує якість результуючого зображення (виділення кластерів) та збільшує час обробки; визначено оптимальне значення параметру експоненційної ваги. В роботі також досліджується вплив метрики при динамічному стисненні [4] на результат обробки.

**Висновки.** Результати роботи можуть бути використані при розробці нових універсальних або модифікації вже існуючих алгоритмів з визначеними критеріями їх ефективності для обробки конкретного типу зображення.

1. Садыков С. С. Автоматизированная обработка и анализ маммографических снимков: монография / С. С. Садыков, Ю. А. Буланова, Е. А. Захарова; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 208 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений/ Р.Гонсалес, Р.Вудс; [пер. с англ. Под ред. П.А.Чочиа].-М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
3. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH/ А.Леоненков – С.Пб.:БХВ-Петербург,2003.-719 с.
4. Ахметшина Л.Г. Повышение чувствительности алгоритма гибридной нечеткой кластеризации на основе вычисления взвешенного Евклидова расстояния / Л.Г. Ахметшина,

Е.В. СТЕГАНЦЕВ, Е.А. ПИЛИПЕНКО  
Запорожский национальный университет

## ОГИБАЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СЕМЕЙСТВ ОКРУЖНОСТЕЙ

В теории обыкновенных дифференциальных уравнений применяется метод нахождения огибающих для получения общего и особых решений. Так называемая трубчатая поверхность - огибающая однопараметрического семейства сфер, центры которых принадлежат некоторой плоской кривой – является примером интегральной поверхности. При определенных условиях она действительно имеет вид трубки [3].

Пусть имеется некоторое семейство плоских линий. Огибающей этого семейства называется такая линия, которая в каждой своей точке касается одной из линий заданного семейства. Если семейство линий задано уравнением  $f(x, y, \alpha) = 0$ , то огибающая этого семейства описывается системой уравнений [1]

$$\begin{cases} f(x, y, \alpha) = 0, \\ f'_\alpha(x, y, \alpha) = 0. \end{cases}$$

В работе рассматривается огибающая семейства окружностей одинакового радиуса, центры которых расположены на параболе  $x^2 = 2\tilde{p}y$ ,  $\tilde{p}$  - параметр параболы. Такую огибающую принято называть параллелью. Сделав замену  $p = \frac{1}{4\tilde{p}}$ , получим уравнение параболы в виде  $y = 2px^2$ .

Как показывает практика построения параллелей, в одних случаях параллель имеет тот же вид, что и кривая, на которой расположены центры окружностей (в данном случае парабола), а в других случаях это свойство не сохраняется. Целью работы является получение зависимости между параметром параболы и радиусом окружностей семейства, определяющего параллель параболы, при которой параллель тоже будет параболой.

Идея получения критерия основана на тех соображениях, что искажение параллели происходит в том случае, когда при смещении окружности вправо на  $\Delta x$ , точка касания с огибающей смещается влево. Это означает, что ее абсцисса становится отрицательной (рис.1).

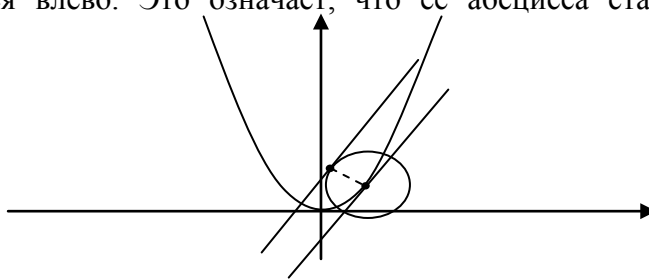


Рисунок 1

**Выводы.** В статье рассмотрены параллели семейств окружностей с центрами на параболе. Доказано, что при условии  $R < \tilde{p}$  параллель также является параболой. Приведены примеры параллелей некоторых семейств окружностей.

1. Болтянский В. Г. Огибающая. Москва : Гос. изд-во физико-математической лит., 1961. 76 с.

2. Залгаллер В. А. Теория огибающих. Москва : Наука, 1975. 106 с.
3. Курант Р. Уравнения с частными производными / Москва: Мир, 1964, 830 с
4. Мищенко А. С., Фоменко А. Т. Курс дифференциальной геометрии и топологии. Москва: Физматлит, 2004. 304 с.

С.Ю.СУЛИМЕНКО, В.О.АНПЛОГОВА, Г.Г. СУЛИМЕНКО,  
Київський національний університет будівництва та архітектури

### АНАЛІЗ ПРИДАТНОСТІ ЕСКІЗНО ЗАДАНОГО КОНУСУ ДО МОДЕЛЮВАННЯ НА ЙОГО ОСНОВІ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ

Розглядаються задачі пов'язані з моделюванням поверхні обертання за ескізною заданою лінією обрису. Важливим є встановлення придатності довільної лінії до такого застосування та пошуку вірогідної площини симетрії обгортувального конуса.

*Властивість:* нехай задані дві твірні симетричного конуса, площина симетрії якого невідома; знайдена бісекторна площина між площинами, дотичними до конуса, вздовж цих твірних. Якщо бісекторній площині належить і бісектриса кута між твірними, то така площина буде площиною симетрії конуса.

На основі *властивості* запропоновано відносний критерій для ітераційного пошуку симетричних пар твірних. В ескізному варіанті будується множина таких пар і точки на картині (точки  $D_i$  на рисунку), лінійна апроксимація яких за методом найменших квадратів оцінюється коефіцієнтом кореляції [2].

Для реалізації цих задач була створена програма Outline на базі інтегрованого середовища розробки Unity з можливістю імпорту файлів креслення AutoCAD та подальшої їх обробки. Роботу цієї програми проілюстровано прикладом (рисунок).

Будується площина симетрії ескізного конуса. На цій площині виділяється вісь обертання і на основі алгоритму, розробка і реалізація якого описані в [1], будується поверхня обертання за ескізною заданим обрисом.

В таблиці наведені результати, які визначають і оцінюють слід площини симетрії на картині.

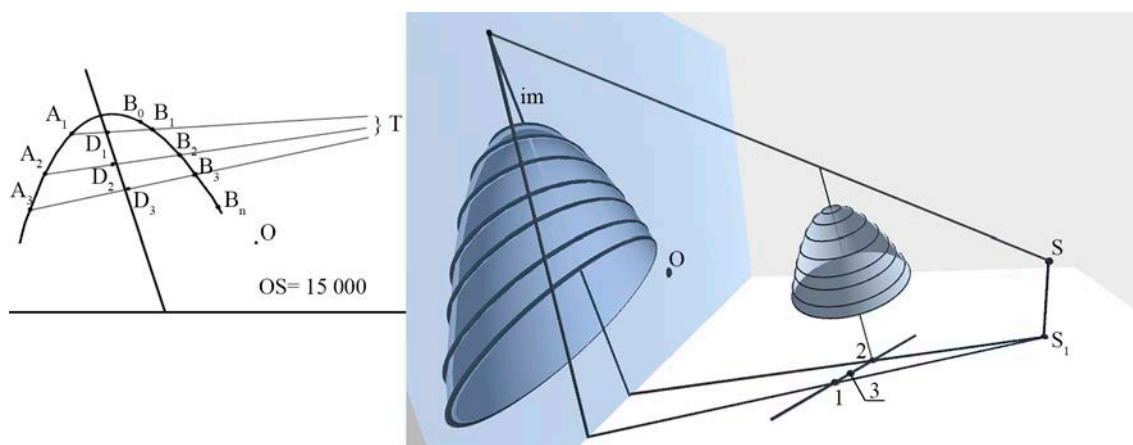


Рис. Приклад роботи програми

Таблиця

Точка	x (мм)	y (мм)	KR  <sub>i</sub>	y = ax + b		r
				a	b	
D <sub>1</sub>	-4651,72	1558,418	0,0014	-2,54813	-10073,6	0,97446
D <sub>2</sub>	-5271,84	3791,112	0,0072			
D <sub>3</sub>	-5924,25	4811,921	0,0049			

**Висновок.** Проведені дослідження роблять певний крок у моделюванні поверхонь за ескізом перспективної лінії обрису.

1. Сазонов К.О. Моделювання поверхонь обертання на перспективних зображеннях /К.О.Сазонов, Г.Г. Суліменко, С.Ю. Суліменко // Сучасні проблеми моделювання: зб.наук.праць / МДПУ ім. Б.Хмельницького – Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б.Хмельницького, 2016. Вип.5. – С.110-115.

2. Щербаков И. Н. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ, Материалы к лекционному курсу [Електронний ресурс] / Игорь Николаевич Щербаков – Режим доступу до ресурсу:[http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/NumMethods/Reg\\_MNK.htm](http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/NumMethods/Reg_MNK.htm).

Н. К. ТИМОФІЄВА

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України

## **ВЛАСТИВІСТЬ ПОДІБНОСТІ В КОМБІНАТОРИЦІ ТА КОМБІНАТОРНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Досліджуються задачі комбінаторики та комбінаторної оптимізації на подібність. Вивчення цієї властивості дозволяє пояснити чому задачі з різних класів розв'язуються за однією і тією ж обчислювальною схемою. В [1] наведено деякі ознаки, за якими можна встановлювати подібність задач як в комбінаториці так і в комбінаторній оптимізації. Таким чином, однією з проблем в теорії комбінаторної оптимізації є виявлення критеріїв подібності цих задач з метою узагальнення та використання для їхнього розв'язання універсальних підходів, які дають можливість знаходити глобальний або наближений до глобального результат.

Системний аналіз комбінаторних конфігурацій показує, що вони подібні за способом їхнього утворення та впорядкування. Можна побачити, що деякі з них генеруються за однією і тією ж обчислювальною схемою, або модифікацією одного і того ж алгоритму.

При моделюванні прикладних задач в рамках теорії комбінаторної оптимізації виділимо спільні ознаки, які характерні для задач цього класу. За способом обчислення цільової функції маємо 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 оговорених задач необхідно: 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) змоделювати цільову функцію.

До загальної математичної постановки задачі комбінаторної оптимізації, аргументом цільової функції в якій є перестановка та які відносяться до статичних, зводяться задачі комівояжера, про призначення, розміщення одногабаритних об'єктів на поверхні та ін. Цільова функція для них моделюється однаковим виразом, за яким оцінюється результат. Завдяки цій властивості задачі комбінаторної оптимізації, аргументом цільової функції в яких є перестановка та на підмножині ізоморфних комбінаторних конфігурацій (задача кластеризації), розв'язуються універсальними методами

Основними ознаками подібності динамічних задач є зміна результату розв'язання в часі та для його поточного відліку обчислення часткової цільової функції. Для розв'язання динамічних задач дискретної математики, як правило, використовують динамічне



програмування. Процес їхнього розв'язання цим методом описується орієнтованим ациклічним графом, часткові значення цільової функції змінюються в часі та обчислюються за рекурентними правилами. До того ж при оцінці результату виконується принцип Беллмана. Ці ознаки визначаються типом аргументу цільової функції.

Отже, аналіз різних класів задач комбінаторної оптимізації дозволяє виявляти різні ознаки, за якими можна встановлювати їхню подібність. Основною ознакою подібності задач комбінаторної оптимізації є аргумент цільової функції (комбінаторні конфігурації) та вид задачі (статична чи динамічна). Якщо для певних задач із різних класів аргумент однотипний, то для їхнього розв'язання використовуються універсальні методи та алгоритми.

1. Тимофієва Н.К. Про подібність задач комбінаторної оптимізації та універсальність алгоритмів / Н.К. Тимофієва // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С. 27–37.

P.P. TROKHIMCHUCK

Lesya Ukrayinka East European National University, Lutsk, Ukraine

## TO QUESTION OF CALCULATION AND FOUNDATION OF MATHEMATICS

The problems of calculation and foundation of mathematics have long history [1,2]. This problem is connected with problem simplicity-complexity, which is central problem for each science. Roughly speaking it is the problem of optimal formalization of knowledge. This problem is beginning from famous Archimedes phrase: “Give me fulcrum and I'll reverse Universe” [1].

Therefore this problem is basic for the creation new science. It was used by Aristotle, Descartes, Newton and other researches. But each science must be optimal system.

So problem of complexity is one of central problem in modern mathematics and cybernetics [1 – 5]. This problem is caused in synthetically sciences. Roughly speaking it has two aspects: system (problem of century in cybernetics according S. Beer [1, 3]) and computational (problem of computational complexity [1, 4, 5]. Last problem is included in basic problems of modern mathematics (Smale problems) [1, 4, 5].

As variant of resolution system aspect of problem complexity in cybernetics may be problem simplicity – complexity, which is included in Polymetric Analysis (PA) (universal system of analysis, synthesis and formalization of knowledge) as principle simplicity. Basic elements of this theory – functional numbers is generalizing of quadratic forms.

Hybrid theory of systems (HTS) as element of PA is created on the basis principles (criteria) of reciprocity and simplicity [1, 3 – 5]. Only 10 minimal types of formalization system may be used. But number of real systems may be infinite. These systems are differed by step of its complexity. It is may be represented as answer on the one of basic question of modern theory of systems [1, 3 – 5] about possible number of systems and its classification with point of simplicity – complexity[1, 3 – 5].

Therefore HTS may be represented as variant of resolution the problem of century in cybernetics according S. Beer and may be used for the resolution problem of computational complexity (theory of informative calculations, TIC) [1, 3 – 5].

Theory of informative calculations may be represented as variant of resolution of computational complexity[1, 3 – 5].

**Conclusions.** We show, that problem of calculation is the central problem of mathematics and therefore must be represented as basis of foundation of mathematics. The polymetric analysis is based on the functional expansion of number and calculations as elements of measure, may be

represented as universal system of analysis, synthesis and formalization of knowledge. It may be interpreted as foundations of mathematics and theoretical foundation of computing science.

1. Trokhimchuck P.P. Mathematical foundations of knowledge. Polymetrical doctrine. – Lutsk: Vezha-Print, 2014. – 624 p. (In Ukrainian)
2. Bogachevskiy Yu. Formalism and intuitionism in mathematics// Transactions of Shevchenko Scientific Society, vol. 31, 1937. – P. 81 – 98 (In Ukrainian)
3. Trokhimchuck P.P. Problem of Simplicity-Complexity in Modern Science and Polymetrical Analysis // International Journal of Engineering Research and Management, vol.3, is.7, 2016. – P. 86-95.
4. Trokhimchuck P.P. Theories of Open Systems: Realities and Perspectives.// International Journal of Innovative Science and Research Technology. Vol. 2, is. 4, 2017. – P. 51-60.
5. Trokhimchuck P.P. Problem of complexity in modern cybernetics and computing science and ways of their resolution/ // Bulletin of Kherson National Technical University, No. 3(58), 2016. – P. 292-296

Г.Я. ТУЛУЧЕНКО, Т.А. СЕЛЮЯНОВА, Н.В. СТАРУН  
Херсонський національний технічний університет

### ЕКВІВАЛЕНТНІ ФОРМИ ПОЛІНОМІВ ЕРМІТОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

У методі базисних елементів інтерполяційний поліном  $\varphi_D(x)$  для функції  $f(x)$  (яка є диференційованою потрібну кількість разів) шукається у локальній системі координат на трьохточковій сітці  $\Delta_3^{ab} : x_a < x_0 < x_b$ . у вигляді:

$$\varphi_D(x) = \sum_{j=0}^m \mathbf{b}_j^T \cdot \mathbf{r}_j = \sum_{j=0}^m Q^j \cdot w^T \cdot \mathbf{r}_j, \quad (1)$$

де  $\mathbf{r}_j = (r_{ja}; r_{jb}; r_{j0})$  – вектор невідомих шуканих коефіцієнтів;

$\mathbf{w} = (w_1; w_2; w_3)$  – вектор базисних елементів у вигляді поліномів другого степеня:

$$w_1 = -\frac{x(x-x_b)}{x_a(x_b-x_a)}; \quad w_2 = \frac{x(x-x_a)}{x_b(x_b-x_a)}; \quad w_3 = \frac{(x-x_a)(x-x_b)}{x_a x_b};$$

$Q = (x-x_a) \cdot x \cdot (x-x_b)$  – допоміжна "зануляюча" кубічна парабола [1]

Особливістю полінома (1) є те, що він має найстарший степінь виключно  $(3m+2)$ . Невідомі коефіцієнти  $\mathbf{r}_j$  знаходяться із вимоги рівності значень інтерполяційного полінома та значень його похідних в вузлах сітки із відповідними значеннями функції, що інтерполюється, та її похідних:

$$(f(x) - \varphi_D(x))^{(j)} \Big|_{x=x_a, x_b, x_0}, \quad j = \overline{0; m}. \quad (2)$$

Особлива структура полінома (1) призводить до того, що кожне рівняння системи (2) містить тільки один невідомий коефіцієнт із вектора  $\mathbf{r}_j$ .

Звернемо увагу на те, що вимоги (2) співпадають із вимогами до інтерполяційного полінома Ерміта  $\varphi_E(\tau)$  з тими ж вузлами  $\{x_a, x_0, x_b\}$ .

**Висновки.** Авторами доведено, що інтерполяційні поліноми степенів  $(3m+2)$ , які побудовані за схемою Ерміта та за методом базисних елементів (1), є тотожними на однакових сітках. Для доведення цього факту використовується поняття базису лінійного простору поліномів степеня не вищого за заданий.

Розрахункова схема, що запропонована професором Н.Д. Дикусаром, є за своєю природою ієрархічною і, відповідно, більш ефективною при проведенні уточнюючих досліджень. Матричний підхід, що застосований авторами даної публікації, вимагає виконання значно більшої кількості арифметичних операцій для побудови інтерполяційного полінома, але дозволяє запропоноване доведення зробити наочним.

Відповідно для обох форм інтерполяційного полінома має місце однакова поточкова оцінка похибки інтерполяції:

$$|f(x) - \varphi(x)| \leq \frac{\max |f^{(3m+3)}(x)|}{(3m+3)!} \cdot |(x-x_a)^{m+1}(x-x_0)^{m+1}(x-x_b)^{m+1}|, \quad x \in [a;b] \quad (3)$$

Дикусар Н.Д. Полиномиальная аппроксимация высоких порядков / Н.Д. Дикусар // Математическое моделирование. – 2015. – Т. 27. – № 9. – С. 89-109.

А.В. УСОВ, Ю.О. МОРОЗОВ

Одеський національний політехнічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ

Для вирішення будь-якої задачі, пов'язаної з аналізом динаміки систем управління, необхідно, насамперед, скласти математичну модель системи, що досліджується. Найбільш поширеними математичними моделями є системи диференціальних рівнянь (звичайних чи з частинними похідними), які дають можливість проаналізувати динамічні властивості та поведінку складних систем [1].

Різні системи управління можуть включати в себе пружні системи технічних об'єктів (несучі системи, шпindelні вузли, механізми руху), робочі процеси технічних об'єктів (процеси різання металів, процеси в приводах технічних систем, процеси тертя рухомих механізмів та ін.), замкнуті технологічні системи (технологічні системи лезвийної або абразивної обробки матеріалів, технологічні системи машин і механізмів; автоматичного транспорту, промислових роботів) та інші. Наприклад, технологічна система (ТС) утворюється еквівалентною пружною системою машини (верстата) і робочих процесів у їх взаємодії ..

Розрізняють два роди рівнянь систем управління - рівняння сталих режимів, або рівняння статичності, і рівняння перехідних процесів, або рівняння динаміки процесу управління.

Рівняння сталих режимів, в яких рівноваги вплив і навантаження приймаються постійними, зазвичай є алгебраїчними рівняннями. Вони пов'язують узагальнені координати, які визначають систему, і дозволяють знайти положення будь-якого елемента системи або величину, що характеризує його стан (наприклад, температуру регульованою печі, положення регулюючого органу, кількість поданого палива і т.д.).

Рівняння динаміки процесу управління зазвичай є диференціальними або функціонально-диференціальними. Для систем з розподіленими параметрами динаміка системи описується рівняннями з частинними похідними. Вони визначають поведінку системи управління в перехідному процесі при дії збурюючих сил або після припинення їх дії./2/.

Для складання рівнянь динаміки система управління розбивається на елементи (ланки). Для кожного з них складається відповідне рівняння на підставі того фізичного закону, який визначає процес, що протікає в даному елементі. Сукупність рівнянь динаміки, складених для всіх елементів системи, визначає поведінку процесу управління.

У ряді випадків завдання складання диференціальних рівнянь процесу управління полегшує застосування рівнянь Лангранжа другого роду, складених для узагальнених координат системи. Цей метод доцільно використовувати тоді, коли складання виразів кінетичної і потенційної енергії системи і дисипативної функції не становить труднощів /3/.

Зауважимо, що такі ж рівняння можна отримати, якщо користуватися принципами найменшої дії. Однак створена в цьому випадку задача є не початковою, а крайовою.

**Висновки:** У загальному випадку рівняння складаються на основі різних фізичних законів (Ньютона, Максвелла, Кірхгофа і т.п.). Складання рівнянь - дуже важке завдання і в багатьох випадках можна виконати тільки при тих чи інших припущеннях.

1. Дубовой В.М. Моделирование та оптимізація систем./В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В. Усов/Вінниця:ПП "ТД" "Едельвейс", 2017.- 804 с.

2. Усов А.В. Математическое моделирование технических систем/А.В. Усов, В.А. Вайсман, Д.В. Дмитришин/К.: Техника, 1995.-328 с.

3. Усов А.В. Моделирование систем с распределенными параметрами /А.В. Усов, А.Н. Дубров, Д.В. Дмитришин/ Одесса: Астропринт, 2002.-664 с.

В.П. ЮРЧУК, П.М. ЯБЛОНСЬКИЙ  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ КОЧЕННІ БЕЗ КОВЗАННЯ В СИСТЕМІ «ВИЛКА–ДИСК»**

Одним із ефективних методів, які використовують у машинобудуванні, є метод спряження поверхонь. В сільськогосподарському машинобудуванні він також раціонально став використовуватись при геометричному моделюванні робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь, а саме при аналітичному конструюванні вильчатих та дискових копачів коренезбиральних машин.

Аналіз останніх досліджень вказує на раціональність використання теорії спряження при проектуванні нових робочих поверхонь та при корегуванні поверхонь існуючих викопуючих робочих органів (ВРО) коренезбиральних машин [1-3].

В роботі виконане взаємне визначення однієї спряженої поверхні за існуючими геометричними параметрами іншої з використанням діаграми кінематичного гвинта, яка визначає умови спряження досліджуваних поверхонь, зокрема, у системі «вилка–диск».

Самими поширеними поверхнями серед гвинтових, які використовуються в сільськогосподарському машинобудуванні, є гелікоїдальні поверхні. Для взаємного визначення однієї спряженої поверхні за існуючими геометричними параметрами іншої, необхідно знати характер їх відносного руху.

При конструюванні однієї поверхні за базовою поверхнею, яка є моделлю наперед визначених агротехнічних вимог, необхідно виключити явище інтерференції, тобто процес

входження поверхні вилкового копача в поверхню дискового (чи при внутрішньому зачепленні – виходу із нього).

Для забезпечення цієї умови необхідно в системі «вилка–диск» використати діаграму кінематичного гвинта, яка визначає умови спряження досліджуваних поверхонь. Вихідною поверхнею в цьому випадку буде базовий евольвентний гелікоїд вилкового копача.

**Висновки.** Значною перевагою при використанні діаграми кінематичного гвинта є те, що, використовуючи отримане графічне рішення даної задачі, можна вирішити обернену задачу: за відомими геометричними параметрами дискового копача отримати параметри спряженої поверхні вилкового копача.

Для дослідників та інженерів-конструкторів ґрунтообробних машин та знарядь така інформація може слугувати вихідною для проведення пошуку при побудові нових поверхонь чи при коригуванні поверхонь існуючих викопуючих робочих органів коренезбиральних машин.

1. Яблонський П.М., Подкоритов А.М., Юрчук В.П. Використання теорії спряжених поверхонь при конструюванні сільськогосподарських знарядь / П.М. Яблонський, А.М. Подкоритов, В.П. Юрчук // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – Вип. 8. – С. 159-164.

2. Юрчук В.П. Спряжені поверхні в геометричних моделях формотворення робочих органів коренезбиральних машин автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.01.01 “Прикладна геометрія, інженерна графіка” / В.П. Юрчук. — Київ, 2002. — 36 с.

3. Яблонський П.М. Геометричне моделювання поверхонь ґрунтообробних знарядь дискового типу з урахуванням явища інтерференції автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.01.01 “Прикладна геометрія, інженерна графіка” / П.М. Яблонський. — Мелітополь, 2011. — 25 с.

І.В. ГРИЦУК<sup>1</sup>, Т.П.БІЛОУСОВА<sup>2</sup>, Ю.В. ГРИЦУК<sup>3</sup>, Ю.В. ВОЛКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Херсонський національний технічний університет

<sup>3</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури (м. Краматорськ)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Для забезпечення формування предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану транспортного засобу (ТЗ) в умовах експлуатації, при здійсненні дистанційного моніторингу і визначенні умов експлуатації ТЗ у складі бортового інформаційного комплексу, доцільно використовувати діаграми потоків даних.

Мета дослідження – формулювання і моделювання підходів та побудова діаграми потоків даних системи інформаційного обміну для керування класифікацією умов експлуатації ТЗ в інформаційних умовах ITS.

Моніторинг параметрів технічного стану транспортних засобів автомобільного транспорту – це постійне і синхронізоване спостереження за їх технічним станом за множиною фіксованих технічних параметрів.

Для визначення предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації при проведенні його моніторингу будемо використовувати діаграми потоків даних (DFD - Data Flow Diagramm). Розроблена діаграма

потоків даних (DFD) являє собою самий верхній описовий рівень системи моніторингу ТЗ. Подальше уточнення моделі потоків даних проводимо шляхом декомпозиції об'єктів, які складають її.

Джерелами первинної інформації про технічний стан ТЗ в системі моніторингу технічного стану виступають «Учасники процесу моніторингу ТЗ (користувачі), засоби моніторингу», «Процес експлуатації ТЗ в умовах експлуатації», «Умови експлуатації ТЗ в процесах моніторингу» тощо, що вважаємо «зовнішніми сутностями». До функціональних завдань інформаційної системи моніторингу ТЗ відносимо ідентифікацію, моніторинг параметрів і діагностування технічного стану ТЗ та оцінка умов експлуатації ТЗ засобами ITS.

Потоками даних в системі моніторингу ТЗ, що розглядається, будуть дані, які одержуються від учасників процесу моніторингу ТЗ, від відповідних засобів моніторингу, від учасників експлуатації ТЗ про умови експлуатації ТЗ і процеси експлуатації ТЗ під час моніторингу, які в подальшому обробляються, передаються і зберігаються, а також команди і запити, що циркулюють між комунікаційним обладнанням учасників процесу моніторингу. У загальному випадку згідно нотації «Йордона - Де Марко» розроблена схема функціонування інформаційної системи моніторингу ТЗ. Згідно вимог і завдань до інформаційної системи в частині програмного забезпечення (ПЗ), вона реалізує вирішення наступних задач моніторингу ТЗ: збирання даних з ТЗ; зберігання даних; ідентифікація ТЗ у просторі і в системі моніторингу; побудова функціональних залежностей у часі; моніторинг параметрів технічного стану ТЗ з можливостями їх прогнозування; ідентифікація умов експлуатації; діагностування стану ТЗ і перевірка відповідності стану ТЗ отриманим параметрам моніторингу за визначеними параметрами.

Таким чином, сформульований підхід дозволяє визначити вплив основних етапів обробки отриманої інформації про технічний стан ТЗ в інформаційному програмному комплексі (ІПК), а саме ідентифікацію ТЗ в просторі, систему моніторингу і нестационарних умов експлуатації; збирання вихідних даних про параметри технічного стану і положення у просторі ТЗ, в умовах експлуатації; прогнозування параметрів стану ТЗ; ідентифікацію умов експлуатації; діагностування стану, збирання повідомлень і даних діагностування ТЗ; перевірку відповідності дійсного стану ТЗ отриманим параметрам і умовам експлуатації, в процесі моніторингу.

## ЗМІСТ

### Секція:

#### *Математичне моделювання фізичних і технологічних процесів і технічних систем.*

- |   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | <b>АБРАМОВ Г.С., АБРАМОВ М.Г., БАРДАЧЁВ Ю.Н.</b>   | 4  |
|   | Моделирование структур двухфазных зон в процессе внутреннего окисления пластин бинарных сплавов  |    |
| 2 | <b>АБРАМОВА Г.В., МАГДЕНКО В.Р., АБРАМОВ Г.С.</b>  | 6  |
|   | Дослідження стану та проблем розвитку державного підприємства «Адміністрація морських портів України» на основі економетричного аналізу                      |    |
| 3 | <b>БЕГЛОВ К.В., БЕГЛОВ Я.И.</b>  | 7  |
|   | Применение нечеткого регулятора для регулирования концентрации жидкого поглотителя в первом контуре АЭС  |    |
| 4 | <b>БЕРДНИК М.Г.</b>  | 8  |
|   | Математичне моделювання тривимірної узагальненої задачі теплообміну порожнього кусково-однорідного циліндра з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла |    |
| 5 | <b>БОКОВ И.П., БОНДАРЕНКО Н.С., СТРЕЛЬНИКОВА Е.А.</b>  | 9  |
|   | Напряженно-деформированное состояние трансверсально-изотропных пластин под действием локальных нагрузок  |    |
| 6 | <b>БРАЗЛУК Ю.В., ГУБИН А.И., ЕВДОКИМОВ Д.В., СТОЯНОВСКИЙ М.А.</b>  | 10 |
|   | Асимптотические математические модели активных теплозащитных покрытий  |    |
| 7 | <b>БРУНЕТКИН А.И.</b>  | 11 |
|   | Интегральный подход к решению задач динамики   |    |

8	<b>ВЕНГРОВИЧ Д.Б.</b>	12
	Прояви сейсмічності в рифтових процесах та при субдукції	
9	<b>ГНИТЬКО В.И., КРЮТЧЕНКО Д.В., НАУМЕНКО Ю.В., СТРЕЛЬНИКОВА Е.А.</b>	13
	Моделирование свободных и вынужденных колебаний оболочечных конструкций с отсеками, содержащими жидкость	
10	<b>ГОРОВЕНКО А.П.</b>	14
	Напруження в пружному включенні в рідині під дією хвилі тиску	
11	<b>ГУМЕНЮК Ю.О., ЧОВНЮК Ю.В.</b>	15
	Концептуальные основы физико-математического моделирования и анализа эффективных электромагнитных биизотропных/бианизотропных параметров капиллярных систем электропроводности биообъектов	
12	<b>ЗИМОГЛЯД А.Ю., ЛЕВЧЕНКО Д.О.</b>	16
	Модельовання поведінки коронного розряду і подальше його дослідження	
13	<b>КАРАЄВ А.О., СТРЕЛЬНИКОВА О.О.</b>	17
	Метод граничних елементів в аксіально-симетричних задачах теорії пружності	
14	<b>КНЫШ Л.И., ГОМАН О.Г.</b>	18
	Компьютерное моделирование нестационарного течения в длинных промышленных трубопроводах	
15	<b>КОВЧ О.І., СТРЕЛЬНИКОВА О.О.</b>	19
	Метод кінцевих елементів для модельовання розтріскування зварного шва при термосиловому навантаженні	
16	<b>КОРЯШКІНА Л.С., ОДНОВОЛ М.М., МИХАЛЬОВА О.О., ЧЕРЕВАТЕНКО А.П.</b>	20
	Модельовання зон сервісного обслуговування у заданому регіоні	



17	<b>КУДІН О.В., СПЕЛЬЧУК О.В.</b> Розв'язання задачі статичної стійкості круглих тришарових пластин з нелінійно-пружним заповнювачем методом послідовних навантажень	21
18	<b>LAZURIK V.M., LAZURIK V.T., POPOV G., ZIMEK Z.</b> Determination the characteristics of dose distribution for sources of electrons with energy spread	22
19	<b>ЛЕБЕДЕНКО Ю.О., РУДАКОВА Г.В., ТОУФАК Е.Р.</b> Моделювання параметрів руху елементів технологічних установок каркасної конструкції	23
20	<b>ЛЯШЕНКО В.П., КОБИЛЬСЬКА О.Б., БРИЛЬ Т.С., ДЕМ'ЯНЧЕНКО О.П.</b> Нелінійні інтегральні рівняння у математичних моделях теплообміну рухомого осесиметричного середовища	24
21	<b>МЕЛЬНИК И.В., ГАЙДАМАКА В.В.</b> Долгосрочные зависимости и фрактальный анализ	25
22	<b>МЕНЬШИКОВ Ю.Л.</b> Некоторые открытые вопросы математического моделирования	26
23	<b>МОЧУРАД Л.І.</b> Використання процедури розпаралелення при розрахунку електростатичних полів квадрупольних лінз та їх систем	27
24	<b>НАГОРНИЙ В.П., ДЕНИСЮК І.І.</b> Дослідження пульсуючих течій в'язкої рідини в каналах нафтоносного пласта	28
25	<b>ПАЩЕНКО В.О.</b> Моделювання силових характеристик нестационарного поля еліпсоподібного струмового контуру над ортотропним парамагнітним композитом з дисипативними втратами	29

26	<b>ПИГНАСТЫЙ О.М.</b> О критериях подобия производственных поточных линий	30
27	<b>ПОЛЯКОВ В.А., ХАЧАПУРИДЗЕ Н.М.</b> Математическая модель процесса магнитной левитации поезда	31
28	<b>СМЕТАНКІНА Н.В., УГРІМОВ С.В., ШУПІКОВ О.М., ДОЛГОПОЛОВА Н.В.</b> Моделювання процесу нестационарного деформування шаруватого оскління при ударному навантаженні	33
29	<b>СОЛОНА А.В.</b> Побудова двомірної математичної моделі процесу ковшового вакуумування з продувкою інертним газом	34
30	<b>СОХАЦЬКИЙ А.В., МАЛЄНКО Є.В., СОХАЦЬКИЙ В.А.</b> До питання моделювання динаміки руху високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу	35
31	<b>ТАРАСОВ С.В., РЕДЧИЦ Д.А., ТАРАСОВ А.С., МОИСЕЕНКО С.В.</b> Аэродинамика j-профиля в турбулентном потоке воздуха при круговой продувке	36
32	<b>ФИЛЬШТИНСЬКИЙ Л.А., СУШКО Т.С., ЕРЕМЕНКО А.А.</b> Исследования характеристик разрушения для конечной пластины в магнитоэластичности	37
33	<b>ХОМЧЕНКО А.Н., АСТИОНЕНКО И.А.</b> Серендиповы поверхности пятого порядка	38
34	<b>ХОМЧЕНКО А.Н., ЛИТВИНЕНКО О.І</b> Конструювання сімпсонових тіл за допомогою серендипових поверхонь	40
35	<b>ХУДЯКОВ И.В., РУДАКОВА А.В., КЛЕВЦОВ Н.К.</b>	42

Моделирование влияния внешних условий при анализе динамики судна в ходовых режимах

- 36 **ЧОПОРОВ С.В.** 43  
Сглаживание сеток четырехугольных элементов с использованием локальной минимизации функционала
- 37 **ЩЕРБИНА И.В., БЕЛОВА О.В., КАГАДИЙ Т.С.** 44  
Применение метода возмущений к контактными задачам для тел с прямолинейной анизотропией
- 38 **ЭФЕНДИЕВ Г.Д., РУСТАМОВ Я.И., ТАЛЫБОВА Н.Г.** 45  
Оценка эффективности прогностических моделей с применением формулы Байеса eif-ketpl-2-2015-1(25)-56/13/1-m-28

*Секція:*

*Інформаційні технології. Моделювання інформаційно-керуючих систем. Прогнозування та запобігання техногенних і екологічних катастроф. Інженерні науки. Економічні науки.*

- 1 **АЛЬ-АММОРИ Али, АЛЬ-АММОРИ Х.А., КЛОЧАН А.Е., ВЕРХОВЕЦКАЯ И.Н.** 48  
Информационные технологии выбора оптимальной загрузки микропроцессора в режиме реального времени
- 2 **АНДРЕЙЦЕВ А.Ю., КРЮКОВ Н.Н., ФУРМАН В.К., СМИРНОВ И.В.** 49  
Определение температуры частиц с металлической оболочкой в потоке низкотемпературной плазмы (численно-аналитический подход)
- 3 **АХМЕТШИНА Л.Г., ЕГОРОВ А.А.** 50  
Улучшение слабоконтрастных изображений на основе адаптивной нечеткой гиперболизации гистограммы
- 4 **BABICHEV S.A., LURIE I.A., VORONENKO M.A.** 51

Model of gene expression sequences filtration based on complex use of wavelet analysis and james-stein shrinkage shannon entropy estimator

- |    |   |           |
|----|---|-----------|
| 5  | <b>БАКЛАН І.В.</b>  | <b>52</b> |
|    | Математичні постановки кроків побудови лінгвістичної моделі   |           |
| 6  | <b>БАКЛАН І.В., НЕДАШКІВСЬКИЙ Є.А., МОРОЗОВА О.А.</b>   | <b>53</b> |
|    | Результати чисельних експериментів побудови лінгвістичних моделей з різноманітними параметрами          |           |
| 7  | <b>БЄЛІНСЬКИЙ І.В., ЛЕМЕШКО В.А.</b>  | <b>55</b> |
|    | Фізичне моделювання залежності динаміки гранітного стрижня від сили тертя                               |           |
| 8  | <b>БОТВІНОВСЬКА С.І.</b>  | <b>56</b> |
|    | Узагальнення статико-геометричного методу   |           |
| 9  | <b>ВАРБАНЕЦ Р.А., ЕРИГАНОВ О.В., ЖОЛТІКОВ Е.І., ГУБІН В.С.</b>  | <b>57</b> |
|    | Метод безградієнтної мінімізації Powell'64 в задачах моніторингу робочого процесу суднових дизелів      |           |
| 10 | <b>ВІРЧЕНКО С.Г., ШАМБІНА С.Л.</b>  | <b>57</b> |
|    | Динамічне структурно-параметричне геометричне моделювання лонжерона крила літака                        |           |
| 11 | <b>ВОЦЕЛКА С.А., РОЖКОВ С.А.</b>  | <b>58</b> |
|    | Метод идентификации ирригационного канала   |           |
| 12 | <b>ГНАТУШЕНКО В.В., КАШТАН В.Ю.</b>   | <b>59</b> |
|    | Корекція оптико-електронних космічних знімків   |           |
| 13 | <b>ГНАТУШЕНКО ВІКТ.В., ДМИТРІЄВА І.С.</b>   | <b>60</b> |
|    | Розподілення споживання енергії вузлами у бездротових сенсорних мережах на основі імовірнісного аналізу |           |

14	<b>ГРИЦИК В.В., ДУНАС А.Я.</b> Дослідження методів розпізнавання образів для систем комп'ютерного зору роботів майбутнього	61
15	<b>ГУЧЕК П.Й.</b> Інформаційна технологія обробки вимірювань і тестування роботи обладнання оптичної спектроскопії в режимі реального часу	63
16	<b>ДОВБНЯ А.Н., МАЗМАНИШВИЛИ А.С., РЕШЕТНЯК Н.Г.</b> Преобразование движения электронного пучка из осевого в радиальное в соленоидальном поле вторичноэмиссионной пушки	64
17	<b>ДУБРОВИН В.И., ТРОЦЕНКО Э.А., ИКОЛ С.А.</b> Математическая модель передвижения автомобиля	65
18	<b>ДУМАНСКАЯ В.В., МАРЧЕНКО В.С.</b> Методика проведения исследований по влиянию длительной нагрузки на покрытия из фэм с измененной геометрической формой основания	66
19	<b>ЗАЩЕПКИНА Н.М., НАКОНЕЧНИЙ О.А., ЖИЛЯКОВ Д.В., ХАРЧЕНКО М.І.</b> Контроль інформативних показників харчових продуктів засобами і методами спектрометрії	67
20	<b>КОНДРАТЕЦЬ В.О., СЕРБУЛ О.М.</b> Моделювання самоналагоджувальної системи автоматичного керування розрідженням пісків в приймальному пристрої завиткового живильника	69
21	<b>КОРЧИНСЬКИЙ В.М., СВИНАРЕНКО Д.М.</b> Інформаційна модель подання багатоспектральних растрових зображень дистанційного зондування у просторі інваріантних інтегральних характеристик	70
22	<b>КРАВЧУК В.Т., ДИКТЕРУК М.Г., ЧОВНЮК Ю.В.</b> Обоснование метода анализа колебаний виброударных машин для уплотнения	71

	бетонных/строительных смесей и грунтов, имеющих рабочие органы с кусочно-линейной упругой характеристикой	
23	<b>ЛЕБЕДЕНКО Ю.О., ОМЕЛЬЧУК А.А., САФЬЯНИК О.О.</b> Інформаційно-вимірвальна підсистема багатоприводної каркасної установки з механізмами паралельної структури	72
24	<b>ЛЫСЮК А.В.</b> Усовершенствование АСУ барабанного котла для сжигания горючих искусственных газов	73
25	<b>МАТВЄЄВА Н.О., ЛАЗОРЕНКО Ю.В.</b> Оцінка працездатності нейронних мереж для визначення дефектів у композитних матеріалах	74
26	<b>МАЦУЙ А.М.</b> Моделювання розрідженості пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора при незмінній витраті води	75
27	<b>МАЧУЛЯНСКИЙ А.В., БАБЫЧ Б.Б., МАЧУЛЯНСКИЙ В.А.</b> Математическое моделирование многофункциональных покрытий	76
28	<b>МІРОНЕНКО Д.С.</b> Автоматизована рекомендаційна система на основі графа інтересів	77
29	<b>ОСАДЧИЙ С.І., ЛУЖКОВ Д.М., ЗУБЕНКО В.О.</b> Оцінка впливу технологічних параметрів холодильного устаткування на енергетичну ефективність випарника	78
30	<b>ОСИПОВА Н.В., КУШНІР Н.О., ВАЛЬКО Н.В.</b> STEM-Освіта: Підвищення професійної компетентності вчителів фізики, математики та інформатики	80
31	<b>ОШАРОВСКАЯ Е.В., ОШАРОВСКИЙ И.В., ПАТЛАЕНКО Н.А.,</b>	81

	<b>ГУРЧЕНКО Н.П.</b>	
	Моделирование оконных функций для обработки цифровых изображений высокой четкости	
32	<b>ПОЛИВОДА О.В., ПОЛИВОДА В.В., ЛИТВИНЧУК Д.Г.</b>	<b>82</b>
	Математична модель оцінки вологості зерна у борошномельному виробництві із застосуванням нейронних мереж	
33	<b>PRYKHODKO S.V., PRYKHODKO N.V., MAKAROVA L.M., KUDIN O.O., SMYKODUB T.G.</b>	<b>83</b>
	Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate bijective normalizing transformations	
34	<b>РОМАНЮК С.О.</b>	<b>84</b>
	Основні етапи формування зображення обличчя людини для проведення пластичних операцій	
35	<b>СВИРИДОВ В.І., ПОПОВ І.М.</b>	<b>85</b>
	Контроль насосного обладнання та механізмів через вібраційні показники	
36	<b>СІВАК І.М., КРАВЧУК В.Т., ДІКТЕРУК М.Г., ЧОВНІЮК Ю.В.</b>	<b>86</b>
	Методи аналізу вимушених коливань та резонансів у вібраційних системах ущільнення ґрунтів і сумішей при використанні одновимірної дискретно-континуальної моделі за наявності нелінійної відновлюваної сили	
37	<b>СОКОЛОВА Н.О., ОБИДЕННИЙ Є.О.</b>	<b>87</b>
	Тіньовий аналіз як етап розпізнавання знімків міської забудови	
38	<b>СОЛОВЕЙ А.С., БЕНЬ А.П., РОЖКОВ С.А.</b>	<b>88</b>
	Законы регулирования в задаче позиционирования специализированных морских судов	
39	<b>СУХОМЛИН Р.О., МИХАЛЬОВ О.І., ПРЯДКО Н.С., ТЕРНОВА К.В.</b>	<b>89</b>
	Дослідження можливості використання декомпозиції SSA для оцінювання	

гранулометричного складу матеріалу

- 40 **ТИМОШЕВСЬКИЙ Б.Г., ТКАЧ М.Р., ШАЛАПКО Д.О.** 91  
Основи математичного моделювання процесу абсорбції водню на лінії високого тиску паливної апаратури дизельного двигуна
- 41 **УДОВЕНКО В.В., СТРЕЛЬНИКОВА Е.А.** 92  
Исследование влияния закрылка Герни при обтекании несущего профиля и сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными
- 42 **УСЕНКО В.Г., ПОГОРІЛИЙ Д.Ф., УСЕНКО І.С.** 92  
Ймовірність зв'язності трикільцевої структури інженерної мережі з різною надійністю елементів
- 43 **ФОНАР Л.С.** 93  
Моделювання динамічного коефіцієнту передачі цифрових фільтрів Чебишева
- 44 **ХАЛИМОН А.Ю., БАКЛАН І.В.** 94  
Застосування лінгвістичного моделювання для аналізу часових рядів
- 45 **ЧАПЛІНСЬКИЙ Р.І.** 95  
Перспективні методи та програмні механізми інтеграції новітніх методик досліджень в автоматизовані системи медичних установ
- 46 **CHERNIY D., DOVGYI S.** 96  
The transformation of discrete singularities for the 2d vortex (circulation) flows
- 47 **ЧОВНЮК Ю.В., КРАВЧУК В.Т., ДІКТЕРУК М.Г.** 99  
Методи фізико-механічного та математичного моделювання й аналізу параметричних збуджень та резонансів за періодичним кусково-постійним законом в ударно-вібраційних системах ущільнення бетонних/будівельних сумішей



48	<b>ШУТЬ В.Н.</b> Модель синхронизированной улично-дорожной сети	99
<i>Секція:</i> <i>Прикладна геометрія та комп'ютерні технології. Фундаментальні науки.</i>		
1	<b>АДОНЬЄВ Є.О., ВЕРЕЩАГА В.М.</b> Застосування Б-ліній та Б-поверхонь у композиційному методі геометричного моделювання	102
2	<b>АРШАВА Е.А., ХАРЧЕНКО А.П., ПОКЛОНСКИЙ Е.В., БАБАЕВА Е.В.</b> Инвариантные меры системы уравнений магнитной гидродинамики	103
3	<b>БАРАНЕНКО В.О., ВОЛЧОК Д.Л.</b> Визначення максимального значення стискаючої сили, що діє на циліндричну оболонку в умовах параметрів нечітко-випадкової і випадково-нечіткої природи	104
4	<b>БЛАЖЕВСЬКИЙ С.Г.</b> Про одну задачу теплопровідності для двошарового симетричного простору із симетричною порожниною	105
5	<b>БРАЗЛУК Ю.В., ШУЛЬГА Р.А.</b> Регулярные алгоритмы вычислительной теории потенциала	106
6	<b>ВАНІН В.В., ВІРЧЕНКО Г.А., НЕЗЕНКО А.Й.</b> Особливості геометричного моделювання поверхні крила в аспекті життєвого циклу літака	107
7	<b>ВАХНЕНКО В.О., ПАРКЕС Е.Дж.</b> Простий полюс та полюс другого порядку у дискретному спектрі для оберненої задачі розсіяння	108
8	<b>ВОЙТИК Т.Г. ПОЛЕТАЕВ Г.С., ЯЦЕНКО С.А.</b> Родственные типа Римана-Гильберта-Привалова задачи с взаимно обратными	109

раціональними правильно факторизуємими коефіцієнтами

- 9 **ВОРОНЦОВ О.В., ТУЛУПОВА Л.О., ВОРОНЦОВА І.В.** 110  
Дискретне визначення геометричних образів функціональних залежностей суперпозиціями двовимірних точкових множин
- 10 **ГАВРИЛЕНКО Е.А., ХОЛОДНЯК Ю.В., НАЙДЫШ А.В.** 111  
Вариативное дискретное моделирование одномерных пространственных обводов с заданными геометрическими характеристиками
- 11 **ГУМЕН О.М., МАРТИН Є.В., СПОДИНЮК Н.А., ЛЯСКОВСЬКА С.Є.** 112  
Прикладна геометрія у візуалізації просторів теплових полів
- 12 **ДУБІНІНА О.В., ГАВРИЛЕНКО Є.А., ХОЛОДНЯК Ю.В.** 113  
Контроль закономірності зміни кривини на ділянці кубічного В-сплайну
- 13 **ДУБИНКО В.И., МАЗМАНИШВИЛИ А.С., ЛАПТЕВ Д.В.** 114  
Рекуррентные алгоритмы расчета динамики квантовомеханических волновых функций в возмущенном параболическом потенциале
- 14 **КОВАЛЬОВ С.М., БОТВИНОВСЬКА С.І., ЗОЛотова А.В., ЛОСЬ С.О.** 115  
Формування дискретного ряду точок складених кривих ліній під дією нормального навантаження
- 15 **КОРОТКА Л.І.** 116  
Дослідження нейромережевих моделей з використанням функціональної підсистеми
- 16 **КРАВЦІВ С.Я., СОБОЛЬ О.М.** 118  
Особливості математичної моделі управління інтегральним пожежним ризиком
- 17 **КУЦЕНКО Л.М., ЗАПОЛЬСЬКИЙ Л.Л.** 119  
Геометричне моделювання розгортання у невагомості багатоланкової конструкції з інерційним розкриттям

18	<b>КУЦЕНКО Л.М., ЗАПОЛЬСЬКИЙ Л.Л.</b> Геометричне моделювання в середовищі Maple ефекту Джанібекова з використанням кватерніону	120
19	<b>ЛЕНЮК О.М., НІКІТІНА О.М., ШИНКАРИК М.І.</b> Моделювання процесів динаміки методом скінченного гібридного інтегрального перетворення типу Лежандра-Бесселя-Фур'є на сегменті	121
20	<b>МИРГОРОД В.Ф., ГВОЗДЕВА І.М.</b> Підхід до встановлення обчислювальних рішень систем інтегральних рівнянь Вольтерри з сепарабельними ядрами	122
21	<b>МУСІЙ Р.С., ДРОГОМИРЕЦЬКА Х.Т., ОРИЩИН О.Г.</b> Моделювання термомеханічної поведінки електропровідного циліндра за нестационарної електромагнітної дії за врахування процесу термопружного розсіювання енергії	123
22	<b>НЕСВІДОМІНА О.В.</b> Побудова плоских ізометричних сіток за напрямними вихідними кривими	124
23	<b>НІКОЛАЄНКО Ю.І., ЄВДОКИМОВ Р.О., МОІСЕСЬНКО С.В.</b> Розв'язок задачі хронометрування в середньому випадкових блукань методом Монте-Карло	125
24	<b>ПЕРШИНА Ю.І., ПАСІЧНИК В.О.</b> Модифікований алгоритм відновлення точок розриву функції однієї змінної	126
25	<b>ПЕТРЬК М., МУКНАЛҀК D., ПЕТРЬК O., KORDIAK I.</b> Consolidation coefficients identification of solid-liquid expression from soft plant materials	127
26	<b>ПИЛИПАКА С.Ф., КРЕМЕЦЬ Т.С., КЛЕНДІЙ М.Б.</b> Моделювання процесу ковзання частинки по поверхні циліндра, який здійснює поступальні коливання у вертикальній площині	128

27	<b>ПИЛИПАКА С.Ф., МУКВИЧ М.М.</b> Неперервне згинання мінімальних поверхонь, побудованих за допомогою уявної циклоїди	129
28	<b>СПІРІНЦЕВ Д.В., НАЙДИШ А.В.</b> Представлення плоскої дискретної кривої	131
29	<b>СПІРІНЦЕВ В.В., ГОГОЛЮК А.Ю.</b> Порівняльний аналіз алгоритмів кластеризації в обробці мамографічних знімків	132
30	<b>СТЕГАНЦЕВ Е.В., ПИЛИПЕНКО Е.А.</b> Огибающие специальных семейств окружностей	133
31	<b>СУЛІМЕНКО С.Ю., АНШЛОГОВА В.О., СУЛІМЕНКО Г.Г.</b> Аналіз придатності ескізно заданого конусу до моделювання на його основі поверхонь обертання	134
32	<b>ТИМОФІЄВА Н.К.</b> Властивість подібності в комбінаториці та комбінаторній оптимізації	135
33	<b>ТРОКНІМШУСК Р.Р.</b> To question of calculation and foundation of mathematics	136
34	<b>ТУЛУЧЕНКО Г.Я., СЕЛЮЯНОВА Т.А., СТАРУН Н.В.</b> Еквівалентні форми поліномів ермітової інтерполяції	137
35	<b>УСОВ А.В., МОРОЗОВ Ю.О.</b> Моделювання технічних систем диференціальними рівняннями	138
36	<b>ЮРЧУК В.П., ЯБЛОНСЬКИЙ П.М.</b> Визначення параметрів спряжених поверхонь при коченні без ковзання в системі «вилка–диск»	139
37	<b>ГРИЦУК І.В., БІЛОУСОВА Т.П., ГРИЦУК Ю.В., ВОЛКОВ Ю.В.</b> Моделювання предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану транспортного засобу в умовах експлуатації	140

Збірка тез

**XVIII МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**МКММ-2017**

Відповідальний за випуск Тулученко Т.Я.  
Технічний редактор, комп'ютерна верстка Косенко І.О.

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